

Aus der  
Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde  
Klinik der Universität München  
Direktor: Prof. Dr. med. Martin Canis

**Bedeutung der Hörrehabilitation bei Cochlea-Implantat  
Patienten für die vestibuläre Stabilität und  
Raumorientierung**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von  
Christopher Rösel

aus  
Münster

Jahr  
2025

---

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Friedrich Ihler  
Mitberichterstatter: Prof. Dr. Jonas J.-H. Park

Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter: Dr. Julia Louza Lützner

Dekan: Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

Tag der mündlichen Prüfung: 04.12.2025

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	3
Zusammenfassung .....	5
Abstract (English).....	8
Abbildungsverzeichnis .....	10
Tabellenverzeichnis .....	10
Abkürzungsverzeichnis.....	14
1. Einleitung.....	15
1.1 Das Hör- und Gleichgewichtsorgan.....	15
1.1.1 Anatomie.....	15
1.1.2 Physiologie des Gleichgewichtssystems.....	19
1.2 Das Cochlea-Implantat.....	21
1.2.1 Historische Aspekte .....	21
1.2.2 Aufbau und Funktionsweise .....	22
1.2.3 Indikationen .....	23
1.2.4 Präoperative Diagnostik.....	24
1.2.5 Risiken nach Cochlea-Implantation .....	25
2. Zielsetzung und Fragestellungen .....	27
3. Material und Methoden.....	28
3.1 Patientenkollektiv .....	28
3.2 Fragebogen.....	29
3.3 Posturographie mit dem Vertigard®-RT-System .....	30
3.3.1 Ablauf der Messung.....	30
3.3.2 Reihenfolge der Messreihen mit dem CI .....	32
3.3.3 Individuelles Sturzrisiko .....	33
3.4 Statistische Auswertung.....	34
4. Ergebnisse .....	35
4.1 Symptome und subjektive Beeinträchtigung .....	35
4.1.1 Fragebogen zu Schwindelsymptomen .....	35
4.1.2 DHI-Fragebogen .....	35
4.2 Posturographie .....	37

4.2.1 Vergleich der Sturzrisikowerte bei aus- und eingeschaltetem CI .....	37
4.2.2 Vergleich der Sturzrisikowerte bei unterschiedlichen akustischen Reizen	40
4.2.3 Vergleich der Sturzrisikowerte mit und ohne akustische Reize .....	42
4.2.4 Vergleich der Sturzrisikowerte im zeitlichen Verlauf .....	44
4.2.4.1 Vergleich der Sturzrisikowerte „prä OP“ vs. „Aktuell“ .....	45
4.2.4.2 Vergleich der Sturzrisikowerte „post OP“ vs. „Aktuell“ .....	46
4.2.4.3 Vergleich der Sturzrisikowerte „6 Wochen post OP“ vs. „Aktuell“ .....	48
4.2.4.4 Geschlechtsspezifischer Vergleich .....	49
4.2.4.5 Altersspezifischer Vergleich.....	50
4.2.5 Einfluss der sensorischen Komponente auf das Sturzrisiko.....	50
4.2.5.1 Vergleich der visuellen Komponente .....	50
4.2.5.2 Vergleich der propriozeptiven Komponente.....	52
4.2.5.3 Vergleich der vestibulären Komponente .....	53
4.2.6 Vergleich der Oberkörperschwankungen .....	53
4.2.6.1 Oberkörperschwankungen seitwärts .....	54
4.2.6.2 Oberkörperschwankungen „VUZ“ .....	56
4.2.6.3 Verlaufsentwicklung der Oberkörperschwankungen .....	59
5. Diskussion.....	64
5.1 Vergleich der erzielten Ergebnisse mit anderen Studien .....	64
5.1.1 Einfluss des Alters .....	66
5.1.2 Einfluss akustischer Reize auf das Sturzrisiko .....	67
5.2 Stärken und Limitationen .....	69
5.3 Aktueller Forschungsstand und methodische Weiterentwicklung.....	71
Literaturverzeichnis .....	73
Anhang Abbildungen.....	82
Anhang Tabellen.....	87
Danksagung .....	111
Affidavit.....	112
Übereinstimmungserklärung.....	113
Lebenslauf.....	114
Publikationsliste.....	116

## Zusammenfassung

### **Einleitung:**

Die operative Versorgung von hochgradig hörgeschädigten und ertaubten Menschen durch ein Cochlea-Implantat („CI“) zählt seit mehr als drei Jahrzehnten zu einem Routineeingriff in der Ohrchirurgie. Insgesamt wurden weltweit bis 2022 ca. 60.000 Menschen mit einem Cochlea-Implantat operativ versorgt. Gleichgewichtsstörungen treten nach einer ein- oder beidseitigen CI-Operation („CI-OP“) relativ häufig auf und können sich als Früh- und Spätkomplikation äußern. Infolgedessen kann es zu einem erhöhten Sturzrisiko kommen.

Ziel dieser klinisch prospektiven Studie an der Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde des Klinikums der Universität München war die Untersuchung der Auswirkungen der Hörrehabilitation bei CI-Patienten ein bis drei Jahre nach CI-Versorgung auf das Gleichgewichtssystem. Die Analysen und Auswertungen erfolgten hierbei getrennt mit unterschiedlichen Schwerpunkten: in zeitlicher Verlaufsentwicklung vor und nach der CI-OP, unter Hinzunahme akustischer Reize sowie nach geschlechts- und altersspezifischen Aspekten.

### **Methodik:**

Das Patientenkollektiv setzte sich aus 33 CI-Patienten (17 Frauen und 16 Männer) zusammen, die am Untersuchungstag zwischen 33 und 83 Jahre alt waren. Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich vom 30.05.2017 bis zum 22.11.2017. Im Vorfeld dieser Studie fanden bei allen Patienten vor der CI-OP als auch sechs Wochen danach bereits Datenerhebungen in Form zweier Fragebögen zu Schwindelsymptomen und posturographische Gleichgewichtsmessungen statt.

Im Rahmen der dritten postoperativen Nachuntersuchung ein bis drei Jahre nach CI-OP erfolgte erneut eine Befragung der Patienten anhand des Fragebogens zur Schwindelsymptomatik sowie anhand des Dizziness Handicap Inventory („DHI“) - Fragebogens. Die Gleichgewichtsmessungen wurden mithilfe des Vertiguard®-RT-Gerätes in dieser Studie erstmalig zusätzlich auch mit akustischen Reizen durchgeführt. Jeder Patient unter 60 Jahren führte unter Aufsicht und Anleitung sieben

Messreihen mit jeweils 14 aufeinanderfolgenden Gleichgewichtsübungen des Standard-Balance-Defizittests („SBDT“) durch, alle CI-Patienten über 60 Jahre die 14 Übungen des modifizierten Standard-Balance-Defizittests („gSBDT“).

### **Ergebnisse:**

Die Auswertung des Fragebogens zur Schwindelsymptomatik ergab, dass ein bis drei Jahre nach CI-OP nur noch bei einem Drittel der CI-Patienten Gleichgewichtsstörungen auftraten und diese sich bei mehr als der Hälfte der Patienten im Laufe der Zeit verringerten.

Darüber hinaus ergab die Auswertung des DHI-Fragebogens, dass die Schwindelbeschwerden ein bis drei Jahre nach CI-OP bei einem Viertel der Patienten sowohl beim Gehen auf unebenem Untergrund als auch bei schnellen Kopfbewegungen zunahmen.

Bei mehr als der Hälfte aller untersuchten Patienten reduzierten sich ein bis drei Jahre nach CI-OP die mittleren Sturzrisikowerte signifikant bei eingeschaltetem CI im Vergleich zum ausgeschalteten CI. Die Hinzunahme akustischer Reize („Musik“, „weißes Rauschen“ und „Sprachtext“) führte bei „Musik“ und „Sprachtext“ zu einer Reduzierung der mittleren Sturzrisikowerte, bei „weißem Rauschen“ dagegen erhöhten sich die mittleren Sturzrisikowerte.

Der Vergleich der mittleren Sturzrisikowerte vor CI-OP und ein bis drei Jahre nach CI-OP führte bei ca. zwei Dritteln aller Patienten ein bis drei Jahre nach CI-OP zu geringeren mittleren Sturzrisikowerten.

Bei der Analyse der seitlichen Oberkörperschwankungen ein bis drei Jahre nach CI-OP traten in den Vergleichen „CI Aus“ vs. „CI Ein“ und „CI Ein“ vs. „Musik“ statistisch signifikant geringere Oberkörperschwankungen auf. Beim Vergleich „CI Aus“ vs. „CI Ein“ war die seitliche Oberkörperschwankung bei „CI Ein“ am geringsten, beim Vergleich „CI Ein“ vs. „Musik“ bei „Musik“. Auch der Vergleich der Oberkörperschwankungen „vor und zurück“ führte sowohl bei Hinzunahme von „Musik“ als auch bei Hinzunahme von „Sprachtext“ im Vergleich zu „CI Ein“ ohne akustische Reize zu einer signifikanten Reduzierung der Oberkörperschwankungen.

