

Aus dem Zentrum für Neurochirurgie der Universität zu Köln
Klinik und Poliklinik für Funktionelle Neurochirurgie und Stereotaxie
Direktorin: Universitätsprofessorin Dr. med. V. Visser-Vandewalle

Auswertung der vestibulären Symptomatik vor und nach robotisch geführter Radiochirurgie bei Patienten mit Vestibularisschwannomen

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Universität zu Köln

vorgelegt von
Dr. med. univ. Susanne Vojacek
aus München

promoviert am 25.03.2025

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln

Druckjahr 2025

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink

1. Gutachter: Privatdozent Dr. med. D. F. Rueß
2. Gutachter: Privatdozent Dr. med. J. Rosenbrock

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich Unterstützungsleistungen von folgender Person erhalten:

Priv.-Doz. Dr. Daniel Rueß, Univ.-Prof. Dr. Maximilian Ruge, Univ.-Prof. Dr. Martin Kocher

Weitere Personen waren an der geistigen Herstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Daten wurden im Rahmen der routinemäßigen Datenerhebung der Mitarbeiter der Klinik für Stereotaxie und Funktionelle Neurochirurgie und von mir selbst, nach Anleitung und Parameterfestlegung durch Priv.-Doz. Dr. Daniel Rueß, Univ.-Prof. Dr. Maximilian Ruge, Univ.-Prof. Dr. Martin Kocher erhoben.

Die in dieser Arbeit angegebenen Auswertungen mittels SPSS sind nach entsprechender Anleitung durch Priv.-Doz. Dr. Daniel Rueß, Univ.-Prof. Dr. Maximilian Ruge, Univ.-Prof. Dr. Martin Kocher von mir selbst ausgeführt worden.

Publiziert wurde gemeinsam mit den folgenden Personen:

Daniel Rueß, Eda Güngör, Jan Christoffer Lüers, Stefan Hunsche, Karolina Jablonska, Martin Kocher, Maximilian I Ruge

Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis:

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Köln, den 04.02.2025

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen Menschen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Dissertationsschrift unterstützt haben.

Besonderer Dank kommt meinem Erstbetreuer Herrn Priv.-Doz. Dr. Daniel Rueß für die wissenschaftliche Betreuung und Unterstützung bei der Erstellung dieser Arbeit zu.

Herrn Univ.-Prof. Dr. Maximilian Ruge danke ich für die Möglichkeit, die vorliegende Arbeit anzufertigen sowie für die ständige Hilfestellung und zielorientierte Diskussionsbereitschaft.

Herrn Univ.-Prof. Dr. Martin Kocher danke ich für seine fachliche Unterstützung zu allen Fragen der Statistik und Auswertungen mittels SPSS.

Frau Eda Güngör danke ich für die Hilfe bei Dokumentierung der Studiendaten.

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	6
1 ZUSAMMENFASSUNG	7
2 EINLEITUNG	8
2.1 Übersicht zu Vestibularisschwannomen	8
2.1.1 Epidemiologie und Definition	8
2.1.2 Symptomatik	8
2.1.3 Klassifikationen	9
2.2 Diagnostik	10
2.2.1 Bildgebende Diagnostik	10
2.2.2 Audiometrische Diagnostik	10
2.2.3 Diagnostik vestibulärer Symptome	10
2.2.3.1 <i>Klinische und apparative Diagnostik</i>	10
2.2.3.2 <i>Patient Reported Outcome Measures (PROMs)</i>	11
2.3 Therapeutische Optionen	13
2.3.1 "Wait and scan"	14
2.3.2 Chirurgische Resektion	14
2.3.3 Perkutan fraktionierte Bestrahlung (FSRT)	15
2.3.4 Stereotaktische Radiochirurgie	15
2.3.4.1 <i>Robotic-guided SRS mittels CyberKnife®</i>	16
3 PUBLIKATION	17
4 DISKUSSION	27
4.1 Vergleich mit anderen Studien	27
4.2 Stärken und Schwächen des DHI	29
4.3 Klinische Relevanz und Ausblick	30
5 LITERATURVERZEICHNIS	32
6 ANHANG	40
6.1 Abbildungsverzeichnis	40
6.2 Tabellenverzeichnis	44

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

CK	CyberKnife®
CT	Computertomographie
DHI	Dizziness Handicap Inventory
EANO	European Association of Neuro-Oncology
FSRT	Perkutan fraktionierte Bestrahlung
GPP	good practice point
GK	Gamma-Knife
Gy	Gray
HNO	Hals-Nasen-Ohren
LINAC	Linearbeschleuniger
MRT	Magnetresonanztomographie
MTA	medizinisch-technischer Assistent
NF2	Neurofibromatose Typ II
OP	Operation
PANQOL	Penn Acoustic Neuroma Quality of Life
PROM	Patient Reported Outcome Measure
RANO	Response assessment in neuro-oncology criteria
SRS	stereotaktische Radiochirurgie
VS	Vestibularisschwannom
VSS	Vertigo Symptom Scale
VEMP	vestibulär myogen evozierte Potenziale
vHIT	Video-Kopfimpulstest
WAS	wait and scan
ZNS	Zentralnervensystem

1 ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser retrospektiven Single-Center Studie war es, die vestibuläre Symptomatik bei erwachsenen Patient:innen mit einem unilateralen VS, die in den Jahren 2012 bis 2022 am Universitätsklinikum Köln eine einzeitige radiochirurgische Behandlung mittels CyberKnife® erhalten hatten unter Verwendung eines standardisierten Fragebogens (DHI) zu erfassen.

Diese sollten mindestens 2 klinische und radiologische Nachuntersuchungen ≥ 6 Monate nach der SRS-Behandlung erhalten haben und den DHI-Fragebogen vor der SRS, nach 6 Monaten und bei ihrer letzten individuellen follow-up Untersuchung korrekt ausgefüllt haben.

Im Rahmen dieser Analyse sollte untersucht werden, ob (1.) der DHI als in der Routine durchführbares und valides Instrument zur Messung vestibulärer Symptome vor und während der Nachuntersuchung nach robotergeführter SRS verwendet werden kann.

Darüber hinaus sollte (2.) der individuelle Längsschnittverlauf potenzieller vestibulärer Symptome der Patient:innen vor, bei der 6-monatigen Nachuntersuchung und beim letzten individuellen follow-up nach SRS analysiert werden und (3.) diese Ergebnisse mit klinischen und behandlungsbezogenen Parametern korreliert werden.

Zusammenfassend konnte diese Studie zeigen, dass sich die DHI-Gesamtscores bei Patienten mit unilateralem VS, die mit SRS mittels Cyberknife® behandelt wurden, während der Nachuntersuchungen deutlich verbesserten. Allerdings wiesen nur eine Minderheit der VS-Patienten einen hohen DHI-Score vor und nach der SRS mittels Cyberknife® auf. Darüber hinaus konnte die Studie beweisen, dass der DHI ein praktikables und valides Instrument zur Messung vestibulärer Symptome nach SRS darstellt. Die Objektivierung vestibulärer Symptome von VS-Patienten mittels DHI könnte hierbei als wichtiges Instrument für die Ergebnisbewertung nach SRS dienen.

2 EINLEITUNG

2.1 Übersicht zu Vestibularisschwannomen

2.1.1 Epidemiologie und Definition

Vestibularisschwannome (VS) machen 8% aller intrakraniellen Tumore aus und zählen mit einer Inzidenz von 19,4 Tumoren pro 1. Mio. Einwohner zu den benignen ZNS-Tumoren¹. Sie stellen hiermit die drittgrößte Entität nichtmaligner intrakranieller Tumore nach Meningeomen und Hypophysenadenomen dar. VS gehen von den Schwann'schen Zellen des achten Hirnnervens aus und betreffen in 80-98% der Fälle den vestibulären Anteil des N. vestibulocochlearis^{2,3,4}. Sie treten in der Mehrheit der Fälle unilateral auf; bilateral auftretende Vestibularisschwannome sind typisch für das Vorliegen einer Neurofibromatose Typ 2 (NF2)⁵. Sowohl bei den sporadisch auftretenden VS als auch bei den NF2-Fällen scheint eine Mutation im NF2-Tumorsuppressorgen eine wesentliche Rolle bei der Entstehung zu spielen. In 77% der Fälle lässt sich eine inaktivierende Mutation im NF2-Gen oder der Verlust des Chromosoms 22q nachweisen⁶. Während Vestibularisschwannome zwar in jedem Alter auftreten können, nimmt die Inzidenz jedoch ab dem 50. Lebensjahr stetig zu⁷. In den USA betrug die Inzidenz 1,92 pro 100000 Einwohnern pro Jahr bei einem Altersgipfel von 65-79 Jahren im Zeitraum von 2004-2017⁸. Aktuell sind bislang keine Risikofaktoren, die das Entstehen eines VS begünstigen, bekannt⁹.

2.1.2 Symptomatik

Vestibularisschwannome fallen in der Regel klinisch durch eine einseitige Hörminderung (94%) und einen einseitigen Tinnitus (68%) auf. Die Häufigkeit des Auftretens vestibulärer Symptome wie Schwindel und Gleichgewichtsstörungen variiert stark (17%-75%) und ist mit großer Wahrscheinlichkeit klinisch untererfasst^{10,11}. Kleinere und hauptsächlich auf das Os temporale beschränkte VS beeinträchtigen aufgrund ihrer anatomischen Lage primär das Hörvermögen, das Gleichgewichtssystem und ggf. den N. facialis. Größere VS können dahingegen zu einer Affektion des N. trigeminus führen und in seltenen Fällen eine Hirnstammkompression und einen Hydrocephalus verursachen^{5,11}.

2.1.3 Klassifikationen

Die Kategorisierung nach Koos ist das international gebräuchlichste Klassifikationssystem zur Einteilung der VS. Es definiert den Grad des VS nach Lage und Größe. Man unterscheidet intrameatale VS (Grad 1), VS mit intra- und extrameatalem Anteil bis zu einem Durchmesser von 20mm (Grad 2), den Kleinhirnbrückenwinkel ausfüllende VS mit einem Durchmesser von bis zu 30mm (Grad 3) sowie VS mit Kompression des Hirnstamms und Verlagerung der naheliegenden Hirnnerven mit einem Durchmesser von mehr als 30mm (Tabelle 1)¹².

Tabelle 1: Koos-Klassifikation	
Grad 1	Intrameatal
Grad 2	Intra- und extrameatal
Grad 3	Kontakt zum Hirnstamm, aber ohne Kompression
Grad 4	Kompression des Hirnstamms und der umgebenden Hirnnerven

Die Hannover-Klassifikation benutzt ebenfalls die Tumorausdehnung als Kriterium und differenziert bei den größeren Tumoren noch genauer (Tabelle 2)¹³:

Tabelle 2: Hannover-Klassifikation	
Grad	Ausdehnung
T1	Intrameatal
T2	Intra- und extrameatal
T3 A	den Kleinhirnbrückenwinkel ausfüllend
T3 B	den Kleinhirnbrückenwinkel ausfüllend und Kontakt zum Hirnstamm
T4 A	Kompression des Hirnstamms
T4 B	Kompression des Hirnstamms und des IV Ventrikels

2.2 Diagnostik

2.2.1 Bildgebende Diagnostik

Aufgrund der heutzutage breiten Verfügbarkeit hochauflösender Bildgebungsmodalitäten ist mittlerweile eine zuverlässigere und frühere Diagnosesicherung möglich¹. Die MRT stellt aktuell den Goldstandard für die Diagnosestellung und Verlaufskontrolle von VS mit >90% Spezifität und nahezu 100% Sensitivität dar¹⁴. In der MRT imponieren VS insbesondere in den T1 gewichteten Sequenzen als solide noduläre Raumforderung mit einem intrameatalem Anteil. In den soliden Anteilen zeigen sich eine homogene und starke Kontrastmittelaufnahme, welche aufgrund zystischer Anteile oder Nekrosen bei zunehmender Tumorgroße auch inhomogen zur Darstellung kommen kann¹⁵. Bei Kontraindikationen gegen eine MRT-Untersuchung oder zur präoperativen Beurteilung angrenzender ossärer Strukturen kann eine Computertomographie (CT) durchgeführt werden. Primär ist jedoch die MRT als alleinige Bildgebungsmodalität ausreichend¹⁴.

Die MRT-Diagnostik wird auch für die routinemäßigen Verlaufskontrollen angewendet, um insbesondere radiochirurgisch behandelte VS im Hinblick auf Größen- und Konfigurationsveränderungen zu beurteilen⁵.