**Schlussfolgerung:**

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass bei hochgradig hörgeschädigten und er taubten erwachsenen Menschen ein bis drei Jahre nach erfolgter CI-OP in den durchgeführten Messreihen geringere Werte für das Sturzrisiko bei eingeschaltetem CI ermittelt wurden. Auch die Hinzunahme der akustischen Reize „Musik“ und „Sprachtext“ wirkte sich während der durchgeführten Messreihen positiv auf die Reduzierung des Sturzrisikos aus.

## Abstract (English)

### Introduction:

The surgical treatment of severely hearing-impaired and deaf people with a cochlear implant (“CI”) has been a routine procedure in ear surgery for more than three decades now. Until 2022, about 60,000 people globally have been surgically treated with a CI. Balance disorders occur relatively frequently after unilateral or bilateral cochlear implant surgery and can manifest themselves as early and late complications. As a result, there may be an increased risk of falling.

The aim of this clinical prospective study at the Clinic and Polyclinic for Otorhinolaryngology at the University Hospital of Munich was to investigate the effects of hearing rehabilitation in CI patients one to three years after CI fitting on the vestibular system. The analyses and evaluations were carried out separately with different focuses: in temporal development before and after CI surgery, with the addition of acoustic stimuli, as well as according to gender and age-specific aspects.

### Methods:

The population consisted of 33 CI patients (17 women and 16 men) who were between 33 and 83 years old on the day of the study. The study period spanned from 30 May 2017 to 22 November 2017. Prior to this study, data collection in the form of two questionnaires on vertigo symptoms and posturographic balance measurements took place in all patients before CI surgery, as well as six weeks afterwards. During the third postoperative follow-up one to three years after CI surgery, the patients were again interviewed using the questionnaire on vertigo symptoms and the Dizziness Handicap Inventory (“DHI”) questionnaire. For the first time in this study, the balance measurements were also carried out with acoustic stimuli using the Vertiguard®-RT device. Each patient under 60 years of age performed seven series of measurements with 14 consecutive balance exercises of the standard balance deficit test (“SBDT”) under supervision and guidance, and all CI patients over 60 years of age performed the 14 exercises of the modified standard balance deficit test (“gSBDT”).

**Results:**

The evaluation of the questionnaire on vertigo symptoms showed that one to three years after CI surgery, only one-third of CI patients still experienced balance disorders, and that these decreased over time in more than half of the patients.

In addition, the evaluation of the DHI questionnaire revealed that dizziness complaints increased one to three years after CI surgery in one-fourth of the patients, both when walking on an uneven surface and when making rapid head movements.

In more than half of all patients examined, the mean falling risk scores were significantly reduced one to three years after CI surgery with the CI switched on compared to the CI switched off. The addition of acoustic stimuli ("music", "white noise" and "speech text") led to a reduction in the mean falling risk scores for "music" and "speech text", while the mean falling risk scores increased for "white noise".

The comparison of mean falling risk scores before CI surgery and one to three years after CI surgery resulted in lower mean falling risk scores in approximately two-thirds of all patients one to three years after CI surgery.

When analysing lateral upper body sway, the comparisons "CI off" vs. "CI on" and "CI on" vs. "music" one to three years after CI surgery showed statistically significantly lower upper body sway. When comparing "CI off" vs. "CI on", lateral upper body sway was lowest during "CI on", when comparing "CI on" vs. "music", it was lowest during "music". The comparison of the upper body sway "back and forth" also led to a significant reduction of the upper body sway, both with the addition of "music" and with the addition of "speech text", compared to "CI on" without acoustic stimuli.

**Conclusion:**

The results of this study show that, one to three years after CI surgery, profoundly hearing-impaired and deafened adults had lower fall risk scores when CI was switched on in the series of measurements carried out.

The addition of acoustic stimuli such as "music" and "speech text" also had a positive effect on reducing the risk of falling during the series of measurements carried out.

## Abbildungsverzeichnis

### Abbildung im Text

Abb. 1.1:	Rechtes Ohr (Koitschev et al., 2014, Seite 2).....	16
Abb. 1.2:	Innenohr, schematische Darstellung (Welsch et al., 2022, Seite 570).17	17
Abb. 1.3:	Das Cochlea-Implantat (Behrbohm et al., 2012, Seite 62) .....	22
Abb. 3.1:	geschlechtsspezifische Altersverteilung .....	29
Abb. 3.2:	Vertiguard®-RT-Gerät (Basta und Ernst, 2011, Seite 2) .....	30
Abb. 4.1:	geschlechtsspezifischer Vergleich „post OP“ vs. „Aktuell“.....	47
Abb. 4.2:	Gesamtvergleich der Sturzrisikowerte.....	48
Abb. 4.3:	Gesamtvergleich der Sturzrisikowerte der Frauen.....	49
Abb. 4.4:	Gesamtvergleich der Sturzrisikowerte der Männer .....	49
Abb. 4.5:	Gesamtvergleich der Oberkörperschwankungen seitwärts .....	56
Abb. 4.6 :	geschlechtsspezifischer Vergleich der Oberkörperschwankungen seitwärts bei „post OP“ vs. „Aktuell“.....	61
Abb. 4.7:	geschlechtsspezifischer Vergleich der Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei „post OP“ vs. „Aktuell“.....	63

### Abbildung im Anhang

Abb. I:	Fragebogen präoperativ .....	82
Abb. II:	Fragebogen zu Schwindelsymptomen.....	83
Abb. III:	DHI-Fragebogen .....	84
Abb. IV:	Vergleich der 3 Komponenten (visuell, propriozeptiv, vestibulär) ....	85

## Tabellenverzeichnis

### Tabellen im Text

Tabelle 4.1:	Übersicht der Messabläufe .....	32
Tabelle 4.2:	Auswertung des DHI-Fragebogens (alle 33 CI-Patienten) .....	36
Tabelle 4.3:	Auswertung des DHI-Fragebogens (16 männliche CI-Patienten) .	36
Tabelle 4.4:	Auswertung des DHI-Fragebogens (17 weibliche CI-Patienten)...	37
Tabelle 4.5:	Vergleich „CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“.....	38
Tabelle 4.6:	Vergleich „CI Aus“ vs. „CI Ein Abschlusskontrollwert“.....	39
Tabelle 4.7:	Vergleich „weißes Rauschen“ vs. „Sprachtext“ .....	40

Tabelle 4.8: Vergleich „weißes Rauschen“ vs. „Musik“ .....	41
Tabelle 4.9: Vergleich „Sprachtext“ vs. „Musik“ .....	41
Tabelle 4.10: Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „weißes Rauschen“.	42
Tabelle 4.11: Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Sprachtext“ .....	43
Tabelle 4.12: Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Musik“ .....	43
Tabelle 4.13: geschlechtsspezifischer Vergleich des Sturzrisikos .....	44
Tabelle 4.14: Vergleich des Sturzrisikos bei „Über 60-jährigen“ vs. „Unter 60-jährigen“.....	44
Tabelle 4.15: Vergleich „prä OP“ vs. „Aktuell“ .....	45
Tabelle 4.16: Deskriptive Statistikwerte - getrennt nach Geschlechtern .....	46
Tabelle 4.17: Vergleich „post OP“ vs. „Aktuell“.....	47
Tabelle 4.18: Vergleich „6 Wochen post OP“ vs. „Aktuell“ .....	48
Tabelle 4.19: Verlaufsentwicklung der „Über 60-jährigen“ und „Unter 60-jährigen“.....	50
Tabelle 4.20: Vergleich „Sprachtext visuell“ vs. „Musik visuell“ .....	51
Tabelle 4.21: Vergleich der Mittelwerte der visuellen Komponente .....	52
Tabelle 4.22: Vergleich „CI Aus propriozeptiv“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert propriozeptiv“ .....	52
Tabelle 4.23: Vergleich der Oberkörperschwankungen seitwärts bei „CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“.....	54
Tabelle 4.24: Vergleich der Oberkörperschwankungen seitwärts bei „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Musik“ .....	55
Tabelle 4.25: Vergleich der Mittelwerte der Oberkörperschwankungen seitwärts .....	56
Tabelle 4.26: Vergleich der Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei „CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“.....	57
Tabelle 4.27: Vergleich der Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Musik“ .....	57
Tabelle 4.28: Vergleich der Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Sprachtext“ .....	58
Tabelle 4.29: Vergleich der Mittelwerte der Oberkörperschwankungen „VUZ“.	59
Tabelle 4.30: Vergleich der Oberkörperschwankungen seitwärts bei „post OP“ vs. „Aktuell“ .....	60
Tabelle 4.31: Vergleich der Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei „prä OP“ vs. „Aktuell“ .....	62

## Tabellen im Anhang

Tabelle A.I:	Statistik bei gepaarten Stichproben - Vergleich „CI Aus“ mit unterschiedlichen „CI Ein“-Werten ohne akustische Reize .....	87
Tabelle A.II:	Statistik bei gepaarten Stichproben - Vergleich unterschiedlicher akustischer Reize .....	87
Tabelle A.III:	Statistik bei gepaarten Stichproben - Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ mit unterschiedlichen akustischen Reizen....	87
Tabelle A.IV:	t-Test zu gepaarten Differenzen bei unterschiedlichen CI-Werten ohne und mit akustischen Reizen .....	88
Tabelle A.V:	Statistik bei gepaarten Stichproben - Verlaufsentwicklung des Sturzrisikos .....	89
Tabelle A.VI:	t-Test zu gepaarten Differenzen - Verlaufsentwicklung des Sturzrisikos .....	89
Tabelle A.VII:	t-Test zu gepaarten Differenzen - geschlechtsspezifische Verlaufsentwicklung des Sturzrisikos .....	90
Tabelle A.VIII:	Statistik bei gepaarten Stichproben - Vergleich der visuellen Komponente.....	91
Tabelle A.IX:	t-Test zu gepaarten Differenzen - visuelle Komponente .....	92
Tabelle A.X:	Deskriptive Statistik - visuelle Komponente .....	93
Tabelle A.XI:	Statistik bei gepaarten Differenzen - Vergleich der propriozeptiven Komponente .....	94
Tabelle A.XII:	t-Test zu gepaarten Differenzen - propriozeptive Komponente.	95
Tabelle A.XIII:	Deskriptive Statistik - propriozeptive Komponente .....	96
Tabelle A.XIV:	Statistik bei gepaarten Differenzen - Vergleich der vestibulären Komponente .....	97
Tabelle A.XV:	t-Test zu gepaarten Differenzen - vestibuläre Komponente .....	98
Tabelle A.XVI:	Deskriptive Statistik - vestibuläre Komponente .....	99
Tabelle A.XVII:	Statistik bei gepaarten Stichproben - Oberkörperschwankungen seitwärts.....	100
Tabelle A.XVIII:	t-Test zu gepaarten Differenzen - Oberkörperschwankungen seitwärts.....	101
Tabelle A.XIX:	Deskriptive Statistik - Oberkörperschwankungen seitwärts und „VUZ“ .....	102
Tabelle A.XX:	Statistik bei gepaarten Stichproben - Oberkörperschwankungen „VUZ“ .....	103
Tabelle A.XXI:	t-Test zu gepaarten Differenzen - Oberkörperschwankungen „VUZ“... ..	104

Tabelle A.XXII: t-Test bei gepaarten Differenzen - Oberkörperschwankungen seitwärts und „VUZ“ im zeitlichen Verlauf .....	105
Tabelle A.XXIII: t-Test zu gepaarten Differenzen - Oberkörperschwankungen seitwärts und „VUZ“ im zeitlichen Verlauf getrennt nach Geschlechtern .....	106
Tabelle A.XXIV: Tabellarische Gesamtübersicht der wichtigsten Untersuchungsergebnisse der Studie.....	107

## Abkürzungsverzeichnis

AWMF	Arbeitsgemeinschaft Deutschsprachiger Audiologen, Neurotologen und Otologen der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie
CI	Cochlea-Implantat
CT	Computertomografie
dB	Dezibel
DHI	Dizziness Handicap Inventory
DGHNO-KHC	Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren Heilkunde, Kopf und Hals-Chirurgie
gSBDT	modifizierter Standard-Balance-Defizittest
MRT	Magnetresonanztomographie
SBDT	Standard-Balance-Defizittest
V-KIT	Video-Kopf-Impuls-Test
VOR	vestibulookulärer Reflex
VSR	vestibulospinaler Reflex
VUZ	vor und zurück

## 1. Einleitung

Laut aktuellen Statistiken der WHO (World-Health-Organization) zählen Hörstörungen mit weltweit mehr als 635 Millionen Betroffenen zu den häufigsten Erkrankungen (Richter, 2021).

Heutzutage können Patienten, die an einer einseitigen oder beidseitigen Taubheit bzw. einer hochgradigen Schwerhörigkeit leiden, erfolgreich mithilfe eines Cochlea-Implantats versorgt werden, sodass wieder ein besseres Hörvermögen und vor allem Sprachverständnis ermöglicht wird.

Studien zeigen, dass nicht nur jüngere Menschen, sondern vor allem ältere Menschen dabei deutlich von einer Cochlea-Implantation im Hör- und Sprachverständnis profitieren (Hilly et al. 2016, Rohloff et al. 2017). Der Versorgung älterer Menschen mit einem Hörgerät bzw. Hörprothese kommt somit eine immer größer werdende Bedeutung zu.

Weltweit wurden bisher ca. 60.000 von 1 Millionen CI-Kandidaten bereits mit einem CI-Implantat versorgt (Lenarz et al., 2022). Jedoch tritt bei einem relevanten Anteil der Patienten unmittelbar nach einer CI-OP eine signifikante Gleichgewichtsstörung auf, die zu einem erhöhten Sturzrisiko führen kann.

### 1.1 Das Hör- und Gleichgewichtsorgan

#### 1.1.1 Anatomie

Das Hör- und Gleichgewichtsorgan lässt sich in einen peripheren und einen zentralen Abschnitt unterteilen. Der periphere Teil setzt sich zusammen aus dem äußeren Ohr, dem Mittelohr, dem Innenohr und dem achten Hirnnerv (N. vestibulocochlearis). Zum zentralen Teil zählen die nervale Hörbahn und die Gleichgewichtsbahnen (Franzen und Coordes, 2022).

Der vom Hirnstamm ausgehende achte Hirnnerv verzweigt sich im Meatus acusticus internus in den N. cochlearis und den N. vestibularis. Der Austausch der Hör- und Gleichgewichtsinformationen erfolgt hierbei zwischen den Sinneszellen der

peripheren Endorgane sowie den vestibulären und kochleären Kernen im Hirnstamm (Probst et al., 2008).

Das äußere Ohr besteht aus der Ohrmuschel, einem elastischen Knorpel und dem äußeren Gehörgang, der bis zum Trommelfell (Membrana tympanica) verläuft. Die funktionelle Bedeutung des äußeren Ohres liegt in der Lokalisierung einer Schallquelle sowie der Aufnahme und Weiterleitung von Schallwellen über den äußeren Gehörgang zum Trommelfell (Koitschev et al., 2014).

Zum Mittelohr gehören die Paukenhöhle mit den drei Gehörknöchelchen Hammer (Malleus), Amboss (Incus) und Steigbügel (Stapes), der Warzenfortsatz und die Ohrtrumpete (Tuba auditiva). Mithilfe des Trommelfells und der drei Gehörknöchelchen findet die Schallübertragung vom Außen- zum Innenohr statt.

Die Hauptaufgabe des Mittelohrs besteht hierbei in der Umwandlung von Schallwellen vom Trommelfell in mechanische Schwingungen. Die Tuba auditiva, die das Mittelohr mit dem Nasopharynx verbindet, ist für die Angleichung an den atmosphärischen Druck zuständig (siehe Abb.1.1).

Beim Innenohr handelt es sich um ein labyrinthförmiges Hohlraumsystem, das sich im Felsenbein des knöchernen Schädels befindet und sich in das Gleichgewichtsorgan (Vestibularorgan) und das Hörorgan (Cochlea) unterteilen lässt (siehe Abb.1.1).

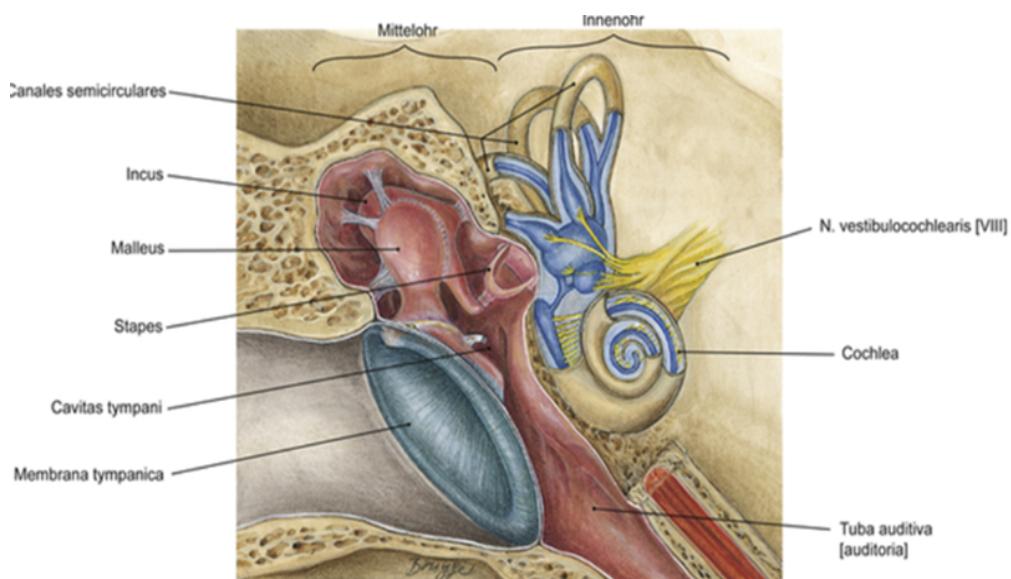
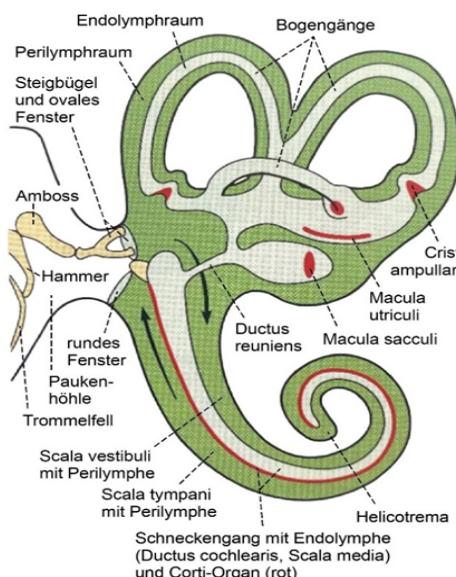


Abb. 1.1: Rechtes Ohr (Koitschev et al., 2014, Seite 2)

Zum Vestibularorgan gehören die drei Bogengänge und die beiden Maculaorgane Sacculus und Utriculus. Beide Organe stehen über den Ductus reuniens miteinander in Verbindung und setzen sich aus einem knöchernen und einem membranösen Labyrinth zusammen.