2.2.2 Audiometrische Diagnostik

Im Rahmen der präoperativen Therapieentscheidung und zur Verlaufsbeurteilung spielt die audiometrische Diagnostik eine wichtige Rolle. Hierbei kommt innerhalb der audiologisch-diagnostischen Verfahren der Reintonaudiometrie sowie der Sprachaudiometrie eine wesentliche Bedeutung zu¹⁶.

2.2.3 Diagnostik vestibulärer Symptome

Die Quantifizierung und Objektivierung vestibulärer Symptome bei Patient:innen mit VS stellt aufgrund der mitunter unspezifisch geschilderten Symptome oft eine diagnostische Herausforderung dar und erfordert einen multidimensionalen Ansatz¹⁷.

2.2.3.1 *Klinische und apparative Diagnostik*

Eine gründliche klinische und apparative Untersuchung ist integraler Bestandteil der Diagnostik vestibulärer Symptome bei Patient:innen mit VS¹⁷. Nachdem die Interobserver-

Variabilität hier jedoch hoch sein kann, ist eine vergleichbare Objektivierung und Quantifizierung der Schwindelsymptomatik - insbesondere bei mehreren follow-ups - mitunter nur bedingt möglich.

Klinisch werden seit vielen Jahren einfach anwendbare neurologische Bed-Side-Tests wie der Romberg-Stehversuch oder Unterberger-Tretversuch genutzt, um Störungen des Gleichgewichtssinnes bei Patient:innen mit VS zu objektivieren. Diese erlauben eine schnelle und orientierende Aussage hinsichtlich der Vestibularisfunktion¹⁸. Zusätzlich können neuro-ophthalmologische Untersuchungen mittels Frenzel-Brille zur Detektion von pathologischen Nystagmen bei vestibulären Störungen addiert werden¹⁹. Apparative Tests ergänzen die klinische Anamnese und körperliche Untersuchung und unterstützen die Diagnostik vestibulärer Symptome bei Patient:innen mit VS.

Hierbei stellt die kalorische Vestibularisprüfung derzeit den am häufigsten verwendeten diagnostischen Test zur Erfassung und Objektivierung von Schwindel- und Gleichgewichtsstörungen dar²⁰. Jedoch weist die Kalorik Limitationen in Bezug auf die Anwendbarkeit und Patientencompliance auf²¹. In jüngerer Zeit wurden zudem diagnostische Verfahren wie vestibulär myogen evozierte Potenziale (VEMP) und der Video-Kopfimpulstest (vHIT) eingesetzt¹⁷.

Zusammenfassend kommt der Auswahl der klinischen und apparativen Tests eine entscheidende Rolle in der Objektivierung vestibulärer Symptomatik bei Patient:innen mit VS zu. Jedoch können diese nicht die resultierenden Einschränkungen im Alltag, das subjektive Krankheitsempfinden und den Einfluss der vestibulären Symptomatik auf die Lebensqualität der Patient:innen erfassen¹⁷.

2.2.3.2 Patient Reported Outcome Measures (PROMs)

PROMs sind Fragebögen, die von Patient:innen selbst ausgefüllt werden, um Informationen über ihre Symptom, ihren Gesundheitszustand und ihre Lebensqualität zu erfassen²².

Der *Vertigo Symptom Scale (VSS)* ist ein Fragebogen, der den Schweregrad vestibulärer Symptomatik und zusätzlich den Schweregrad der möglichen begleitenden autonomen Angstsymptome erfasst. Dieses PROM verwendet eine fünfstufige Skala von 0 bis 4 mit den Antwortmöglichkeiten „nie“, „einige Male“, „mehrere Male“, „ziemlich oft“ und „sehr oft“. Die

Punktzahl gibt die Häufigkeit der Symptome an, die von „0“, d. h. „keine Symptome“, bis „60“, d. h. „anhaltende Symptome“, reichen^{23,24,25}.

Der einfach anwendbare und krankheitsspezifische Fragebogen zur Lebensqualität bei Vestibularisschwannomen (*Penn Acoustic Neuroma Quality of Life (PANQOL)*) ermöglicht die Quantifizierung und Verlaufsbeobachtung der Lebensqualität bei Patient:innen mit VS. Er besteht aus 26 Fragen zu verschiedenen Bereichen mit Antwortmöglichkeiten auf einer Likert-Skala, die von starker Ablehnung bis zu starker Zustimmung reicht. Dieser Fragebogen deckt zwar den gesamten Symptomenkomplex von Vestibularisschwannomen ab, ist nicht spezifisch hinsichtlich vestibulärer Symptome²⁶.

Der *Dizziness Handicap Inventory (DHI)* ist der am weitest verbreitete Fragebogen für das klinische Assessment hinsichtlich der Beeinträchtigung durch Gleichgewichtsstörungen und Schwindelsymptomatik²⁷. Der 25 items umfassende DHI wurde von Jacobson und Newman entwickelt um den Grad der Beeinträchtigung durch vestibuläre Symptome zu bewerten²⁸. Die ursprüngliche Version des DHI untersuchte eine Studienpopulation unterschiedlicher Ätiologie in Bezug auf die Schwindel- und Gleichgewichtsstörungen. Das Testinstrument lieferte hierbei eine gute interne Konsistenz (Cronbach-Alpha: 0,72 – 0,89), eine gute Augenscheinvalidität und Test-Retest-Reliabilität ($r = 0,92 - 0,97$)²⁸. Der DHI wurde mittlerweile in viele Sprachen übersetzt und zeigte auch in verschiedenen Bevölkerungsgruppen und Sprachen valide psychometrische Eigenschaften. In Studien wurden mittlerweile unter anderem Versionen ins thailändische²⁹, polnische³⁰, chinesische³¹, und deutsche³² übersetzt und validiert³².

Die einzelnen Fragen sind in 3 Subgruppen unterteilt, die funktionelle, emotionale und körperliche Aspekte von Schwindel- und Gleichgewichtsstörungen repräsentieren²⁸.

Der Fragebogen beinhaltet 7 Fragen zu körperlichen Aspekten, 9 Fragen zu emotionalen Aspekten und 9 Fragen zu funktionellen Aspekten (Anhang; Abbildung 1: DHI-Fragebogen).

Für jedes Element können die folgenden Punkte vergeben werden:

- Nein=0
- Manchmal=2
- Ja=4

Die maximale Punktzahl beträgt 100 und gibt die maximal wahrgenommene Behinderung an. Der Minimalwert ist 0, was bedeutet, dass keine Behinderung durch Schwindel oder Gleichgewichtsstörungen wahrgenommen wird²⁸.

2.3 Therapeutische Optionen

Im Jahr 2020 wurden durch die „vestibular schwannoma task force“ der EANO (European Association of Neuro-Oncology) erstmalig auf europäischer Ebene Leitlinien für die Therapie von VS erarbeitet⁵. In Tabelle 2 sind die Behandlungsempfehlungen der EANO-Expertengruppe für einige typische VS-Konstellationen zusammengefasst (Tabelle 3)⁵.

Die 3 primären therapeutischen Möglichkeiten für sporadische VS sind die „wait and scan“ (WAS)-Strategie, die chirurgische Resektion sowie die konventionelle oder stereotaktische Bestrahlung⁵. Kriterien für die Behandlungsempfehlungen sind die Symptomatik, die Tumorgroße, das Auftreten (uni- oder bilateral), der Mutationsstatus und das Patientenalter⁵.

Tabelle 3: Behandlungsempfehlungen der EANO-Leitlinie für VS			
klinische Situation	Empfehlung	Evidenzlevel	Empfehlungslevel
klein, asymptomatisch	WAS	III	C
	oder		
klein, vollständiger Hörverlust	SRS	II	B
	WAS	III	C
	oder		
	SRS	II	B
groß, Hirnstammkompression	besser als		
	OP	III	C
	OP+SRS	IV	GPP
	besser als		
	OP	IV	GPP
WAS=wait and scan; SRS=stereotaktische Radiochirurgie; OP=Operation; GPP=good practice point			

2.3.1 „Wait and scan“

Durch die moderne und mittlerweile relativ breit verfügbare MRT-Bildgebung werden zunehmend kleine und asymptomatische VS als Zufallsbefund detektiert. Die Verlaufsbeobachtung gewinnt dadurch deutlich mehr an klinischer Bedeutung. So stellt die WAS-Strategie mittels MRT zusammen mit regelmäßigen audiologischen Kontrollen gemäß der EANO-Leitlinie bei asymptomatischen, sporadischen VS als Zufallsbefund (Koos Grad I-II) mit unauffälligem Hirnnervenbefund das Vorgehen der Wahl dar^{5,33}. Auch bei Patient:innen mit kurzer Lebenserwartung (<10 Jahren), schlechtem Allgemeinzustand, hohem Lebensalter, keinem oder nur geringem Tumorwachstum und bei Präferenz des/der Patient:in kann bevorzugt die WAS-Strategie angewendet werden³⁴. VS- Patient:innen sollen gemäß den Empfehlungen der aktuellen EANO-Leitlinie 5 Jahre lang 1- mal jährlich eine MRT-Untersuchung zur Verlaufsbeobachtung erhalten; danach können die Untersuchungsintervalle im Rahmen der WAS-Strategie nach individueller therapeutischer Entscheidung ggf. verlängert werden^{5,35}. Bei großen VS sollten bildgebende Verlaufskontrollen in halbjährlichen Abständen eingehalten werden³⁶.

2.3.2 Chirurgische Resektion

Ziel der operativen Methode ist, das VS vollständig oder so weit wie möglich zu entfernen^{5,37}. Der Outcome ist stark von der Erfahrung des Operateurs, der Tumorgröße und der präoperativen Hörfunktion abhängig⁵. Die Indikation zur Resektion sollte bei mittelgroßen Tumoren (Koos Grad III-IV) vor der Radiochirurgie geprüft werden. Die Entscheidung hinsichtlich der Methode soll in Abhängigkeit der Erfahrung der behandelnden Ärzte in interdisziplinären Tumorboards getroffen werden, da noch nicht genügend klinische Daten vorhanden sind, um differenzieren zu können welches Vorgehen hier überlegen ist⁵. Bei großen VS mit Hirnstammkompression kommt primär die chirurgische Resektion (mit oder ohne Nachbestrahlung) zum Einsatz⁵.

Im Wesentlichen werden 3 operative Zugangswege unterschieden:

Am häufigsten wird der subokzipitale retrosigmoidale Zugang (von Neurochirurgen) angewendet. Dieser bietet prinzipiell die Möglichkeit des Hörerhalts und einen besseren Zugang zum Kleinhirnbrückenwinkel. Es können hierbei VS unterschiedlicher Größe bis zur Ausdehnung an den Hirnstamm hin entfernt werden und sollte immer unter neurophysiologischem Monitoring durchgeführt werden^{38,39}. Der translabyrinthäre Zugang

wird von HNO-Chirurgen zur Resektion von VS angewandt. Der Zugang erfolgt durch den vestibulären Teil des Innenohrs und resultiert in der Regel in einem vollständigen Hörverlust⁴⁰. Die zentrale Zielsetzung der Operationsmethode ist die Schonung des N. facialis und N. cochlearis, um im weiteren Verlauf eine Versorgung mittels Cochlea-Implantat zu ermöglichen^{41,42}.

Der subtemporale Zugang durch die mittlere Schädelgrube eignet sich für kleine VS im inneren Gehörgang bei denen das Hörvermögen erhalten werden soll⁵. Eine gute Präselektion der Patient:innen ist hier immanent, da es in Abhängigkeit der Tumorlokalisation zu einem leicht erhöhten Risiko für Fazialisschädigungen kommen kann⁴³.

2.3.3 Perkutan fraktionierte Bestrahlung (FSRT)

Die perkutan fraktionierte Bestrahlung stellt eine attraktive Behandlungsstrategie dar, da die niedrigere Strahlendosis pro Fraktion die Behandlung größerer VS ermöglicht. Die zeitlich gestaffelte Behandlung ermöglicht eine bessere Schonung des normalen Gewebes und erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass die Tumorzellen zum Zeitpunkt hoher Strahlenempfindlichkeit und Zellteilungsrate getroffen werden. Laut aktueller Studienlage wird vermutet, dass eine niedrigere Strahlendosis pro Fraktion Schädigungen des Hörnervs und damit Hörverlust minimiert. Die Dosis kann mittels konventioneller Fraktionierung (NormoFSRT) (Tagesdosis von 1,8 bis 2 Gy bis zu einer Gesamtdosis von 50 bis 54 Gy) oder Hypofraktionierung (HypoFSRT) (3 bis 7 Gy pro Fraktion bis zu einer Gesamtdosis von 21 bis 35 Gy) verabreicht werden^{42,44,45}.