Das knöcherne Labyrinth, bestehend aus der Cochlea und dem inneren Gehörgang, umschließt kapselförmig das häutige, membranöse Labyrinth und ist über das runde und das ovale Fenster mit der Paukenhöhle (Cavitas tympani) verbunden. Die Cochlea lässt sich in drei flüssigkeitsgefüllte Hohlräume unterteilen: in die Scala tympani, die Scala media und die Scala vestibuli (siehe Abb.1.2).



**Abb. 1.2: Innenohr, schematische Darstellung (Welsch et al., 2022, Seite 570)**

Die Scala vestibuli und die Scala tympani stehen am Apex cochlearis (Helikotrema) miteinander in Verbindung. Im spiralförmigen Verlauf der Cochlea trennt die Reissner Membran die Scala media von der Scala vestibuli. Die schwingungsfähige Basilmembran trennt die Scala media von der Scala tympani. Über einen knöchernen Kanal (Modiolus) erfolgt die Versorgung der Cochlea mit Blutgefäßen und Nervenfasern (Förster, 2021).

Das häutige, membranöse Labyrinth des Hörorgans ist ein mit kaliumreicher Flüssigkeit (Endolymphe) gefülltes Kanalsystem und beinhaltet das eigentliche Höror-

gan, also das Corti-Organ mit den inneren und äußereren Haarzellen, die von Stützzellen und kaliumarmer sowie natriumreicher Perilymphe umgeben sind (Welsch et al. 2022, Schumacher und Ledderose 2010).

Das periphere Gleichgewichtsorgan lässt sich funktionell in einen Bogengangs- und einen Otolithenapparat unterteilen.

Der Bogengangsapparat besteht aus drei kreisförmig und senkrecht zueinanderstehenden Bogengängen (Ductus semicirculares), die mit dem Vorhof (Vestibulum) zum knöchernen Labyrinth gehören und für die Erkennung von Drehbeschleunigung verantwortlich sind (Schünke et al., 2022).

Die hinteren Bogengänge verlaufen entlang der Pyramidenachse und stehen jeweils senkrecht zu den oberen Bogengängen. Die lateralen (horizontalen) Bogengänge sind bei aufrechter Kopfhaltung ventral um 30 Grad nach kranial gekippt (Probst et al., 2008). Die Bogengänge sind über einen Schenkel zur Ampulle erweitert und enden im Utriculus. In den Ampullen jedes Bogenganges befinden sich die Sinneszellen mit den Stereozilien, die von der Cupula, einer gallertigen Masse, bedeckt sind (Welsch et al., 2022).

Der Otolithenapparat setzt sich aus den Maculaorganen Sacculus und Utriculus zusammen, die für die Erkennung von Linearbeschleunigungen (Vertikal- bzw. Horizontalbeschleunigungen) zuständig sind. Die Verbindung zwischen den beiden Maculaorganen erfolgt über den Ductus utriculosaccularis (Schünke et al., 2022).

Vom Ductus utriculosaccularis entspringt der Ductus endolymphaticus, der im Aqueductus vestibuli posterior verläuft und blind im Sacculus endolymphaticus endet. Die Sinneszellen in der Macula sacci und Macula utriculi sind wie die Sinneszellen in den Bogengängen in eine gelatinöse Masse eingebettet, auf der kleine Kristalle aus Kalziumcarbonat (Otolithen) liegen (Probst et al., 2008).

Der achte Hirnnerv (N. vestibulocochlearis) lässt sich in einen vestibulären und einen cochleären Anteil unterteilen und durchzieht den inneren Gehörgang bis zu den Vestibulariskernen im Hirnstamm.

### 1.1.2 Physiologie des Gleichgewichtssystems

Das periphere Gleichgewichtssystem lässt sich in die für die Erkennung von Vertikal- und Horizontalbeschleunigung verantwortlichen Maculaorgane und in die zur Registrierung von Drehbewegungen zuständigen Bogengänge unterteilen (Koitschew et al., 2014). Die Funktion des Gleichgewichtsorgans besteht darin, Informationen über die räumliche Lage und die Bewegung des Körpers zu erfassen und die Balance über das körperliche Gleichgewicht aufrechtzuerhalten. Das Zusammenspiel des Gleichgewichtsorgans und anderen Sinnesorganen wie dem visuellen und dem propriozeptiven System ist dabei für die räumliche Orientierung von entscheidender Bedeutung. Der aufrechte Stand und Gang wird über die Steuerung sämtlicher für Statik und Motorik zuständiger Muskelgruppen ermöglicht (Behrbohm et al., 2012).

Die Bogengangssysteme sind in beiden Ohren spiegelbildlich zueinander angeordnet und münden jeweils mit einer verdickten Ampulle im Utriculus. An dieser Stelle befindet sich das Sinneszellsystem der einzelnen Bogengänge, welches sich aus der Crista ampullaris und der Cupula zusammensetzt. Die gelatinöse Cupula und die Endolymphe verfügen über die gleiche Dichte, da die gelatinöse Cupula keine Otholithen enthält (Hick und Hick, 2009). Nach Reizung des rechten Bogenganges kommt es unmittelbar zu einer Hemmung des linken Bogenganges, im Sinne einer Reizverstärkung. Bei einer Winkelbeschleunigung werden aufgrund der Dichte der Endolymphe die Cupula und die Zilien der Sinneszellen ausgelenkt, was zu einer Ausbuchtung der Cupula führt. Infolge der Auslenkung werden die Haarzellen entweder stimuliert oder inhibiert (Franzen und Coordes, 2022).

Für die Art der fortgeleiteten Informationen ist dabei die Richtung, in der die Endolymphe strömt, entscheidend. Aus einer utriculopetalen Ablenkung der Haarzellen ergibt sich eine Polarisation der Zellen in Richtung des Utriculus. Folglich kommt es zu einer Steigerung der Ruheaktivität. Bei einer utriculofugalen Ablenkung der Haarzellen kommt es zur Polarisation der Zellen in entgegengesetzter Richtung des Utriculus und es resultiert eine Inhibierung. Neben Winkelbeschleunigungen können auch thermische oder mechanische Reize ursächlich für die Auslösung von Endolymphströmungen im Bogengang sein (Behrbohm et al., 2012).

Der Otolithenapparat registriert die räumliche Stellung des Körpers, indem Sacculus und Utriculus Veränderungen der Linearbeschleunigungen über die sich im Epithel befindlichen Stützzellen und Mechanorezeptoren wahrnehmen. Während sich die Macula sacci in senkrechter Ebene in der Innenwand des Sacculus befindet und auf vertikale Beschleunigungen anspricht, steht die Macula utriculi waagerecht am Boden des Utriculus und erfasst horizontale Beschleunigungen. Die Otolithenkristalle besitzen eine höhere Dichte als die Endolymphe. Bei einer Linearbeschleunigung werden die Otolithenkristalle gegenüber der Sinneszellschicht verschoben. Die sich hieraus ergebenden Potenzialänderungen werden zunächst über die afferenten Fortsätze der bipolaren Nervenzellen des Ganglion vestibulare und anschließend über den N. vestibulocochlearis zu den entsprechenden Vestibulariskernen im Hirnstamm weitergeleitet. Kopfdrehungen hingegen führen aufgrund des anatomisch beidseitig symmetrisch angelegten Gleichgewichtsorgans zu gegensätzlichen Erregungen entsprechender Sinnesfelder (Kirsch et al., 2017).

An der Verschaltung des Gleichgewichtsorgans mit den Augenmuskelkernen und dem Hirnstamm sind sowohl der vestibulookuläre Reflex als auch der vestibulospinale Reflex beteiligt.

Der vestibulookuläre Reflex (VOR) führt bei einer Kopfbewegung und der gleichzeitig kompensatorischen Blickbewegung zur visuellen Erkennung eines Objektes (Franzen und Coordes, 2022). Bei Drehung des Kopfes erfolgt die Verschaltung über das Ganglion vestibulare, die Vestibulariskerne und die motorischen Augenmuskelkerne. An der Reizauslösung des VOR sind überwiegend die Bogengänge beteiligt (Probst et al., 2008).