2.3.4 Stereotaktische Radiochirurgie

Die stereotaktische Radiochirurgie (SRS) kommt bevorzugt bei kleinen bis mittleren Tumervolumina zum Einsatz^{46,47}. Diese Behandlungsmethode hat sich seit der Erstpublikation zur radiochirurgischen Behandlung von VS durch Hirsch et al. im Jahr 1979 zur Therapie der Wahl bei kleinen Tumoren mit eingeschränkter Hörfunktion entwickelt^{5,48}. Behandlungsziel ist die radiologische und klinische Tumorkontrolle. Die in der Literatur beschriebenen Tumorkontrollraten bewegen sich zwischen 93-100%^{49,50,51}. Eine klar definierte Obergrenze in Bezug auf Tumorgöße oder Volumen für die Durchführung einer SRS gibt es nicht⁵. Mehrere Studien beschreiben die Überlegenheit der SRS bei VS von weniger als 3cm im

Hinblick auf den Erhalt der Hörfunktion und des N. facialis gegenüber der Mikrochirurgie. Das Rest-Hörvermögen zum Zeitpunkt der stereotaktischen Radiochirurgie stellt den entscheidendsten Prädiktor für den Erhalt des funktionellen Hörvermögens dar⁵². Dennoch ertauben mehr als 50% der VS- Patient:innen (auch mit initial unauffälligem Hörvermögen) nach SRS in den folgenden 10 Jahren nach Bestrahlung⁵³. Ein wichtiger negativer Prädiktor für den Hörerhalt stellt hierbei die abgegebene Strahlendosis auf die Cochlea dar^{54,55}. Typischerweise werden für die SRS Strahlentherapiegeräte wie das Gammaknife (GK), CyberKnife® (CK) oder der modifizierte Linearbeschleuniger (LINAC) verwendet⁵⁶. Am Universitätsklinikum Köln kann auf eine mehr als 30-jährige Erfahrung auf dem Gebiet der SRS zunächst den modifizierten LINAC und ab 2011 mit dem CyberKnife® zurückgegriffen werden. Seit 2012 erfolgt die SRS von VS ausschließlich mittels CyberKnife®

2.3.4.1 *Robotic-guided SRS mittels CyberKnife®*

Das CyberKnife® ist ein kompakter Linearbeschleuniger der von einem 6-achsigen Industrieroboter geführt wird. Die korrekte Positionierung des/der Patient:in erfolgt über ein intermittierend durchgeführtes orthogonales Röntgen, das die exakte Position des Zielvolumens verfolgt und Abweichungen im mm Bereich korrigieren kann⁵⁷. Die Bestrahlungsdauer mittels CyberKnife® dauerte in dieser Studie je nach Komplexität des Zielvolumens zwischen 30 und 60 Minuten. Normalerweise wird die SRS mittels CyberKnife® in einer einmaligen ambulanten Sitzung durchgeführt.

Article

Longitudinal Evaluation of Vestibular Symptoms in Patients with Vestibular Schwannoma After Robotic-Guided Stereotactic Radiosurgery Using the Dizziness Handicap Inventory (DHI)

Daniel Rueß ^{1,*}, Susanne Vojacek ^{1,†}, Eda Güngör ¹, Jan Christoffer Lüers ², Stefan Hunsche ¹,
Karolina Jablonska ³, Martin Kocher ¹ and Maximilian I. Ruge ¹

- ¹ Department of Stereotactic and Functional Neurosurgery, Centre for Neurosurgery, Medical Faculty, University of Cologne, 50933 Cologne, Germany; susanne.vojacek@gmx.de (S.V.); eda.guengoer@uk-koeln.de (E.G.); stefan.hunsche@uk-koeln.de (S.H.); martin.kocher@uk-koeln.de (M.K.); maximilian.ruge@uk-koeln.de (M.I.R.)
 - ² Department of Otorhinolaryngology, Head and Neck Surgery, Medical Faculty, University of Cologne, 50933 Cologne, Germany; jan-christoffer.lueers@uk-koeln.de
 - ³ Department of Radiation Oncology, Cyberknife Centre, Medical Faculty, University of Cologne, 50933 Cologne, Germany; karolina.jablonska@uk-koeln.de
- * Correspondence: daniel.ruess@uk-koeln.de
† These authors contributed equally to this work.



Academic Editor: Matteo Zoli

Received: 18 November 2024

Revised: 17 December 2024

Accepted: 24 December 2024

Published: 7 January 2025

Citation: Rueß, D.; Vojacek, S.; Güngör, E.; Lüers, J.C.; Hunsche, S.; Jablonska, K.; Kocher, M.; Ruge, M.I. Longitudinal Evaluation of Vestibular Symptoms in Patients with Vestibular Schwannoma After Robotic-Guided Stereotactic Radiosurgery Using the Dizziness Handicap Inventory (DHI). *J. Clin. Med.* **2025**, *14*, 299. <https://doi.org/10.3390/jcm14020299>

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Background: Vestibular symptoms can severely affect patients with vestibular schwannomas (VSs). Studies assessing vestibular symptoms beyond clinical routine assessment in patients with VS treated by stereotactic radiosurgery (SRS) are scarce. Therefore, we employed the standardized questionnaire Dizziness Handicap Inventory (DHI) to systematically evaluate vestibular symptoms prior to and after SRS. **Methods:** For this retrospective single center study, we included patients who received Cyberknife® SRS for newly diagnosed unilateral VS between 2012 and 2022, and who had a minimum of two follow-up (FU) visits. Besides clinical assessment, the presence and severeness of vestibular symptoms before and after treatment was recorded by using the DHI. Overall DHI symptom scores (1–100) were classified into four grades (0 = “none”, 1 = “mild”, 2 = “moderate” and 3 = “severe”). The results were correlated with tumor-, patient-, and treatment-related characteristics. **Results:** We analyzed 128 patients with a median age of 60 years (range: 20–82) and a median FU of 36 months (range: 11–106 months). The median tumor volume was 0.99 cm³ (range: 0.04–7.1 cm³). A median marginal dose of 13 Gy (range: 12–14 Gy) was administered. The crude rate of local tumor control was 99.2%. The mean DHI total score at last follow-up (LFU, 25.5 ± 24.7; range 0–92) was significantly lower than before SRS (29.4 ± 25.3; range: 0–92, *p* = 0.026), which was reflected in a higher proportion of patients with DHI grade “none” and a lower proportion of patients with DHI grade “severe” at LFU. Chi-square tests showed a significant correlation of the DHI grades (DHI 0–1 vs. DHI 2–3) with the absence or presence of vestibular symptoms both before SRS (*p* < 0.001, CI 95%) and at LFU (*p* = 0.038). **Conclusions:** The DHI is a feasible and valid instrument for measuring vestibular symptoms after SRS. In addition, the DHI enables the quantification of symptoms and can therefore serve as an important tool for outcome assessment after SRS of VS. In the present cohort, DHI scores improved significantly during FU.

Keywords: radiosurgery; vestibular schwannoma; vertigo; dizziness; DHI; Cyberknife

1. Introduction

Vestibular schwannomas (VSs) represent 8% of all intracranial tumors and, with an incidence of 19.4 per million, and are classified as benign central nervous system (CNS) tumors [1]. Stereotactic radiosurgery (SRS) has become an established procedure for the treatment of VS since the first publication by Hirsch et al. in 1979 [2]. This therapeutic option has emerged as the first-line treatment, particularly for small symptomatic and/or growing tumors, as also recommended in 2020's EANO guidelines proposed by the "vestibular schwannoma task force" of the EANO (European Association of Neuro-Oncology) [3].

VSs are usually clinically characterized by unilateral hearing loss (94%) and unilateral tinnitus (68%). The incidence of vestibular symptoms such as dizziness and balance disorders varies widely (17–75%) and is clinically underreported [4,5]. In VS patients, local tumor control and hearing preservation are generally reported as the main outcomes, as these parameters can be objectified reliably and reproducibly using valid measurement methods.

However, previous studies have shown that continuous dizziness is a strong predictor of disability and reduced quality of life in patients with VS [6–9]. Hence an objective clinical evaluation of balance disorders and vertigo symptoms in VS patients often is challenging due to the non-specific symptoms that are described by the patient. Therefore, available studies investigating outcome after radiosurgery (SRS) with valid objective data addressing vestibular symptoms beyond subjective patient reports are scarce [10], especially after robotic-guided SRS. In order to systematically evaluate the incidence and severity of vestibular symptoms, we introduced a well-studied PROM (Patient-Reported Outcome Measure) to assess and quantify vestibular symptoms after SRS. The 25-item Dizziness Handicap Inventory (DHI) is the most commonly used questionnaire for clinical assessment of impairment caused by balance disorders and vertigo symptoms [11,12].

The aim of this study was to (i) investigate whether the DHI can be proved to be a feasible and valid tool for measuring vestibular symptoms before and during follow-up after robotic SRS. Furthermore, (ii) we intended to elucidate patient's individual longitudinal course of potential vestibular symptoms prior to, at 6-month follow-up, and at last available follow-up after robotic-guided SRS, and (iii) to correlate these findings with clinical and treatment-related parameters.

2. Material and Methods

2.1. Patient Selection

All patients who (i) were treated in our institution between November 2012 and April 2022 for a unilateral VS with robotic-guided SRS by Cyberknife, (ii) who had at least two clinical and radiological follow-up visits ≥ 6 months after SRS treatment, and (iii) who completed the DHI questionnaire correctly before SRS, at the 6-month FU and at their individual last FU were included for this retrospective analysis.

2.2. Data Acquisition

The present retrospective analysis at a single center was conducted in accordance with the institutional rules of the local ethics committee. All clinical data were retrieved from patient's (electronic) records. We documented age, gender, date of SRS treatment, tumor volume, Koos grade, type of pre-treatment, and date of follow-up exams including MRI and clinical findings (initial and during follow-up). The presence or absence of vestibular symptoms was assessed using subjective criteria (e.g., patient-reported dizziness) and clinical examinations before and after SRS. In addition, relevant irradiation parameters such as irradiation doses (surface, minimum, maximum, and mean dose in Gy, isodose, coverage, and nCI) were determined.

2.3. Evaluation of Vestibular Symptoms Using the DHI

To assess patient's vestibular symptoms, we applied the DHI questionnaire, which is now routinely used as part of our standardized evaluation battery for patients with VS prior to and during follow-up after SRS. Each question belongs to one of 3 subgroups which represent functional, emotional, and physical aspects of vertigo and balance disorders [12]. The possible responses to each item are either "no", "sometimes", or "yes". A "no" is scored 0 points, a "sometimes" is scored 2 points, and a "yes" is scored 4 points.

Since there are a total of 25 questions, the maximum score is 100 points, indicating the maximum self-perceived dizziness handicap. The minimum score is 0, meaning that no handicap due to dizziness or balance disorders is perceived. According to Jacobsen et al. [12], a minimum change of 18 points is considered as a true change in DHI score. Furthermore, the DHI score results in four severity grades from 0 to 3, a score of 0 to 14 indicating "none", 16 to 34 "mild", 36 to 52 "moderate", and 54 or greater designating "severe" handicap.

2.4. SRS Treatment Planning and Delivery

The VS and potentially vulnerable adjacent structures (e.g., brainstem, cerebellum, trigeminal nerve) were contoured on a planning CT (Toshiba, Tokyo, Japan, Aquilon 16-slice multidetector CT) with a 1 mm slice thickness and on a defined set of MRI series comprising contrast-enhanced T1, T2, and FLAIR weighted images (Phillips, Amsterdam, The Netherlands, MR-Scanner, 1.5 or 3 Tesla) registered to the planning CT. The contouring was performed by neurosurgeons experienced in radiosurgery. For robotic Cyberknife SRS, the patient was immobilized on the robotic Cyberknife treatment table (Accuray, Sunnyvale, CA, USA) by means of a custom-made aquaplast mask. For treatment planning, the software Multiplan v4.5 (since 2016 v4.6) was used. The final irradiation plan was evaluated in an interdisciplinary consensus meeting between the stereotactic neurosurgeon, a radiation oncologist experienced in SRS, and a medical physicist.

2.5. Statistical Analysis

For descriptive statistics, continuous values are given as the median and range or mean and standard deviation; ordinal and categorical variables are shown as counts and percentage. Descriptive summaries were prepared for the patients' demographics and radiation parameters. A paired *t*-test (Wilcoxon matched-pairs signed rank test) was used to compare the DHI total score before and after treatment. An unpaired *t*-test (Mann-Whitney test) was used to compare subgroups of patients with or without vestibular symptoms. For correlation analysis between vestibular symptoms assessed during clinical follow-up and the four DHI grades (none, mild, moderate, and severe) before and at LFU, a chi-square test was used. Furthermore, correlation analysis with regard to the true change in DHI score was conducted using a binary logistic regression. A *p*-value of <0.05 was considered statistically significant. The statistical analysis was performed using the software Graphpad PRISM 10 and SPSS 29.0.1 (IBM Statistics, Chicago, IL, USA).

3. Results

3.1. Patient Cohort and Tumor Characteristics

A total of 128 patients (female/male = 54/74) with a median age of 60 years (range 20–82 years) were analyzed (Table 1). Overall median follow-up was 36 months (range, 12–106 months) and mean follow-up was 42 ± 25.9 months. The median marginal dose delivered to all tumors was 13 Gy (range, 12–14 Gy). The median prescription isodose was 80 (range, 65–82%). According to the Koos classification, about two-thirds ($n = 79$, 62%) of the patients had Koos grade I or II (Table 1). The overall average tumor volume was

$1.33 \pm 1.3 \text{ cm}^3$, and the median was 0.95 cm^3 (range 0.04–7.1). Based on previously suggested criteria according to Rueß et al. [13], one patient (0.8%) experienced tumor progression 44 months after SRS. He was retreated with a second radiosurgery (prescribed dose: 13 Gy to an 80% isodose in one fraction). The other patients in the collective showed stable tumor size or regression. The most frequent symptom prior to SRS was hearing impairment ($n = 101$, 79%). Overall, 11% of the patients ($n = 14$) had a complete loss of hearing. Seventeen patients (13%) were treated for recurrent VS following previous surgery. Of these patients, eleven had anacusis and twelve had facial nerve palsy, which remained stable during FU after SRS.

Table 1. Clinical characteristics and treatment parameters of patients. Data are presented as median values with the range in brackets.

Patient Characteristics	
Total no. of patients	128
Gender (m:f)	54:74
Recurrent AN	17 (13%)
No. of Koos-Grade	Koos I: 30 Koos II: 49 Koos III: 43 Koos IV: 5
Clinical and radiological FU (months)	36 (12–106)
Age (years)	60 (range: 20–82)
Tumor volume (cm^3)	0.95 (range: 0.04–7.1)
median FU (months)	36 (range: 12–106)
Initial Symptoms and Signs	
Acute hearing loss (%)	25 (19%)
Hearing disturbance (%)	101 (79%)
Vestibular symptoms (Vsym) (%)	81 (63%)
Deafness (%)	14 (11%)
CN V impairment (%)	5 (4%)
CN VII impairment (%)	14 (11%)
DHI Categories before Treatment	
None (0–14)	48 (38.3%)
Mild (16–34)	36 (28.1%)
Moderate (36–52)	17 (13.3%)
Severe (54–100)	26 (20.3%)
Radiation Parameters	
Marginal dose (Gy)	13 (range: 12–14)
Dose prescription, isodose (%)	80 (range: 65–82)
Coverage (%)	99.6 (range: 94–100)
$D_{\min}$	12.6 (range: 9.3–13.2)
D_{mean}	14.7 (range: 12.7–16.8)
$D_{\max}$	16.4 (range: 15–20)
nCI	1.19 (range: 1.04–1.6)

3.2. DHI Scores and Vestibular Function

Eighty-one (63%) of the patients had vestibular symptoms prior to SRS, which clinically improved in 25% ($n = 20$) after SRS. In contrast, 21 patients (26%) reported a deterioration in vestibular symptoms after SRS. About one-third of the patients ($n = 47$, 36%) did not show vestibular symptoms before SRS. Twelve (25%) of these patients experienced transient ($n = 9$) or permanent ($n = 3$) new onset of vestibular symptoms.

All patients completed the DHI as required at the defined time points, demonstrating the feasibility of this measure. The mean DHI total score was 29.4 ± 25.3 (range: 0–92) before SRS and 25.5 ± 24.7 (range: 0–92) at LFU. The decrease in DHI total score was

statistically significant ($p = 0.0058$) (Figure 1). Before SRS, out of 73 patients with a DHI score above 18 points, an improvement (minimum decrease of 18 points) was seen in 11% ($n = 8/73$) after 6 months and in 30% ($n = 22/73$) at LFU. In contrast, 120 patients had a DHI under 82 points and a true worsening of DHI (minimum increase of 18 points) was seen in 2.5% ($n = 3/120$) after 6 months and 9% ($n = 11/120$) at LFU. The binary logistic regression model did not show any influences of several variables (Table 2) on the (log) odds of DHI improvement or deterioration at LFU. In the 17 pre-operated patients, only two patients showed a significant improvement in DHI in FU, while the remaining 15 pre-operated patients showed a largely stable DHI value after SRS.

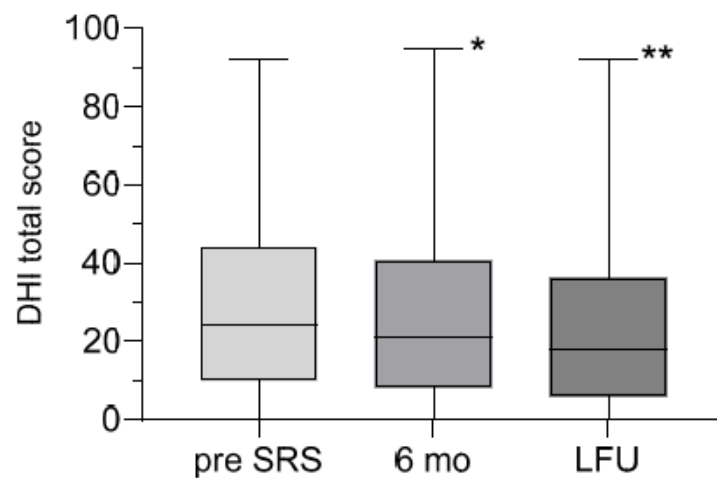


Figure 1. The figure shows a box–whisker plot with the median DHI total score before SRS (pre SRS), after six months (6 mo), and at LFU. The mean DHI total score before SRS was significantly reduced at six months and at LFU (* Wilcoxon matched-pairs signed rank test, * $p = 0.038$ and ** p -value = 0.0058).

Table 2. Statistical results of a binary logistic regression showing that the true change (≥ 18 points) of the DHI score in the direction of improvement or deterioration is not influenced by any of the tested variables ($p > 0.05$).

Variable	<i>p</i> -Values (Binaric Logistic Regression)	
	DHI Improved ($n = 22/73$)	DHI Declined ($n = 11/120$)
Age	0.550	0.920
Gender	0.867	0.861
Pre-treatment	0.474	0.200
Tumorvolume	0.408	0.998
Dmax	0.252	0.762
Dmean	0.754	0.881
Dmin	0.561	0.138
Coverage	0.634	0.255
nCI	0.128	0.620

Before SRS, most patients had a DHI grade of “none” ($n = 48$) or “mild” ($n = 36$), and a lower number of patients had “moderate” ($n = 17$) or “severe” ($n = 26$) (Table 1). During FU, in 33% of the patients ($n = 27$ of 80), the DHI improved by one or more grades, whereas in

17% ($n = 17$ of 102) of the patients, deterioration by one or more of DHI grade was observed. Overall, the number of patients with a “none” grade of DHI increased and the number of patients with a “severe” DHI score decreased during the FU period (Figure 2). The incidence of vestibular symptoms before and at LFU correlated well with the grades of DHI (chi-square $p = 0.002$, Table 3). Likewise, the group of patients with vestibular symptoms before SRS had a significantly higher mean DHI total score (34.9 ± 2.9) than the group of patients without vestibular symptoms (20 ± 3.1 , unpaired t -test, $p < 0.0004$). The same was the case for the patients with vestibular symptoms at LFU (Figure 3).

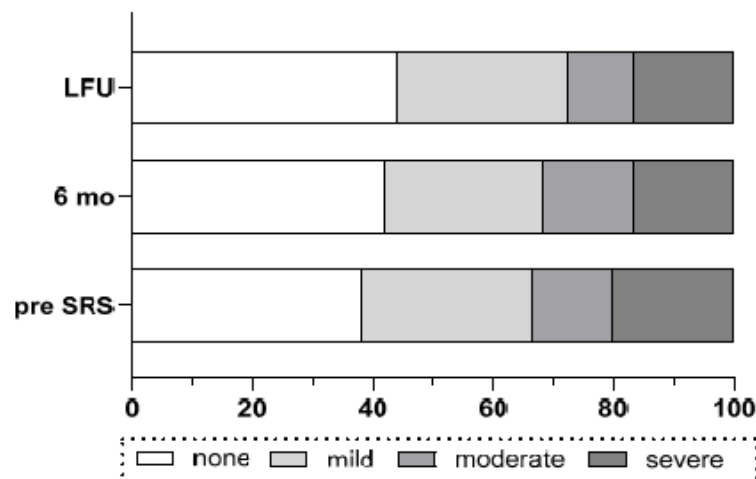


Figure 2. Comparison of the four categories of DHI before (pre SRS), at six months and at LFU.

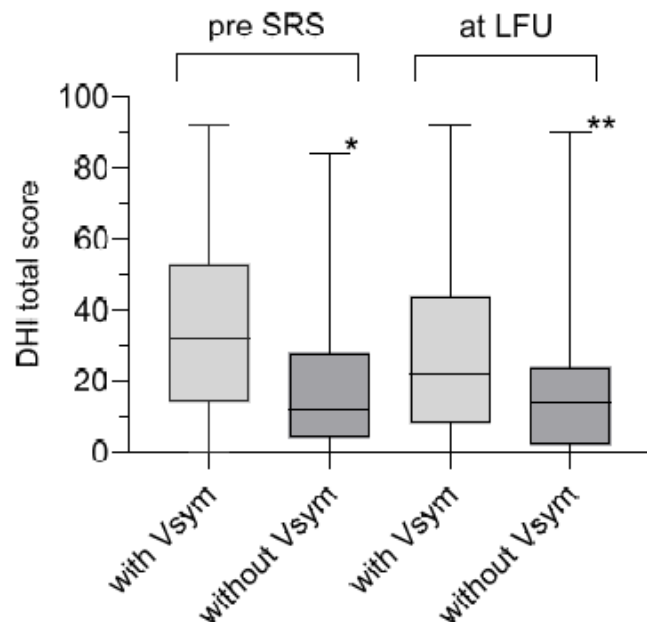


Figure 3. The figure shows a box-whisker plot with the median DHI total score of patients with or without Vsym and before SRS (pre SRS) and at LFU. As expected, before SRS, the mean DHI total score of patients with Vsym was significantly higher (Mann-Whitney test, $* p = 0.0004$) than of patients without Vsym. The same was true for the patients at LFU (Mann-Whitney test, $** p = 0.0032$).

Table 3. Chi-square test shows a correlation of the categories DHI 0–1 (none–mild) and DHI 2–3 (moderate–severe) with the incidence of Vsym before SRS (** $p = 0.002$) and at LFU (** $p = 0.008$).

Initial Vsym	DHI 0–1	DHI 2–3	Total
yes	46	35	83 ***
no	39	8	45 ***
Vsym at LFU	DHI 0–1	DHI 2–3	Total
yes	51	29	80 **
no	41	7	48 **

The deterioration in vestibular symptoms showed a positive correlation with the gradual deterioration in the DHI (chi-square $p = 0.028$). However, there was no correlation between the gradual improvement in DHI and the improvement in vestibular symptoms (chi-square $p = 0.17$).

4. Discussion

Several studies [7,14,15] have shown that dizziness and vertigo affect the quality of life (QOL) of VS patients more than hearing loss or facial neuropathy. Hearing loss in VS patients can reliably be measured using well-established methods such as pure-tone audiometry, speech audiometry, or otoacoustic emissions [16]. Conversely, the quantification and objectification of vestibular symptoms represents a diagnostic challenge and requires a multidimensional approach, as the underlying etiology is often difficult to assess and may comprise neurological, psychological, and cardiovascular comorbidities of varying intensity. Although several test protocols for instrument-based diagnostics such as the caloric test or electronystagmography are available, these tests are inconsistently and infrequently applied.