Der vestibulospinale Reflex (VSR) ist für die Aufrechterhaltung der Körperhaltung, die Kontrolle der Spinalmotorik und die Vermittlung von Informationen über Glieder- bzw. Muskelspannung verantwortlich. Die Verschaltung erfolgt über den Nervus vestibulocochlearis, die Vestibulariskerne, den Tractus vestibulospinalis und das im Rückenmark lokalisierte Vorderhorn. Unter den vier Vestibulariskernen kommt dem Nucleus vestibularis lateralis (Deiters) die größte Bedeutung zu. Die Informationen aus dem Vestibularorgan sind mit den visuellen und propriozeptiven Informationen verschaltet und werden für die Steuerung der Spinalmotorik ständig neu verrechnet.

## 1.2 Das Cochlea-Implantat

### 1.2.1 Historische Aspekte

Das therapeutische Spektrum von Schallempfindungsschwerhörigkeiten wurde in den letzten 30 Jahren aufgrund sich ständig weiterentwickelnder Forschungen essenziell revolutioniert. Die wesentlichen Phasen der historischen Entwicklung des Cochlea-Implantates werden nun im Folgenden skizziert:

Alessandro Volta wird oftmals als Pionier des Cochlear-Implantats betrachtet. Vor knapp 200 Jahren versuchte Alessandro Volta das eigene Gehör elektrisch mit zwei Drähten, die mit einer Batterie verbunden waren, zu stimulieren (Lehnhardt, 1987).

Im Jahr 1957 stimulierten Charles Eyriès und André Djourno in Paris erstmals einen freigelegten Hörnerv und ermöglichten dem ersten Patienten auditorische Signale wahrzunehmen. Ein Sprachverständigen war technisch jedoch noch nicht umsetzbar (Eisen, 2006).

Erst im Jahr 1960 gelang es Zöllner und Keidel zwei Patienten je eine Elektrode in die Cochlea zu implantieren. Sie kamen zu der Erkenntnis, dass für ein Sprachverständigen 20 bis 100 Elektroden erforderlich sind, hielten die praktische Umsetzung der Idee aber für unmöglich. William House und die Brüder John und James Doyle führten in Los Angeles ein operativ vergleichbares Verfahren durch, indem sie einen Draht mit fünf Elektroden in die Scala tympani der Cochlea implantierten.

1964 verfolgte F. Blair Simmons an der Universität in Stanford einen ähnlichen Ansatz mit 2-5 Elektroden, sah aber in diesem Implantationsansatz aber nur eine geringe Chance für die Verbesserung der Kommunikationsfähigkeit.

Während das Cochlea-Implantat Anfang der 70er Jahre lediglich als einkanaliges Gerät eingesetzt wurde, entwickelte der Australier Graeme Clark diese Version zu einem vierkanaligen, intracochleären Gerät grundlegend weiter (Lehnhardt, 1987).

Die erste erfolgreiche Implantation eines Cochlea-Implantats mittels „soft surgery technique“ wurde 1984 in Hannover von Prof. Lehnhardt durchgeführt (Battmer, 2009).

In den 90er Jahren führten technische und operative Weiterentwicklungen dazu, dass sich die Cochlea-Implantation als chirurgische Standardtechnik bei ertaubten Erwachsenen etablierte (Ernst und Todt, 2009).

Bisher wurden in Deutschland mehr als 60.000 Menschen mit einem ein- oder beidseitigen Cochlea-Implantat versorgt (Lenarz, 2022), weltweit waren es 2017 bereits ca. 500.000 Menschen (Lenarz, 2017).

### 1.2.2 Aufbau und Funktionsweise

Das Cochlea-Implantat (CI) ist eine elektronische Hörprothese, die bei einer hochgradigen Innenohrschwerhörigkeit oder Gehörlosigkeit die Funktion des geschädigten Innenohrs übernimmt und das ausgefallene Sinnesorgan ersetzen kann. Anstelle der nicht mehr funktionstüchtigen Haarzellen des Innenohres wird nun mithilfe der elektrischen Impulse des CIs ein Höreindruck erzeugt.

Das CI setzt sich aus zwei Bauteilen, einem externen und einem internen, zusammen. Das externe Bauteil, das hinter dem Ohr getragen wird, besteht aus einem Mikrofon und einem Sprachprozessor, der aus einem Signalprozessor, einer Batterie und einer Sendespule mit Magnet besteht.

Das Mikrofon ist für die Aufnahme und Verstärkung der akustischen Signale zuständig, der Signalprozessor für die Kodierung der zu übertragenden auditorischen Informationen in eine Abfolge von elektrischen Impulsen. Über die Sendespule erfolgt die Übertragung der Daten zum internen Bauteil, dem eigentlichen Implantat. Mithilfe der Batterie des Sprachprozessors wird dabei die für das Implantat benötigte Energie transkutan übertragen. Die im Felsenbein direkt unter der Haut implantierte elektronische Empfangsspule nimmt die elektrischen Impulse des Signalprozessors auf und leitet diese dekodiert an den in der Cochlea befindlichen Elektrodraträger weiter. Jede Elektrode erzeugt 200-10.000 Impulse pro Sekunde, die wiederum die noch funktionsfähigen Hörnervenzellen stimulieren (siehe Abb. 1.3).

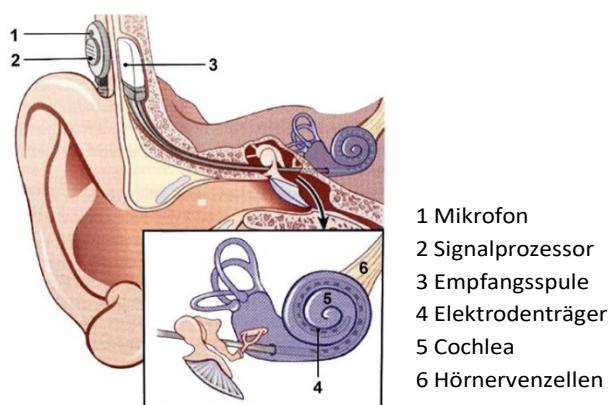


Abb. 1.3: Das Cochlea-Implantat (Behrbohm et al., 2012, Seite 62)

Nach Stimulation des Hörnervs durch den Elektrodenträger erfolgt die Dekodierung der fortgeleiteten Nervenerregung im Gehirn. Auf diese Weise kann das ursprüngliche Signal identifiziert werden (Gürkov, 2022). Die Elektroden sind in unterschiedlichen Bereichen der Scala tympani lokalisiert. Durch selektive Reizung der einzelnen Elektroden erfolgt die physiologische Ortskodierung verschiedener Frequenzen (Lenarz und Boenninghaus, 2012). Um nach einer Operation Geräusche und Töne wahrzunehmen, die dem natürlichen Gehör möglichst ähnlich sind, bedarf es nach der Erstanpassung weiterer Sprach- und Hörtests sowie individueller Feineinstellungen, welche im Rahmen der Nachsorgeuntersuchungen erfolgen.

### 1.2.3 Indikationen

Neben einer ausführlichen präoperativen Diagnostik muss die Entscheidung für eine Cochlea-Implantation auch unter individueller Berücksichtigung der interdisziplinären Untersuchungsbefunde erfolgen. Grundvoraussetzung für die Indikation einer CI-Versorgung sind ein funktionsfähiger Hörnerv und intakte zentrale Hörbahnen, um durch eine CI-Versorgung einen Höreindruck zu ermöglichen (Lenarz und Boenninghaus, 2012). Eine weitere Voraussetzung für eine unkomplizierte Cochlear-Implantation ist eine anatomisch korrekt angelegte Cochlea, um den Elektrodenträger in die Cochlea einführen zu können (Lenarz, 2017). Zudem sollte der Patient motiviert und lernfähig für eine postoperative Hörrehabilitation sein.

Dabei gibt es bei Erwachsenen, die die oben genannten Voraussetzungen für eine CI-Implantation erfüllen, keine Altersgrenzen mehr (Eshraghi et al., 2009). Die CI-Implantation kann sowohl einseitig als auch beidseitig erfolgen. Da das Richtungshören und das Sprachverständigen unter dem Einfluss eines Störgeräusches bei einer beidseitigen CI-Implantation bessere Ergebnisse zeigen, wird in der Regel die bilaterale Implantation bevorzugt (Müller, 2017).

Hauptindikationen für die Implantation eines CIs bei Erwachsenen mit intakten Hörnerven und Hörbahnen sind:

- eine erworbene einseitige oder beidseitige Taubheit,
- eine hochgradige Schwerhörigkeit, die trotz optimal eingestellten Hörgerätes kein ausreichendes Sprachverständigen mehr ermöglicht,
- ein stark eingeschränktes Sprachhörverständigen mit einem Einsilberverständigen von maximal 60 % bei 65 dB lautem Stimulus (Gürkov, 2022),

- eine einseitige Hörstörung mit und ohne Tinnitus und erheblicher Einschränkung der Lebensqualität (Köpke, 2019).

Ergänzend wird in zahlreichen Literaturangaben darauf hingewiesen, dass insbesondere Patienten mit einem geringen Restgehör von einer CI-Versorgung profitieren und die Indikation zeitnah gestellt werden sollte (Müller, 2005).