Vestibular symptoms are difficult to assess and interpret by clinical examination alone, and VS patients reporting about “dizziness” often cannot separate objectively between vertigo, postural imbalance, or psychological aspects of their imbalance [17]. In addition, the perceived impairment of VS patients caused by vestibular symptoms is difficult to assess and to compare among patients. The PANQOL is a reliable scale and valid disease-specific quality-of-life instrument for vestibular schwannoma. However, as this questionnaire covers the entire symptom complex of vestibular schwannomas and is not specific to vestibular symptoms, it was not used in our study [18]. Regarding vestibular symptoms, there are only a few standardized reporting tools available, which encompass the Vertigo Symptom Scale (VSS), Visual Vertigo Analogue Scale (VVAS), or Dizziness Handicap Inventory (DHI). The latter is the most commonly used instrument and has been validated for consistency and reliability, and has been routinely applied in patients with peripheral vestibular disorders. With regard to VS patients treated with SRS, the DHI has so far only been used in a few series of patients undergoing Gamma Knife SRS [10,19,20]. In addition, published studies investigating dizziness and vertigo in VS patients vary widely regarding the length of follow-up and mostly lack long-term data [21]. For this reason, we here for the first time applied the DHI as a longitudinal and standardized reporting tool before and after robotic SRS of unilateral VS. All patients completed the DHI correctly so that each questionnaire could be evaluated. This shows the usability of this instrument and is in line with former research [22].

We found an improvement in the total DHI score in about 30% of our cohort during follow-up, which compares well with a study by Wackym et al. [20], who examined 55 patients with sporadic VS. The majority of patients did not suffer from significant vertigo either before or after Gamma Knife SRS. Only the group of elderly patients (>65 years of age) showed a significant improvement in the total DHI score. In contrast to these results,

we did not observe an improvement in DHI influenced by age (Table 3). In addition, we found that the DHI total score changed significantly over time. A significant factor for the improvement in the DHI score after SRS was the duration of the FU period, as also shown by Wackym et al. and Pollock et al. [19,20]. The authors conclude that long-term follow-up is necessary to predict the course of vestibular dysfunction in VS patients and to detect improvements [19,20].

Neither deterioration nor improvement in DHI total score was influenced by any of the tested variables (Table 3). At least with regard to the dose, this finding is not necessarily surprising, since the dose parameters of the tumor itself were tested here. To what extent the radiation exposure of the vestibule plays a role remains still unclear. To date, several studies [23] have examined hearing preservation as a primary endpoint with regard to the radiation dose administered to the cochlea. It has been shown that a low cochlear dose is beneficial for the long-term preservation of hearing [23,24]. In contrast, only one study to date [25] has investigated the influence of vestibular radiation dose on vestibular outcome measured by vestibular tests and subjective dizziness. The authors report that a vestibular dose $D_{\min}$ of 5 Gy and above worsened dizziness in patients. In contrast, the D_{mean} and D_{max} received by the vestibule were significantly lower in patients who had improved caloric function. These results suggest that the radiation dose may have an effect on vestibular symptoms after SRS. Unfortunately, the study did not use a standardized questionnaire such as the DHI, which makes it difficult to compare subjective symptoms.

Pros and Cons of the DHI Score and Classification

Studies have shown that the results of the subscales in the DHI questionnaire to determine the degree of dizziness are biased in certain cases. One example is that a patient's avoidance behavior may suggest improvement [26]. In addition, Cohen et al. [27] points out that the use of three response options may limit the ability to register small changes and may not obtain the full range of disability experienced by patients. Regarding the measurement properties of the DHI, a systematic review by Koppelaar-van Eijdsden et al. [28] shows suboptimal content validity and internal consistency. The authors conclude that the DHI should never be used alone, but only in conjunction with other outcome parameters. Therefore, we here correlated the DHI results with the unstructured patient self-reported outcomes assessed during routine clinical follow-up. Nevertheless, several studies that use the DHI as an outcome assessment for vestibular symptoms found the DHI responsive to changes during FU [29–31]. For instance, the study of Zanardini et al. [31] used the DHI to assess vestibular rehabilitation and showed a significant improvement in correlation with clinical status. In most cases of cited studies [29–31], however, the mean change in score has fallen below the minimum change of 18 points. In our study, this leads to the confusing fact that there are patients who improve from the “moderate” to “mild” category with only a two-point change in DHI score. In the original work of Jacobson and Newman, the authors recommended a change of 18 points to be 95% certain of a true change [12]. We implemented this recommendation in our study accordingly, considering only a difference of at least 18 points in total DHI scores as a true change. It is therefore possible that patients improving from one category to another (e.g., “moderate” to “mild”) are not necessarily considered having experienced a true change in their vestibular symptoms. Thus, the four DHI categories (“none” to “severe”) are not particularly precise for mapping a real change and cannot be understood solely as outcome parameters.

A study of Duong et al. [22] validated the German version of the DHI, which was used in our study in a longitudinal evaluation of 50 patients. The patients included in the previous study showed a high level of compliance in answering the questionnaire. This was also the case in our study. Finally, the authors concluded that the DHI is a viable option

for the assessment and monitoring of treatment outcomes. Further, the authors found the DHI to be useful for documentation of patients' disorders, and thus for quality assurance. The latter is especially important for SRS against the background of the associated dose exposure of organs at risk like the vestibule.

5. Conclusions

In summary, we were able to show that the total DHI scores in patients treated with SRS significantly improved during follow-ups. However, only a minority of VS patients suffered from severe DHI scores before and after SRS. The improvement in vestibular symptoms as documented by the application of a valid questionnaire in VS patients treated with SRS could enable clinicians to better understand and anticipate the frequency, severity, and development of vestibular symptoms in a consistent manner. In addition, our study has proven that the DHI is a feasible instrument in collecting these data on vestibular symptoms in a standardized and comparable way. To further refine data of the impact of RS dosimetry on vestibular function, studies using standardized reporting tools like the DHI are particularly important, leading to more homogeneity and comparability of the study results.

Author Contributions: Conceptualization, M.K.; Methodology, K.J. and M.I.R.; Formal analysis, S.H.; Investigation, S.V.; Data curation, D.R., E.G. and K.J.; Writing—original draft, D.R. and S.V.; Writing—review & editing, J.C.L., M.K. and M.I.R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki. An ethical review and approval was waived due to the retrospective character of the study.

Informed Consent Statement: Patient consent was waived due to the retrospective character of the study. However, informed consent was obtained routinely from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The data presented in this study are available on request from the corresponding author. Due to the data protection of the patients examined in this study, the data is only made available in anonymised form.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Stangerup, S.E.; Tos, M.; Thomsen, J.; Caye-Thomasen, P. True incidence of vestibular schwannoma? *Neurosurgery* **2010**, *67*, 1335–1340; discussion 1340. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
2. Hirsch, A.; Noren, G.; Anderson, H. Audiologic findings after stereotactic radiosurgery in nine cases of acoustic neurinomas. *Acta Otolaryngol.* **1979**, *88*, 155–160. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
3. Goldbrunner, R.; Weller, M.; Regis, J.; Lund-Johansen, M.; Stavrinou, P.; Reuss, D.; Evans, D.G.; Lefranc, E.; Sallabanda, K.; Falini, A.; et al. EANO guideline on the diagnosis and treatment of vestibular schwannoma. *Neuro Oncol.* **2020**, *22*, 31–45. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
4. Shilo, S.; Hannaux, O.; Gilboa, D.; Ungar, O.J.; Handzel, O.; Abu Eta, R.; Muhanna, N.; Oron, Y. Could the Audiometric Criteria for Sudden Sensorineural Hearing Loss Miss Vestibular Schwannomas? *Laryngoscope* **2023**, *133*, 670–675. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
5. Andersen, J.F.; Nilsen, K.S.; Vassbotn, E.S.; Moller, P.; Myrseth, E.; Lund-Johansen, M.; Goplen, F.K. Predictors of vertigo in patients with untreated vestibular schwannoma. *Otol. Neurotol.* **2015**, *36*, 647–652. [\[CrossRef\]](#)
6. Myrseth, E.; Moller, P.; Pedersen, P.H.; Lund-Johansen, M. Vestibular schwannoma: Surgery or gamma knife radiosurgery? A prospective, nonrandomized study. *Neurosurgery* **2009**, *64*, 654–661; discussion 661–663. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
7. Lloyd, S.K.; Kasbekar, A.V.; Baguley, D.M.; Moffat, D.A. Audiovestibular factors influencing quality of life in patients with conservatively managed sporadic vestibular schwannoma. *Otol. Neurotol.* **2010**, *31*, 968–976. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)

8. Breivik, C.N.; Nilsen, R.M.; Myrseth, E.; Finnkirk, M.K.; Lund-Johansen, M. Working disability in Norwegian patients with vestibular schwannoma: Vertigo predicts future dependence. *World Neurosurg.* **2013**, *80*, e301–e305. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
9. Breivik, C.N.; Nilsen, R.M.; Myrseth, E.; Pedersen, P.H.; Varughese, J.K.; Chaudhry, A.A.; Lund-Johansen, M. Conservative management or gamma knife radiosurgery for vestibular schwannoma: Tumor growth, symptoms, and quality of life. *Neurosurgery* **2013**, *73*, 48–56; discussion 56–57. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
10. Carlson, M.L.; Tveiten, O.V.; Driscoll, C.L.; Neff, B.A.; Shepard, N.T.; Eggers, S.D.; Staab, J.P.; Tombers, N.M.; Goplen, F.K.; Lund-Johansen, M.; et al. Long-term dizziness handicap in patients with vestibular schwannoma: A multicenter cross-sectional study. *Otolaryngol. Head Neck Surg.* **2014**, *151*, 1028–1037. [\[CrossRef\]](#)
11. Mutlu, B.; Serbetcioglu, B. Discussion of the dizziness handicap inventory. *J. Vestib. Res.* **2013**, *23*, 271–277. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
12. Jacobson, G.P.; Newman, C.W. The development of the Dizziness Handicap Inventory. *Arch. Otolaryngol. Head Neck Surg.* **1990**, *116*, 424–427. [\[CrossRef\]](#)
13. Ruess, D.; Schutz, B.; Celik, E.; Baues, C.; Junger, S.T.; Neuschmelting, V.; Hellerbach, A.; Eichner, M.; Kocher, M.; Ruge, M.I. Pseudoprogession of Vestibular Schwannoma after Stereotactic Radiosurgery with Cyberknife®: Proposal for New Response Criteria. *Cancers* **2023**, *15*, 1496. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
14. Myrseth, E.; Moller, P.; Wentzel-Larsen, T.; Goplen, F.; Lund-Johansen, M. Untreated Vestibular Schwannoma: Vertigo is a Powerful Predictor for Health-Related Quality of Life. *Neurosurgery* **2006**, *59*, 67–76. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
15. Berkowitz, O.; Han, Y.Y.; Talbott, E.O.; Iyer, A.K.; Kano, H.; Kondziolka, D.; Brown, M.A.; Lunsford, L.D. Gamma Knife Radiosurgery for Vestibular Schwannomas and Quality of Life Evaluation. *Ster. Funct. Neurosurg.* **2017**, *95*, 166–173. [\[CrossRef\]](#)
16. Zhang, W.; Shi, J.; Yin, Y.; Ma, M.; Lyu, J.; Yang, J.; Zhao, W.; Yuan, Y. Audiological Characteristics of Vestibular Schwannoma Patients With Normal Pure-Tone Audiometry. *Otolaryngol. Head Neck Surg.* **2024**, *171*, 502–510. [\[CrossRef\]](#)
17. Nam, G.S.; Jung, C.M.; Kim, J.H.; Son, E.J. Relationship of Vertigo and Postural Instability in Patients with Vestibular Schwannoma. *Clin. Exp. Otorhinolaryngol.* **2018**, *11*, 102–108. [\[CrossRef\]](#)
18. Shaffer, B.T.; Cohen, M.S.; Bigelow, D.C.; Ruckenstein, M.J. Validation of a disease-specific quality-of-life instrument for acoustic neuroma: The Penn Acoustic Neuroma Quality-of-Life Scale. *Laryngoscope* **2010**, *120*, 1646–1654. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
19. Pollock, B.E.; Driscoll, C.L.; Foote, R.L.; Link, M.J.; Gorman, D.A.; Bauch, C.D.; Mandrekar, J.N.; Krecke, K.N.; Johnson, C.H. Patient outcomes after vestibular schwannoma management: A prospective comparison of microsurgical resection and stereotactic radiosurgery. *Neurosurgery* **2006**, *59*, 77–85; discussion 77–85. [\[CrossRef\]](#)
20. Wackym, P.A.; Hannley, M.T.; Runge-Samuels, C.L.; Jensen, J.; Zhu, Y.R. Gamma Knife surgery of vestibular schwannomas: Longitudinal changes in vestibular function and measurement of the Dizziness Handicap Inventory. *J. Neurosurg.* **2008**, *109*, 137–143. [\[CrossRef\]](#)
21. Dayal, M.; Perez-Andujar, A.; Chuang, C.; Parsa, A.T.; Barani, I.J. Management of vestibular schwannoma: Focus on vertigo. *CNS Oncol.* **2013**, *2*, 99–104. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
22. Duong Dinh, T.A.; Wittenborn, J.; Westhofen, M. The Dizziness Handicap Inventory for quality control in the treatment of vestibular dysfunction. *HNO* **2022**, *70*, 19–23. [\[CrossRef\]](#)
23. Balossier, A.; Tuleasca, C.; Delsanti, C.; Troude, L.; Thomassin, J.M.; Roche, P.H.; Regis, J. Long-Term Hearing Outcome After Radiosurgery for Vestibular Schwannoma: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Neurosurgery* **2023**, *92*, 1130–1141. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
24. Watanabe, S.; Yamamoto, M.; Kawabe, T.; Koiso, T.; Yamamoto, T.; Matsumura, A.; Kasuya, H. Stereotactic radiosurgery for vestibular schwannomas: Average 10-year follow-up results focusing on long-term hearing preservation. *J. Neurosurg.* **2016**, *125* (Suppl. S1), 64–72. [\[CrossRef\]](#)
25. Ermis, E.; Anschuetz, L.; Leiser, D.; Poel, R.; Raabe, A.; Manser, P.; Aebbersold, D.M.; Caversaccio, M.; Mantokoudis, G.; Abu-Isa, J.; et al. Vestibular dose correlates with dizziness after radiosurgery for the treatment of vestibular schwannoma. *Radiat. Oncol.* **2021**, *16*, 61. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
26. Yardley, L.; Luxon, L.M.; Haacke, N.P. A longitudinal study of symptoms, anxiety and subjective well-being in patients with vertigo. *Clin. Otolaryngol. Allied Sci.* **1994**, *19*, 109–116. [\[CrossRef\]](#)
27. Cohen, H.S.; Kimball, K.T.; Adams, A.S. Application of the vestibular disorders activities of daily living scale. *Laryngoscope* **2000**, *110*, 1204–1209. [\[CrossRef\]](#)
28. Koppelaar-van Eijnden, H.M.; Schermer, T.R.; Buntjens, T.D. Measurement Properties of the Dizziness Handicap Inventory: A Systematic Review. *Otol. Neurotol.* **2022**, *43*, e282–e297. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
29. Enloe, L.J.; Shields, R.K. Evaluation of health-related quality of life in individuals with vestibular disease using disease-specific and general outcome measures. *Phys. Ther.* **1997**, *77*, 890–903. [\[CrossRef\]](#)