#### 1.2.4 Präoperative Diagnostik

Zahlreiche standardisierte Voruntersuchungen sind notwendig, um zu entscheiden, welche Patientinnen und Patienten sich für eine Versorgung mit einem CI eignen. Die präoperative Diagnostik umfasst eine ausführliche Anamnese und Prüfung des Hals-Nasen-Ohren-Status, Trommelfellmikroskopie, objektive Hörprüfungen, eine Vestibularisprüfung, subjektive Tests sowie eine neuroradiologische Diagnostik (Biller, 2007).

Zu den subjektiven Tests gehören ein Hör- und ein Sprachtest. Für den Hörtest wird die Tonschwellenaudiometrie verwendet, die hierbei die Hörschwelle für die Luft- und Knochenleitung misst. Der Sprachtest erfolgt sowohl mit als auch ohne Hörgerät (AWMF, 2020).

Bei Erwachsenen erfolgt zusätzlich ein Promontorialtest, mit dem die Funktionsfähigkeit eines intakten Hörnervs überprüft wird (Ernst et al., 2009).

Bei der Sprachaudiometrie werden nach den AWMF-Leitlinien zur Cochlea-Implantat-Versorgung folgende Bereiche überprüft:

- „o Einsilberverstehen ab 65 dB SPL bis zur Toleranzgrenze (mEV/dBopt),
  - o Hörverlust für Zahlwörter
  - o ggf. maximales Verstehen für Zahlwörter,
  - o ggf. Messungen bei den Pegeln 60 dB, 80 dB, 100 dB SPL.“ (AWMF, 2020, S.16).

Des Weiteren werden neben den subjektiven Tests auch objektive Hörtests, die ohne Mitarbeit des Patienten auf otoakustischen Emissionen und der elektrischen Reaktions-Audiometrie basieren, zur Messung der Hirnstammpotenziale durchgeführt.

Die Vestibularisprüfung besteht aus der Labyrinthfunktionsprüfung, der kalorischen Prüfung und dem Video-Kopf-Impuls-Test (V-KIT). Ergänzend können noch weitere Tests zur Gleichgewichtsdiagnostik durchgeführt werden (AWMF, 2020).

Als weiterer Bestandteil der Voruntersuchungen spielt die neuroradiologische Diagnostik eine wichtige Rolle. Mithilfe der Computertomografie (CT) können die für

eine Cochlea-Implantation anatomisch relevanten Strukturen genauer beurteilt werden. Ein besonderer Fokus liegt hierbei auf dem knöchernen Aufbau der Cochlea, um mögliche Pathologien zu erfassen. Neben einer detaillierten Beurteilung der Zugangswege zur Cochlea werden auch der Verlauf des Meatus acusticus internus und das Felsenbein analysiert.

Die Kernspintomographie (MRT) ermöglicht eine dichteabhängige Schnittbild-diagnostik des Weichteilgewebes und anderer Strukturen. So können beispielsweise der Hörnerv, die mit Flüssigkeit gefüllten Hohlräume des Innenohres und auch der Kleinhirnbrückenwinkel genauer dargestellt werden.

Bei Bedarf sind weitere Untersuchungen für eine „pädagogische, logopädische und psychologische Beurteilung der Rehabilitationsfähigkeit einschließlich der psycho-sozialen Situation“ möglich (AWMF, 2020, S.11).

Zum Abschluss aller klinisch präoperativen Untersuchungen erfolgt ein Aufklärungsgespräch mit dem Patienten über die operativen Risiken, individuellen Erfolgssichten und über eine mögliche Anschlussheilbehandlung. Hierzu ist die schriftliche Einwilligung des Patienten vor jeder Operation unerlässlich.

### **1.2.5 Risiken nach Cochlea-Implantation**

Cochlea-Implantationen bei Erwachsenen stellen heutzutage nahezu risikoarme operative Eingriffe mit nicht häufig auftretenden Nebenwirkungen dar.

Direkte postoperative Risiken sind z.B. Infektionen, Wundheilungsstörungen, Tinnitus, Verlust von Restgehör, eine Gesichtsnervenlähmung und Geschmacksstörungen Schwindelsymptome und Gleichgewichtsstörungen sind weiterhin mögliche Risiken, die sich sowohl direkt nach der Operation als auch als Spätkomplikationen äußern können (Förster, 2021). Als weitere postoperative Komplikation traten bei einer Studie nach einer CI-Versorgung Kopfschmerzen auf (Gärtner et al., 2016).

Eine weitere Studie zeigte, dass sich das Risiko für das Auftreten von Kopfschmerzen bei Patienten nach einer Cochlea-Implantation nicht vergrößerte (Förster, 2021). Grundlage dieser Studie bildete ein Fragebogen, der von 234 Patienten nach einer Cochlea-Implantation ausgefüllt wurde.

Zudem können auch CI-Elektroden das vestibuläre System beeinflussen. Beispielsweise kann es zu einem endolymphatischen Hydrops oder einer resultierenden Labyrinthitis kommen. In einer Studie wurde dies mit einem Auftreten von Schwindel in 49 % nach erfolgten CI-Operationen bestätigt (Grimm et al., 2022).

Eine retrospektive Studie mit 145 Patienten stellte bei den Komplikationen nach einer Cochlea-Implantation signifikante Unterschiede der Symptomatik in Bezug auf das Alter der untersuchten Patienten fest. Es wurde nachgewiesen, dass Patienten mit einem Lebensalter von über 70 Jahren häufiger Fälle von Schwindel und Geschmacksstörungen aufwiesen als Patienten vor Vollendung des 70. Lebensjahres (Rohloff et al., 2017).

## 2. Zielsetzung und Fragestellungen

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich im Rahmen einer klinisch prospektiven Studie an der Klinik und Poliklinik für HNO des Klinikums der Universität München im Jahr 2017 mit der zentralen Frage, inwieweit die Hörrehabilitation bei CI-Trägern die Körperstabilität und damit auch die Gleichgewichtsfunktion beeinflussen kann.

Zur Beantwortung wurde in der vorliegenden Studie die Körperstabilität anhand eines mobilen Posturographie-Systems vor und nach der CI-OP untersucht. Dabei wurden die Oberkörperschwankungen und das Sturzrisiko sowohl im zeitlichen Verlauf nach der Operation als auch nach der Hörrehabilitation unter verschiedenen akustischen Reizen gemessen.

Hieraus ergaben sich die folgenden Fragestellungen:

- 1) Ändert sich das mittlere Sturzrisiko bei eingeschaltetem CI im Vergleich zum ausgeschaltetem CI?
- 2) Tritt im zeitlichen Verlauf („prä OP“, „post OP“, „6 Wochen post OP“ und „Aktuell“) eine Veränderung des mittleren Sturzrisikos auf?
- 3) Führen wiederholte Durchführungen der Übungen zu einem veränderten mittleren Sturzrisiko?
- 4) Beeinflussen akustische Reize („weißes Rauschen“, Musik und Sprache) während der Übungen das mittlere Sturzrisiko?
- 5) Unterscheidet sich das mittlere Sturzrisiko bei Frauen und Männern?
- 6) Hat das Alter der CI-Patienten einen Einfluss auf das mittlere Sturzrisiko?
- 7) Welchen Einfluss haben die sensorischen Komponenten auf das mittlere Sturzrisiko?
- 8) Beeinflussen akustische Reize die Oberkörperschwankungen?
- 9) Wirken sich wiederholte Durchführungen der Übungen auf die Richtung der Oberkörperschwankungen aus?

### 3. Material und Methoden

#### 3.1 Patientenkollektiv

Das Patientenkollektiv setzt sich aus 33 CI-Patienten zusammen, die sich zur freiwilligen Teilnahme an einer klinisch prospektiven Studie in der Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde des Klinikums der Universität München schriftlich bereit erklärt haben.

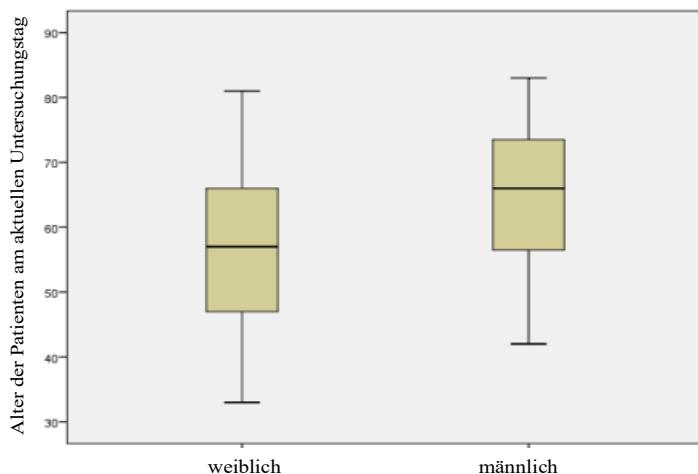
Das Protokoll der Studie wurde am 16.05.2014 von der lokalen Ethik-Kommission der Ludwig-Maximilians-Universität München genehmigt (Nr. 164-14).