4 DISKUSSION

Vestibuläre Symptome können Patienten mit Vestibularisschwannomen (VS) stark beeinträchtigen. Mehrere Studien^{58,59,60} haben gezeigt, dass Gleichgewichtsstörungen und Schwindel die Lebensqualität von Patienten mit VS sogar stärker einschränken als Hörverlust, Tinnitus oder eine Fazialisparese. Während Hörverlust und Fazialisparese mit relativ einfachen Methoden zuverlässig und reproduzierbar gemessen werden können, stellt die Objektivierung und Quantifizierung vestibulärer Symptome oft eine diagnostische Herausforderung dar. Die zugrunde liegende Ätiologie ist mitunter schwer zu differenzieren, da neurologische, kardiovaskuläre oder psychologische (Ko)-morbiditäten die Symptomatik beeinflussen können.

Patient:innen mit VS die unter „Schwindel“ leiden, schaffen es oft nicht, objektiv zwischen Schwindel, Gleichgewichtsstörungen, posturaler Instabilität oder psychologischen Aspekten ihrer vestibulären Symptome zu differenzieren¹⁷. Darüber hinaus ist es im Rahmen der Untersuchung mitunter schwierig, die vom Patienten wahrgenommene vestibuläre Beeinträchtigung zu objektivieren und diese im Patientenkollektiv vergleichen zu können.

Demzufolge kommt den PROMs hier eine wichtige Bedeutung zu, da so kostengünstig und ohne relevanten medizinischen Zeit- und Personalaufwand ein objektivierbarer Status in Bezug auf vestibuläre Symptome erhoben werden kann. Der Dizziness Handicap Inventory (DHI) ist hierunter der am häufigsten verwendete Fragebogen zur Objektivierung und Quantifizierung vestibulärer Symptome²⁷ und wird routinemäßig bei Patienten mit peripheren vestibulären Störungen eingesetzt.

4.1 Vergleich mit anderen Studien

Zur Objektivierung der vestibulären Symptomatik an VS-Patient:innen gibt es bislang nur einige wenige Studien nach SRS mittels Gamma-Knife, die den DHI als standardisiertes Reporting-Tool einsetzten^{61,62,63}. Die publizierten Studien variieren jedoch stark in Hinblick auf die Dauer der Nachbeobachtungszeit und es fehlen meist Langzeitdaten hinsichtlich des Verlaufs der vestibulären Symptomatik⁶⁴.

Die hier präsentierte Studie ist die erste Longitudinalstudie nach SRS mit CyberKnife®, die den DHI als standardisiertes Reporting-Tool verwendet, um die vestibuläre Symptomatik von VS-Patient:innen vor und nach CyberKnife®-Intervention zu objektivieren und quantifizieren. Im

Verlauf des Nachbeobachtungszeitraums zeigte sich bei etwa 30 % der Patient:innen eine Verbesserung des DHI-Gesamtscores.

Ein ähnliches Ergebnis publizierten Wackym et al.⁶³, die 55 Patienten mit sporadischem VS untersuchten. Die Mehrheit dieser Kohorte litt jedoch weder vor noch nach der Gamma-Knife SRS unter einer signifikanten vestibulären Symptomatik. Nur in der Gruppe der älteren Patienten (>65 Jahre) konnte eine signifikante Verbesserung des DHI-Gesamtscores nachgewiesen werden.

Im Gegensatz dazu konnte in der hier präsentierten Studie keine Verbesserung des DHI-Scores in Abhängigkeit vom Alter festgestellt werden. (publizierter Artikel, Table 3). Es zeigte sich jedoch, dass sich der DHI-Gesamtscore in Abhängigkeit von der Zeit signifikant verändert. Ein signifikanter Faktor für die Verbesserung des DHI-Scores ist hierbei die Dauer des follow-up Zeitraums nach SRS. Dieses Ergebnis korreliert mit dem anderer Forschergruppen wie Wackym et al. oder Pollock et al.^{62,63}. Die Autoren schließen hieraus, dass eine langfristige Nachbeobachtung notwendig ist, um den Verlauf der vestibulären Dysfunktion bei VS-Patienten besser vorherzusagen und Verbesserungen detektieren zu können^{62,63}.

Keine der in dieser Studie untersuchten klinischen, tumor- oder bestrahlungsassoziierten Variablen (publizierter Artikel, Table 3) konnte den DHI hinsichtlich einer Verbesserung oder Verschlechterung in seinem Gesamtscore beeinflussen. Inwieweit die Strahlenexposition auf den Vestibularapparat hierbei eine Rolle spielt, ist noch unklar. Es gibt zum aktuellen Zeitpunkt mehrere Studien⁶⁵, die den Hörerhalt als primären Endpunkt im Hinblick auf die Strahlendosis der Cochlea untersucht haben. Diese konnten zeigen, dass eine niedrige Cochleadosis für den langfristigen Erhalt des Gehörs von Vorteil ist^{65,66}. Im Gegensatz dazu wurde bislang nur eine Studie veröffentlicht⁶⁷, die den Einfluss der Strahlendosis auf den Vestibularapparat im Hinblick auf die vestibuläre Symptomatik untersuchte. Hier fanden die Autoren eine signifikante Korrelation zwischen der Strahlendosis auf das Vestibulum und dem vestibulären Outcome: eine minimale Strahlendosis ($D_{\min}$) von 5 Gy und höher auf den Vestibularapparat verschlimmerte die vestibuläre Symptomatik nach dem radiochirurgischen Eingriff. Im Gegensatz dazu waren die mittlere (D_{mean}) und maximale Strahlendosis ($D_{\max}$) auf das Vestibulum bei Patient:innen die eine verbesserte kalorische Funktion aufwiesen, deutlich niedriger. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Bestrahlungsdosis einen Einfluss auf vestibuläre Symptome nach SRS haben kann. Leider wurde in dieser Studie kein

standardisierter Fragebogen wie z.B. der DHI verwendet, was hier eine Vergleichbarkeit der vom Patienten angegebenen vestibulären Symptome erschwert.

4.2 Stärken und Schwächen des DHI

Yardley et al.⁶⁸ haben in einer Longitudinalstudie gezeigt, dass die Punkte-Scores der 3 Subskalen des DHI im Längsverlauf verzerrt sein können. Als Beispiel geben die Autoren das Vermeidungsverhalten von Patienten in Bezug auf bestimmte Situationen an, die mit einer vestibulären Symptomatik einhergehen oder diese verschlechtern. Dies suggeriert fälschlicherweise eine Verbesserung des DHI-Scores⁶⁸. Darüber hinaus weisen Cohen et al.⁶⁹ darauf hin, dass die Verwendung von drei Antwortmöglichkeiten („nein“, „manchmal“, „ja“) die Erfassung kleiner Veränderungen einschränken kann und so möglicherweise nicht das gesamte Spektrum der vom Patienten empfundenen vestibulären Beeinträchtigungen erfasst wird. Hinsichtlich der Messqualität des DHI zeigt eine systematische Übersicht von Koppelaar-van Eijdsen et al.⁷⁰ eine suboptimale Inhaltsvalidität und interne Konsistenz. Die Autoren kommen daher zu dem Schluss, dass der DHI nicht als alleiniges Tool zur Erhebung der vestibulären Symptomatik verwandt werden soll, sondern nur in Verbindung mit anderen Modalitäten kombiniert werden soll.

Es wurden bislang mehrere Studien publiziert, die zeigen konnten, dass der DHI-Score auf Veränderungen der vestibulären Symptomatik im Längsverlauf reagiert^{71,72,73}.

Beispielsweise wurde in der Studie von Zanardini et al.⁷³ der DHI zur Beurteilung des Benefits einer vestibulären Rehabilitationstherapie von Patient:innen im Alter von 63 und 82 Jahren verwendet. Hier fanden die Autoren eine signifikante Verbesserung des DHI-Scores, welcher mit den Ergebnissen der klinischen und apparativen Untersuchungen korrelierte. In den meisten Fällen der zitierten Studien^{71,72,73} lag die durchschnittliche Veränderung des Gesamtscores jedoch unter der empfohlenen Mindestveränderung von 18 Punkten. In der hier publizierten Studie führt dies zu der verwirrenden Tatsache, dass es Patient:innen gibt, die sich durch einer Veränderung des DHI-Scores um nur zwei Punkte von der Kategorie „mittelschwer“ zur Kategorie „leicht“ verbessern. In der Originalarbeit von Jacobson und Newman empfahlen die Autoren eine Veränderung von 18 Punkten im DHI, das einem Konfidezkoeffizient von 95% entspricht²⁸.

Die Autorenempfehlung wurde in dieser Studie entsprechend umgesetzt und nur eine Differenz von mindestens 18 Punkten in den DHI-Scores wurde als eine tatsächliche Veränderung hinsichtlich des Schweregrades der vestibulären Symptomatik gewertet.

Daher sind die vier DHI-Symptomkategorien („keine“ bis „schwer“) nicht ausreichend präzise genug, um eine echte Veränderung der vestibulären Symptomatik abzubilden und können somit nicht als alleinige Outcome-Parameter betrachtet werden.

In einer Studie von Duong et al.⁷⁴ wurde die deutsche Version des DHI in einer Längsschnittuntersuchung an 50 Patienten validiert. Die in diese Studie eingeschlossenen Patient:innen zeigten eine hohe Compliance bei der Beantwortung des Fragebogens. Die Autoren schließen hieraus, dass der DHI eine praktikable Möglichkeit für die Bewertung und Verlaufskontrolle von vestibulären Störungen in VS-Patienten darstellt.

In der hier publizierten Studie füllten zudem alle Patienten den DHI korrekt aus, so dass jeder Fragebogen ausgewertet werden konnte. Dies zeigt die Gebrauchstauglichkeit dieses Instruments und steht ebenfalls im Einklang mit der Publikation von Duong et al.⁷⁴.

4.3 Klinische Relevanz und Ausblick

Nicht nur die Diagnostik sondern auch die Therapie vestibulärer Funktionsstörungen von VS-Patient:innen stellt eine Herausforderung für die Behandler dar. Dies ist von besonderer Bedeutung, da oft therapeutische Maßnahmen hinsichtlich ihrer Qualitätssicherung nicht adäquat dokumentiert und abgebildet werden können. Mehrere Studien konnten zeigen (Rocha Junior et al.⁷⁵, Zanardini et al.⁷³), dass eine Verbesserung der Patientenbeschwerden nach erfolgter Behandlung mit einer signifikanten Verbesserung des DHI-Scores korreliert. Der DHI kann daher ebenso als ein praktikables Tool zur Evaluation der Therapieergebnisse und Verlaufskontrolle verwendet werden. Die Objektivierung der vestibulären Symptomatik im Patientenalltag ist hierbei besonders relevant, nachdem diese Beschwerden nicht dauerhaft vorhanden sein müssen und im Laufe der Zeit schwanken können. Daher ist es denkbar, dass Patienten diese im Rahmen einer routinemäßigen Verlaufskontrolle mittels MRT oder Audiometrie nicht explizit erwähnen, wodurch vestibuläre Symptome übersehen werden können. Die standardisierte Verwendung der DHI zur Erhebung der vestibulären Symptomatik kann daher in der Nachsorge hilfreich sein und ist ein wichtiger Schritt in Richtung einer personalisierten medizinischen Versorgung.

Um hier die komplizierte Berechnung des DHI-Summscores in Zukunft zu erleichtern, könnte in Zukunft ein entsprechendes KI-Fragenbogen-Tool zum Einsatz kommen.

5 LITERATURVERZEICHNIS

1. Stangerup SE, Tos M, Thomsen J, Caye-Thomasen P. True incidence of vestibular schwannoma? *Neurosurgery*. **2010**;67:1335-1340; [discussion: 1340].
2. Ostrom QT, Gittleman H, Liao P, Vecchione-Koval T, Wolinsky Y, Kruchko C, et al. CBTRUS statistical report: primary brain and other central nervous system tumors diagnosed in the United States in 2010–2014. *Neuro Oncol*. **2017**;19 (suppl_5): v1–v88.
3. Khrais T, Romano G, Sanna M. Nerve origin of vestibular schwannoma: a prospective study. *J Laryngol Otol*. **2008**;122(2):128-131.
4. Roosli C, Linthicum Jr F, Cureoglu S, Merchant S N. What is the site of origin of cochleovestibular schwannomas? *Audiol Neurotol*. **2012**;17(2): 121–125.
5. Goldbrunner R, Weller M, Regis J, Lund-Johansen M, Stavrinou P, Reuss D, Evans D G, Lefranc F, Sallabanda K, Falini A, Axon P, Sterkers O, Fariselli L, Wick W, Tonn J-C. EANO guideline on the diagnosis and treatment of vestibular schwannoma. *Neuro Oncol*. **2019**;22(1):31–45.
6. Agnihotri S, Jalali S, Wilson MR, Danesh A, Li M, Klironomos G, Krieger J R, Mansouri A, Khan O, Mamatjan Y, Landon-Brace N, Tung T, Dowar M, Li T, Bruce J P, Burrell K E, Tonge P D et al. The genomic landscape of schwannoma. *Nat Genet*. **2016**;48(11):1339–1348.
7. Gal T J, Shinn J, Huang B. Current epidemiology and management trends in acoustic neuroma. *Otolaryngol Head Neck Surg*. **2010**; 142(5): 677-681.
8. Withrow D R, Devesa S S, Deapen D, Petkov V, Van Dyke A L, Adamo M , Armstrong T S, Gilbert M R, Linet M S. Nonmalignant meningioma and vestibular schwannoma incidence trends in the United States, 2004– 2017. *Cancer*. **2021**; 127(19): 3579–3590.
9. Schoemaker MJ, Swerdlow AJ, Auvinen A, Christensen HC, Feychting M, Johansen C, Klaeboe L, Lönn S, Salminen T, Tynes T. Medical history, cigarette smoking and risk of acoustic neuroma: an international case-control study. *Int J Cancer*. **2007**; 120(1): 103–110.
10. Shilo S, Hannaux O, Gilboa D, Ungar O J, Handzel O,, Eta R A, Muhanna N, Oron Y. Could the Audiometric Criteria for Sudden Sensorineural Hearing Loss Miss Vestibular Schwannomas? *Laryngoscope*. **2023**; 133(3): 670–675.

11. Andersen J F, Nilsen K S, Vassbotn F S, Møller P, Myrseth E, Lund-Johansen M, Golpen F K. Predictors of vertigo in patients with untreated vestibular schwannoma. *Otol Neurotol*. **2015**;36(4):647–652.
12. Koos W T, Day J D, Matula C, Levy D I. Neurotopographic considerations in the microsurgical treatment of small acoustic neurinomas. *J Neurosurg*. **1998**; 88(3):506–512.
13. Harati A, Oni P, Schultheiß R, Deitmer T. Management of patients with vestibular schwannoma type IV. *Laryngorhinootologie*. **2020**; 99(9): 613– 619.
14. Strasilla C, Sychra V. Bildgebende Diagnostik des Vestibularisschwannoms. *HNO*. **2017**; 65(5): 373–380.
15. Truong L-UF, Kleiber J C, Durot C, Brenet E, Barbe C, Hoeffel C, Bazin A, Labrousse M, Dubernard X. The study of predictive factors for the evolution of vestibular schwannomas. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. **2023**; 280(4): 1661–1670.
16. Kemper M, Paliege K, Zahnert T. Vestibularisschwannome – Basis- und Verlaufsdiagnostik. *Laryngorhinootologie*. **2022**; 101(6): 518–538.
17. Nam G S, Jung C M, Kim J H, Son E J. Relationship of Vertigo and Postural Instability in Patients with Vestibular Schwannoma. *Clin. Exp. Otorhinolaryngol*. **2018**; 11(2), 102–108.
18. Moffat D A, Harries M I, Baguley D M, Hardy D G. Unterberger's stepping test in acoustic neuroma. *J Laryngol Otol*. **1989**; 103(9):839-41.
19. Wagner J N, Glaser M, Wowra B, Muacevic A, Goldbrunner R, Cnyrim C, Tonn J-C, Strupp M. Vestibular Function and Quality of Life in Vestibular Schwannoma: Does Size Matter? *Front Neurol*. **2011**; 2:55.
20. Shepard N T, Jacobson G P. The caloric irrigation test. *Handb Clin Neurol*. **2016**; **137**:119–31.
21. Bush M L, Bingcang C M, Chang E T, Fornwalt B, Rayle C, Gal T J, Jones R O, Shinn J B. Hot or cold? Is monothermal caloric testing useful and cost-effective? *Ann Otol Rhinol Laryngol*. **2013**; 122(6):412–6.
22. Czipionka T., Achleitner S C. Patient Reported Outcome and Experience Measures. *Fachzeitschrift Soziale Sicherheit*. **2018**; (3):417-32.

23. Hazzaa N M, Manzour A F, Yahia E, Galal E M. Effectiveness of virtual reality-based programs as vestibular rehabilitative therapy in peripheral vestibular dysfunction: a meta-analysis. *Eur Arch Otorhinolaryngol*; **280** (7):3075–3086.
24. Yardley A, Masson E, Verschuur C, Haacke N, Luxon L. Symptoms, anxiety and handicap in dizzy patients: development of the vertigo symptom scale. *J Psychosom Res.* **1992**; 36(8):731-41
25. Kondo M, Kiyomiza K, Goto F, Kitahara T, Imai T, Hashimoto M, Shimogori H, Ikezono T, Nakayama M, Watanabe N, Akechi T. Analysis of vestibular-balance symptoms according to symptom duration: dimensionality of the Vertigo Symptom Scale-short form. *Health Qual Life Outcomes.* **2015**; 22:13:4.
26. Fuentealba-Bassaletti C, Neve O M , van Esch B F, Jansen J C, Koot R W, van Benthem P P G, Hensen E F. Vestibular Complaints Impact on the Long-Term Quality of Life of Vestibular Schwannoma Patients. *Otol Neurotol.* **2022** ;44(2):161–167.
27. Mutlu B., Serbetcioglu B. Diskussion des Schwindel-Handicap-Inventars. *J. Vestib. Res.* **2013**; 23(6):271-277.
28. Jacobson G P, Newman C W. The development of the Dizziness Handicap Inventory. *Arch. Otolaryngol.* **1990**;116(4):424–427.
29. Emasithi A, Pakdee S, Isaradisaiikul SK, Uthaikhup S. Translation and Validation of the Dizziness Handicap Inventory into Thai Language. *Otol Neurotol.* **2022**;43:(2)e252-e258.
30. Szostek-Rogula S, Zamyslowska-Szmytko E. Validation of the Polish version of the Dizziness Handicap Inventory. *Med Pr.* **2019**;70(5): 529-534.
31. Poon DMY, Chow LCK, Au DKK, Hui Y, Leung MCP. Translation of the Dizziness Handicap Inventory into Chinese. Validation of it, and evaluation of the quality of life of patients with chronic dizziness. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* **2004**;113(12):1006-11.
32. Kurre A, van Gool CJAW, Bastiaenen CHG, Gloor-Juzi T, Straumann D, de Bruin ED. Translation, cross-cultural adaptation and reliability of the german version of the dizziness handicap inventory. *Otol Neurotol.* **2009**;30(30):359-67.
33. Germano IM, Sheehan J, Parish J, Atkins T, Asher A, Hadjipanayis CG, Burri SH, Green S, Olson JJ. Congress of neurological surgeons systematic review and evidence-based guidelines on the role of imaging in the diagnosis and management of patients with vestibular schwannomas. *Neurosurgery.* **2018**; 82(2): E49–E51.

34. Lin EP, Crane BT. The management and imaging of vestibular schwannomas. *AJNR Am J Neuroradiol.* **2017**; 38(11): 2034–2043.
35. Dunn IF, Bi WL, Mukundan S, Delman BN, Parish J, Atkins T, Asher AL, Olson JJ. Congress of neurological surgeons systematic review and evidence-based guidelines on the role of imaging in the diagnosis and management of patients with vestibular schwannomas. *Neurosurgery.* **2018**; 82(2): E32–E34.
36. Kirchmann M, Karnov K, Hansen S, Dethloff T, Stangerup S-E, Caye-Thomasen P. Ten-year follow-up on tumor growth and hearing in patients observed with an intracanalicular vestibular schwannoma. *Neurosurgery.* **2017**; 80(1): 49–56.
37. Seol HJ, Kim C-h, Park C-K, Kim CH, Kim DG, Chung Y-S, Jung H-W. Optimal extent of resection in vestibular schwannoma surgery: relationship to recurrence and facial nerve preservation. *Neurol Med Chir (Tokyo)* **2006**; 46(4): 176–180.
38. Rabelo de Freitas M, Russo A, Sequino G, Piccirillo E, Sanna M. Analysis of hearing preservation and facial nerve function for patients undergoing vestibular schwannoma surgery: the middle cranial fossa approach versus the retrosigmoid approach—personal experience and literature review. *Audiol Neurotol.* **2012**; 17(2): 71–81.
39. Gharabaghi A, Samii A, Koerbel A, Rosahl SK, Tatagiba M, Samii M. Preservation of function in vestibular schwannoma surgery. *Neurosurgery.* **2007**; 60(2 Suppl 1): ONS124–127; discussion ONS 127-8.
40. Moffat DA, Quaranta N, Chang P. Management of the high jugular bulb in translabyrinthine surgery. *Laryngoscope.* **2003**; 113(3): 580–582.
41. Rosahl S, Eßer D. Chirurgische Techniken zur Behandlung des Vestibularisschwannoms. *HNO.* **2017**; 65(5): 395–403.
42. Esser J, Walger M, Pollet N, Klußmann JP, Ruge M, Goldbrunner R et al. Vestibular schwannoma: factors in therapy decision-making. *Laryngorhinootologie.* **2024**;103(3):176-186.
43. DeMonte F, Gidley PW. Hearing preservation surgery for vestibular schwannoma: experience with the middle fossa approach. *Neurosurg Focus.* **2012**; 33(3): E10.
44. Brun L, Mom T, Guillemin F, Puechmaille M, Khalil T, Biau J. The Recent Management of Vestibular Schwannoma Radiotherapy: A Narrative Review of the Literature. *J Clin Med.* **2024**; 13(6):1611.