Bei dieser wissenschaftlichen Arbeit handelt es sich um die dritte postoperative Nachuntersuchung 1-3 Jahre nach CI-OP, der Untersuchungszeitraum erstreckte sich hierbei vom 30.05.2017-22.11.2017. Die erste Untersuchung fand am Tag vor der CI-OP („prä OP“) statt, die erste postoperative Nachuntersuchung 3-5 Tage nach CI-OP („post OP“) und die zweite postoperative Nachuntersuchung 6 Wochen nach CI-OP („6 Wochen post OP“) statt.

An der dritten Nachuntersuchung („Aktuell“) konnten von den ursprünglich 40 CI-Patienten sieben CI-Patienten aus privaten Gründen und aufgrund gesundheitlicher Einschränkungen nicht weiter an dieser Untersuchung teilnehmen.

Das Patientenkollektiv der dritten postoperativen Nachuntersuchung bestand aus insgesamt siebzehn Frauen und sechzehn Männern. Zu diesem Zeitpunkt betrug das durchschnittliche Alter des Patientenkollektivs 60,21 Jahre ( $SD = 12,59$  Jahre), wobei das der Männer bei 64,31 Jahren ( $SD = 12,10$  Jahre) und das der Frauen bei 56,35 Jahren ( $SD = 12,14$  Jahre) lag.

Insgesamt handelt es sich bei dem Patientenkollektiv um eine auf das Alter bezogene heterogene Gruppe, da die jüngste weibliche CI-Patientin am betroffenen Untersuchungstag 33 Jahre und die älteste Patientin 81 Jahre alt war. Ähnlich verhielt es sich bei den männlichen CI-Patienten: Der jüngste Patient war am Untersuchungstag 42 Jahre alt und der älteste 83 Jahre. Die Abb. 3.1 zeigt die geschlechtspezifische Altersverteilung am Tag der dritten postoperativen Nachuntersuchung.



**Abb. 3.1:** geschlechtsspezifische Altersverteilung

### 3.2 Fragebogen

Im Rahmen der Voruntersuchung zur CI-Operation füllten die Patienten unmittelbar vor der Cochlea-Implantation einen an der Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde des Klinikums der Universität München entwickelten Fragebogen zu Schwindelsymptomen aus (Louza, 2010). Dabei gaben sie zunächst an, ob sie unter Schwindel- oder Gleichgewichtsstörungen leiden. Bei Vorhandensein von Schwindel wurden deren Symptome (Zeitbeginn, Qualität, Frequenz, Dauer, Auslöser, Vorboten, Begleitsymptome und subjektive Stärkeeinschätzung) genauer erfasst. Sowohl sechs Wochen danach als auch im Rahmen dieser Studie 1-3 Jahre nach erfolgter CI-Operation wurde dieser leicht modifizierte Fragebogen zu Schwindelsymptomen ein weiteres Mal ausgefüllt (*siehe Abb. A.I und Abb. A.II*).

Zusätzlich erhielten die CI-Patienten bei der dritten postoperativen Nachuntersuchung den standardisierten DHI-Fragebogen (Dizziness Handicap Inventory) zu Schwindelsymptomen, mit denen schwerpunktmäßig die subjektive Beeinträchtigung des Patienten erfasst wird. Dieser ursprünglich von Jacobson und Newman erstellte Fragebogen wird seit 2008 von der Arbeitsgruppe Neurootologie der Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde des Klinikums der Universität München in leicht modifizierter Form in deutscher Sprache verwendet (Jacobson und Newman, 1990).

Von den insgesamt 25 Fragen beziehen sich die Fragen 1-7 auf mögliche physische Auswirkungen, die Fragen 8-16 auf mögliche funktionelle Auswirkungen und die Fragen 17-25 auf mögliche emotionale Auswirkungen des Schwindels (*siehe Abb. A.III*).

### 3.3 Posturographie mit dem Vertiguard®-RT-System

Für die Gleichgewichtsmessung (Posturographie) wurde für alle bereits durchgeführten Untersuchungen „prä OP“, „post OP“, „6 Wochen post OP“ und für die aktuelle Nachuntersuchung 1-3 Jahre nach OP („Aktuell“) das Gerät Vertiguard®-RT der Firma Zeisberg GmbH (72555 Metzingen) benutzt. Das Vertiguard®-RT-SN-00091-System besteht aus dem tragbaren Vertiguard-Gerät, einem Notebook (Toshiba Satellite C855-27L, Modell P/N PSCBEW-0CR00WGR mit dem Betriebssystem Windows 8 64 - Bit und dem Intel i3-3120M@2.5GHz Prozessor) mit der installierten Vertiguard-Software sowie dem Trenntransformator REO-Med 300 (Werkschein Nr. P 3 655.01, Produkt ID 65B 5008A10 RQS, Nr. A-434 221). Das Vertiguard®-RT-System ermittelt die Oberkörperschwankungen (vorwärts, rückwärts und seitwärts) in Grad pro Sekunde während der Durchführung vorgegebener Übungen.

#### 3.3.1 Ablauf der Messung

Zur Aufzeichnung der Messergebnisse wurde vor der Durchführung der Übungen das Vertiguard®-RT-Gerät mithilfe eines Gürtels an der Hüfte des jeweiligen Patienten befestigt (siehe Abb. 3.2).



**Abb. 3.2: Vertiguard®-RT-Gerät (Basta und Ernst, 2011, Seite 2)**

Die Gleichgewichtsübungen erfolgten unter verschiedenen sensorischen Konditionen (mit geöffneten oder geschlossenen Augen sowie Stehen auf einer Schaumstoffmatte). Auf diese Weise wurden die sensorischen Komponenten des Gleichgewichts (visuelle, propriozeptive und vestibuläre Komponente) unterschiedlich beansprucht. Während der präzisen Durchführung der vorgegebenen Übungen zeichnete das Vertiguard®-RT-Gerät alle Oberkörperschwankungen in der Sagittal- und Horizontalebene am Körperschwerpunkt auf.

Insgesamt wurden mit dem Vertiguard®-RT-Gerät mit jedem Patienten unter Aufsicht und Anleitung sieben Messreihen mit jeweils 14 aufeinanderfolgenden Gleichgewichtsübungen durchgeführt, wobei jede Übung ca. 1 Minute dauerte und nach jeder Messreihe eine kurze Pause erfolgte.

Nach Abschluss einer Messreihe wurde vom Vertiguard®-RT-Gerät für jeden Patienten der individuelle Mittelwert berechnet, welcher dem individuellen Sturzrisiko in Prozent entspricht.

Zusätzlich wurden zu den ermittelten individuellen Sturzrisikowerten jeweils auch die Anteile der sensorischen Komponenten des Gleichgewichts (visuell, propriozeptiv und vestibulär) gemessen und anschließend der Mittelwert für jede der 7 Messreihen bei jedem einzelnen Patienten bestimmt.

Alle CI-Patienten des Kollektivs, die noch keine 60 Jahre alt waren, absolvierten die 14 Übungen des „Standard-Balance-Defizittests“ (SBDT), alle Patienten über 60 Jahre die 14 Übungen des „geriatrischen Standard-Balance-Defizittests“ (gSBDT). Im Untersuchungszeitraum vom 30.05.2017-22.11.2017 waren insgesamt 16 CI-Patienten über 60 Jahre alt, davon zehn Männer und sechs Frauen.

Zu dem SBDT gehören die folgenden Übungen:

- 1) Zweibeinstand mit geöffneten Augen
- 2) Zweibeinstand mit geschlossenen Augen
- 3) Einbeinstand mit geöffneten Augen
- 4) Einbeinstand mit geschlossenen Augen
- 5) Acht Tip-Top-Schritte mit offenen Augen
- 6) Zweibeinstand auf einer Schaumstoffmatte (Augen offen)
- 7) Zweibeinstand auf einer Schaumstoffmatte (Augen geschlossen)
- 8) Einbeinstand auf einer Schaumstoffmatte (Augen offen)
- 9) Acht Tip-Top-Schritte auf einer Schaumstoffmatte (Augen offen)
- 10) 3 Meter ruhiges Laufen mit offenen Augen
- 11) 3 Meter Laufen mit offenen Augen und Kopfkreisen
- 12) 3 Meter Laufen mit offenen Augen und Kopfnicken
- 13) 3 Meter ruhiges Laufen mit geschlossenen Augen
- 14) Laufen über vier Barrieren.

Der gSBDT für Patienten über 60 Jahre unterscheidet sich vom SBDT lediglich in zwei Übungen: in Übung Nr. 2 „Einbeinstand mit geschlossenen Augen“ und in der Übung Nr. 8 „Einbeinstand auf einer Schaumstoffmatte (Augen offen)“. Diese beiden Übungen wurden im gSBDT durch die Übung Nr. 13 „Hinsetzen“ und die Übung Nr. 14 „Aufstehen“ ersetzt.

Bei der praktischen Durchführung der Übungen war es wichtig, dass jeder Patient alle 14 vorgegebenen Übungen exakt nach Anleitung absolvierte. Konnte im Einzelfall eine Übung vom Patienten nicht durchgeführt werden, wurde diese im Testablauf übersprungen und bei der Auswertung nicht mitberücksichtigt.