45. Kessel K A, Fischer H, Vogel M M E, Oechsner M, Bier H, Meyer B, Combs S E. Fractionated vs. single-fraction stereotactic radiotherapy in patients with vestibular schwannoma: Hearing preservation and patients' self-reported outcome based on an established questionnaire. *Strahlenther Onkol.* **2017**; 193(3):192-199.
46. Wu C-C, Guo W-Y, Chung W-Y, Wu H-M, Lin C-J, Lee C-C, Liu K-D, Yang H-C. Magnetic resonance imaging characteristics and the prediction of outcome of vestibular schwannomas following Gamma Knife radiosurgery. *J Neurosurg.* **2017**; 127(6): 1384–1391.
47. Friedman WA, Bradshaw P, Myers A, Bova FJ. Linear accelerator radiosurgery for vestibular schwannomas. *J Neurosurg.* **2006**; 105(5) 657–661.
48. Hirsch A, Noren G, Anderson H. Audiologic findings after stereotactic radiosurgery in nine cases of acoustic neurinomas. *Acta Otolaryngol.* **1979**; 88(3-4):155-60.
49. Tsai J-T, Lin J-W, Lin C-M, Chen Y-H, Ma H-I, Jen Y-M, Chen Y-H, Ju D-T. Clinical evaluation of Cyberknife in the treatment of vestibular schwannomas. *BioMed Res Int.* **2013**; 2013:297093.
50. Rueß D, Pöhlmann L, Grau S, Hamisch C, Hellerbach A, Treuer, Kocher M, Ruge M I. Long-term follow-up after stereotactic radiosurgery of intracanalicular acoustic neurinoma. *Radiat Oncol.* **2017**;12(1):68.
51. Rueß D, Pöhlmann L, Hellerbach A, Hamisch C, Hoeverls M, Treuer, Grau S, Jablonska K, Kocher M, Ruge M I. Acoustic Neuroma Treated with Stereotactic Radiosurgery: Follow-up of 335 Patients. *World Neurosurg.* **2018**;116:e194-e202.
52. Tamura M, Carron R, Yomo S, Arkha Y, Muraciotte X, Porcheron D, Thomassin J M, Roche P H, Regis J. Hearing preservation after gamma knife radiosurgery for vestibular schwannomas presenting with high level hearing. *Neurosurgery.* **2009**; 64(2): 289–296.
53. Carlson ML, Vivas EX, McCracken DJ, Sweeney AD, Neff BA, Shepard NT, Olson JJ. Congress of neurological surgeons systematic review and evidence-based guidelines on hearing preservation outcomes in patients with sporadic vestibular schwannomas. *Neurosurgery.* **2018**; 82(2): E35–E39.
54. Wackym PA, Runge-Samuelson CL, Nash JJ, Poetker DM, Albano K, Bovi J, Michel M A, Friedland D R, Zhu Y-r, Hannley M T. Gamma knife surgery of vestibular schwannomas: volumetric dosimetry correlations to hearing loss suggest stria

- vascularis devascularization as the mechanism of early hearing loss. *Otol Neurotol*. **2010**; 31(9): 1480–1487.
55. Jacob JT, Carlson ML, Schiefer TK, Pollock BE, Driscoll CL, Link MJ. Significance of cochlear dose in the radiosurgical treatment of vestibular schwannoma: controversies and unanswered questions. *Neurosurgery*. **2014**; 74(5): 466–474.
 56. Hamm K, Herold H-U, Surber G, Rosahl S. Radiochirurgie und fraktionierte stereotaktische Radiotherapie des Vestibularisschwannoms. *HNO*. **2017**; 65(5): 434–442.
 57. Kilby W, Naylor M, Dooley JR, Kuduvalli G, Sayeh S, Maurer J R. The CyberKnife Robotic Radiosurgery System in 2010. *Technol Cancer Res Treat*. **2010**; 9(5):433-52.
 58. Lloyd S K, Kasbekar A V, Baguley D M, Moffat D A. Audiovestibular factors influencing quality of life in patients with conservatively managed sporadic vestibular schwannoma. *Otol. Neurotol*. **2010**; 31(6): 968–976.
 59. Myrseth E, Moller P, Wentzel-Larsen T, Goplen F, Lund-Johansen M. Untreated Vestibular Schwannoma: Vertigo is a Powerful Predictor for Health-Related Quality of Life. *Neurosurgery*. **2006**; 59(1): 67–76.
 60. Berkowitz O, Han Y Y, Talbott E O, Iyer A K, Kano H, Kondziolka D, Brown M A Lunsford L D. Gamma Knife Radiosurgery for Vestibular Schwannomas and Quality of Life Evaluation. *Ster. Funct. Neurosurg*. **2017**; 95(3): 166–173.
 61. Carlson M L, Tveiten O V, Driscoll C L, Neff B A, Shepard N T, Eggers S D, Staab J P, Tombers N M, Goplen F K, Lund-Johansen M; Link M J. Long-term dizziness handicap in patients with vestibular schwannoma: A multicenter cross-sectional study. *Otolaryngol. Head Neck Surg*. **2014**; 151(6): 1028–1037.
 62. Pollock B E, Driscoll C L, Foote R L, Link M J, Gorman D A, Bauch C D, Mandrekar J N, Krecke K N, Johnson C H. Patient outcomes after vestibular schwannoma management: A prospective comparison of microsurgical resection and stereotactic radiosurgery. *Neurosurgery*. **2006**; 59(1): 77–85;

63. Wackym P A, Hannley M T, Runge-Samuelson C L, Jensen J, Zhu Y R. Gamma Knife surgery of vestibular schwannomas: Longitudinal changes in vestibular function and measurement of the Dizziness Handicap Inventory. *J. Neurosurg.* **2008**,109: 37–143.
64. Dayal M, Perez-Andujar A, Chuang C, Parsa A T, Barani I J. Management of vestibular schwannoma: Focus on vertigo. *CNS Oncol.* **2013**; 2(1): 99–104.
65. Balossier A, Tuleasca C, Delsanti C, Troude L, Thomassin J M, Roche P H, Regis J. Long-Term Hearing Outcome After Radiosurgery for Vestibular Schwannoma: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Neurosurgery.* **2023**; 92(6): 1130–1141.
66. Watanabe S, Yamamoto M, Kawabe T, Koiso T, Yamamoto T, Matsumura A, Kasuya H. Stereotactic radiosurgery for vestibular schwannomas: Average 10-year follow-up results focusing on long-term hearing preservation. *J. Neurosurg.* **2016**; 125 (Suppl. S1): 64–72.
67. Ermis E, Anschuetz L, Leiser D, Poel R, Raabe A, Manser P, Aebersold D M, Caversaccio M, Mantokoudis G, Abu-Isa J, Wagner F, Herrmann E. Vestibular dose correlates with dizziness after radiosurgery for the treatment of vestibular schwannoma. *Radiat. Oncol.* **2021**; 16(1): 61.
68. Yardley L, Luxon L M, Haacke N P. A longitudinal study of symptoms, anxiety and subjective well-being in patients with vertigo. *Clin. Otolaryngol. Allied Sci.* **1994**; 19(2): 109–116.
69. Cohen H S, Kimball K T, Adams A S. Application of the vestibular disorders activities of daily living scale. *Laryngoscope.* **2000**; 110(7): 1204–1209.
70. Koppelaar-van Eijdsden H M, Schermer T R, Brintjes T D. Measurement Properties of the Dizziness Handicap Inventory: A Systematic Review. *Otol. Neurotol.* **2022**; 43(3): e282–e297.
71. Enloe L J, Shields R K. Evaluation of health-related quality of life in individuals with vestibular disease using disease-specific and general outcome measures. *Phys. Ther.* **1997**; 77(9): 890–903.

72. Cowand J L, Wrisley D M, Walker M, Strasnick B, Jacobson J T. Efficacy of vestibular rehabilitation. *Otolaryngol. Head Neck Surg.* **1998**; 118(1): 49–54.
73. Zanardini F H, Zeigelboim B S, Jurkiewicz A L, Marques J M, Martins-Bassetto J. Vestibular rehabilitation in elderly patients with dizziness. *Pró-Fono Rev. Atualização Científica.* **2007**; 19(2): 177–184.
74. Duong Dinh T A, Wittenborn J, Westhofen M. The Dizziness Handicap Inventory for quality control in the treatment of vestibular dysfunction. *HNO.* **2022**; 70(1): 19–23.
75. Rocha Junior P R, Kozan E S, de Moraes J F, Pereira F G, Moreno A B. Vestibular rehabilitation in the quality of life and the symptomatology of dizziness among the elderly. *Cien Suade Colet.* **2014**; 19(8): 3365-3374.

6 ANHANG

6.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: DHI-Fragebogen

Dizziness Handicap Inventory (DHI)

Dieser Fragebogen dient dazu, die Probleme herauszufinden, die Sie wegen Ihres Schwindels oder Ihrer Gleichgewichtsprobleme haben können. Beantworten Sie bitte jede Frage entweder mit „ja“, „nein“ oder „manchmal“. Beantworten Sie jede Frage nur in Bezug auf Ihr Schwindel- oder Gleichgewichtsproblem.

P= vor Behandlung
K1= 1. Kontrolle (6 Mon)
K2= aktuelle Kontrolle

Name: _____

Geburtsdatum: _____

Datum: _____

Fragen	Ja 4	Manchmal 2	Nein 0
P1 Verstärken sich Ihre Probleme, wenn Sie nach oben schauen? P K1 K2			
E2 Fühlen Sie sich wegen Ihrer Probleme frustriert? P K1 K2			
F3 Schränken Sie wegen Ihrer Probleme geschäftliche oder private Reisen ein? P K1 K2			
P4 Verstärken sich Ihre Probleme, wenn Sie einen Gang im Supermarkt entlang gehen? P K1 K2			
F5 Haben Sie wegen Ihrer Probleme Schwierigkeiten beim ins Bett gehen oder beim Aufstehen aus dem Bett? P K1 K2			
F6 Schränken Ihre Probleme Sie deutlich ein, an gesellschaftlichen Aktivitäten teilzunehmen (z.B. auswärts essen gehen, Einladungen folgen, zu Parties gehen, ins Kino gehen, Theater oder Konzerte besuchen)? P K1 K2			

Fragen	Ja 4	Manchmal 2	Nein 0
F7 Haben Sie wegen Ihrer Probleme Schwierigkeiten beim Lesen? P K1 K2			
P8 Verstärken sich Ihre Probleme bei anspruchsvolleren Aktivitäten z.B. im Sport, beim Tanzen oder bei Hausarbeiten? P K1 K2			
E9 Haben Sie wegen Ihrer Probleme Angst, das Haus ohne Begleitung zu verlassen? P K1 K2			
E10 Sind Sie wegen Ihrer Probleme schon einmal in eine peinliche Situation geraten? P K1 K2			
P11 Verstärken schnelle Kopfbewegungen Ihre Probleme? P K1 K2			
F12 Meiden Sie die Höhe wegen Ihrer Probleme (zum Beispiel Berge, Hochhaus, Leiter, Gerüst)? P K1 K2			
P13 Verstärken sich Ihre Probleme, wenn Sie sich im Bett drehen? P K1 K2			
F14 Haben Sie wegen Ihrer Probleme Schwierigkeiten, anstrengende Haus- oder Gartenarbeit zu erledigen? P K1 K2			
E15 Befürchten Sie, dass andere Leute wegen Ihrer Probleme denken, Sie seien betrunken? P K1 K2			

Fragen	Ja 4	Manchmal 2	Nein 0
F16 Haben Sie wegen Ihrer Probleme Schwierigkeiten, alleine spazieren zu gehen? P K1 K2			
P17 Verstärken sich Ihre Probleme, wenn Sie auf einem Trottoir/Bürgersteig gehen? P K1 K2			
E18 Ist es wegen Ihrer Probleme schwierig für Sie, sich zu konzentrieren? P K1 K2			
F19 Ist es wegen Ihrer Probleme für Sie schwierig, sich im Dunkeln in Ihrer Wohnung zu bewegen? P K1 K2			
E20 Haben Sie wegen Ihrer Probleme Angst, alleine zu Hause zu bleiben? P K1 K2			
E21 Fühlen Sie sich wegen Ihrer Probleme behindert/eingeschränkt? P K1 K2			
E22 Belasten Ihre Probleme die Beziehung zu Familienmitgliedern oder Freunden? P K1 K2			
E23 Fühlen Sie sich aufgrund Ihrer Probleme deprimiert? P K1 K2			
F24 Werden Sie durch Ihre Probleme beeinträchtigt, Ihre Aufgaben im Beruf oder Haushalt wahrzunehmen? P K1 K2			
P25 Verstärken sich Ihre Probleme, wenn Sie sich nach vorne beugen? P K1 K2			

Total P: Physisch P K1 K2	
Total E: Emotional P K1 K2	
Total F: Funktionell P K1 K2	
Total P K1 K2	/100

6.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Koos-Klassifikation

Tabelle 2: Hannover-Klassifikation

Tabelle 3: Behandlungsempfehlungen der EANO-Leitlinie für VS