### 3.3.2 Reihenfolge der Messreihen mit dem CI

Jeder Patient absolvierte mit dem Vertigard®-RT-Gerät sieben Messreihen mit jeweils 14 aufeinanderfolgenden Gleichgewichtsübungen. Um negative Einflussfaktoren (wie z.B. Gewöhnungsschwierigkeiten bei der erstmaligen Durchführung, Ermüdungseffekt) auf die Messergebnisse zu minimieren, wurden die 14 Übungen mit eingeschaltetem CI ohne akustische Reize für eine optimale Vergleichbarkeit der Messergebnisse jeweils dreimal durchgeführt: Die Messreihen mit eingeschaltetem CI ohne akustische Reize erfolgten zu Beginn (1. Messreihe), als Anfangskontrollmessung (3. Messreihe) und als Abschlusskontrollmessung (7. Messreihe). Im Anschluss an die Anfangskontrollmessung wurden die Messreihen mit akustischen Reizen durchgeführt (siehe Tabelle 4.1).

1. Messreihe	„CI Ein Anfangswert“	14 Übungen mit eingeschaltetem CI ohne akustische Reize
2. Messreihe	„CI Aus“	14 Übungen mit ausgeschaltetem CI
3. Messreihe	„CI Ein Anfangskontrollwert“	14 Übungen mit eingeschaltetem CI ohne akustische Reize
4. Messreihe	„weißes Rauschen“	14 Übungen mit eingeschaltetem CI mit „weißem Rauschen“
5. Messreihe	„Sprachtext“	14 Übungen mit eingeschaltetem CI mit Sprachtext
6. Messreihe	„Musik“	14 Übungen mit eingeschaltetem CI mit Musik
7. Messreihe	„CI Ein Abschlusskontrollwert“	14 Übungen mit eingeschaltetem CI ohne akustische Reize

Tabelle 4.1: Übersicht der Messabläufe

Zur Wiedergabe der akustischen Reize („weißes Rauschen“, Sprachtext und Musik) wurde als Schallquelle die Musikbox „SoundLink Mini II“ der Firma Bose (61381 Friedrichsdorf) verwendet. Diese war bei allen Patienten am selben Standort positioniert, um eine bestmögliche Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Standübungen fanden unmittelbar vor der Schallquelle statt, die Gehübung erfolgten auf die Schallquelle zu und von der Schallquelle weg. Die geschätzte Lautstärke entsprach ca. 65 Dezibel und war bei allen Tests identisch eingestellt. Die Tür des Untersuchungsraums war während der Tests geschlossen. Bei der Musikauswahl handelte es sich um klassische Musik, das Rauschen entsprach einem „weißen Rauschen“. Für den Sprachtext wurde das Hörbuch „Der kleine Prinz“ von Antoine de Saint-Exupéry ausgewählt. Alle Übungen wurden von den Teilnehmern ohne festes Schuhwerk durchgeführt.

### 3.3.3 Individuelles Sturzrisiko

Das Vertiguard®-RT-Gerät misst zunächst die Oberkörperschwankungen (°/s) jedes Patienten und berechnet daraus für jede der 7 Messreihen den individuellen prozentualen Sturzrisikowert. Die Berechnung des individuellen Sturzrisikowertes basiert auf der folgenden Formel:

$$\text{Sturzrisiko} = \frac{(\sum_i p(i) + \sum_i r(i)) \cdot 100}{n \cdot 400} \text{ mit}$$

p = Vorwärts-/Rückwärtsschwankung / Normwert in %

r = Seitwärtsschwankung / Normwert in % und

n = Anzahl der durchgeführten Übungen.

Die vom Vertiguard®-RT-Gerät zusätzlich gemessenen individuellen Anteile der sensorischen Komponenten des Gleichgewichts werden hierbei mit den alters- und geschlechtsspezifischen Normwerten gesunder Menschen verglichen.

Das Vertiguard®-RT-Gerät geht bei der Messung jeder einzelnen sensorischen Komponente von einem Referenzwert von 33,3 % bei gesunden Menschen aus. Bei einem geringeren Prozentwert als 33,3 %, kann davon ausgegangen werden, dass die jeweilige sensorische Komponente weniger stark für die Körperhaltung verwendet wird. Wird der Wert 33,3 % überschritten, so wird die sensorische Komponente für die Körperhaltung verstärkt eingesetzt.

### 3.4 Statistische Auswertung

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit dem Statistikprogramm IBM® SPSS® Version 24, 2016 für Windows, die graphischen Darstellungen zusätzlich mithilfe des Programms Microsoft Office Excel Version 16, 2016.

Auf Grundlage der vom Vertiguard®-RT-Gerät gemessenen individuellen Sturzrisikowerte jedes CI-Patienten wurden mithilfe des Statistikprogramms für jede Messreihe zunächst der mittlere Sturzrisikowert, das 95 % - Konfidenzintervall des Mittelwertes, der Median, die Varianz, die Standardabweichung, das Minimum, das Maximum sowie die Spannweite berechnet.

Anschließend wurden die mittleren Sturzrisikowerte zweier Messreihen miteinander verglichen. Die signifikanten Mittelwertunterschiede für gepaarte Stichproben wurden mit dem „t-Test für gepaarte Stichproben“ durch den direkten Vergleich zweier Variablen (z.B. „CI Ein“ vs. „Musik“) ermittelt.

Diese prospektive klinische Studie hatte keine a priori festgelegte primäre Zielgröße. Die statistische Auswertung erfolgte explorativ, eine Korrektur für multiples Testen fand nicht statt. Die in der Arbeit beschriebenen p-Werte sind illustrativ zu verstehen und können nicht verwendet werden, um eine Nullhypothese zu verwerten. Das Signifikanzniveau wurde bei allen Berechnungen mit  $p < 0,05$  festgelegt.

Die jeweiligen Paarvergleiche der mittleren Sturzrisikowerte fanden stets nur mit der Anzahl der CI-Patienten statt, bei denen vom Vertiguard®-RT-Gerät gültige Messergebnisse vorlagen. Nur in Einzelfällen konnte das Vertiguard®-RT-Gerät aufgrund zu starker Schwankungen einzelner Patienten in einer Messreihe kein Messergebnis ermitteln. Die Anzahl der Ausnahmefälle bei dem jeweiligen Vergleich zweier Messungen wurde in den zugehörigen Tabellen sowohl bei der Angabe der Gesamtzahl „Gesamt“ als auch unter „Fehlend“ erwähnt.

Für die graphische Darstellung der Ergebnisse im Text wurden Säulendiagramme und Boxplot-Graphiken verwendet.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Symptome und subjektive Beeinträchtigung

#### 4.1.1 Fragebogen zu Schwindelsymptomen

Im Rahmen der dritten postoperativen Nachuntersuchung 1-3 Jahre nach erfolgter CI-Versorgung gaben im Fragebogen zu Schwindelsymptomen nur noch 12 der insgesamt 33 CI-Patienten (36 %) an, dass sie noch unter Gleichgewichtsstörungen leiden. Bei 7 von 12 CI-Patienten (58,3 %) verringerte sich die subjektiv wahrgenommene Schwindelintensität. Zeitlich trat der Schwindel bei 5 von 12 CI-Patienten (41,7 %) unmittelbar nach erfolgter CI-OP, bei 3 von 12 CI-Patienten (25 %) erst im späteren Verlauf auf.

8 von 12 CI-Patienten (66,7 %) gaben für die Qualität des Schwindels „Schwankschwindel“ an. Als Auslöser für die subjektiv wahrgenommenen Schwindelbeschwerden bezeichneten 6 von 12 CI-Patienten (50 %) den Schwindel als Attackenschwindel mit unterschiedlicher Dauer.

6 von 12 CI-Patienten (50 %) konnten für den Schwindel keinen Auslöser nennen, nur 2 von 12 CI-Patienten (16,7 %) nannten als Auslöser „schnelle Drehungen“ bzw. „schnelle Bewegungen“. 9 von 12 CI-Patienten (75 %) konnten keine Vorboten wahrnehmen.

7 von 12 CI-Patienten (58,3 %) zeigten keine Begleitsymptome, jeweils 2 von 12 CI-Patienten (16,7 %) nannten „Ohrgeräusche“ und „Kopfschmerzen“. 5 von 12 CI-Patienten (41,7 %) verspürten „keine bzw. eine harmlose“ Beeinträchtigung durch den Schwindel.

#### 4.1.2 DHI-Fragebogen

Der DHI-Fragebogen mit insgesamt 25 Fragen wurde von allen 33 CI-Patienten (17 Frauen, 16 Männer) beantwortet, wobei sich die Fragen 1-7 auf mögliche physische Auswirkungen des Schwindels beziehen, die Fragen 8-16 auf mögliche funktionelle und die Fragen 17-25 auf mögliche emotionale Auswirkungen.

Bei der Erfassung der physischen Aspekte konnten max. 28 Punkte erzielt werden, bei den Fragen zu funktionellen und emotionalen Aspekten jeweils max. 36 Punkte.

Eine geringe erreichte Punktzahl weist auf eine hohe symptombezogene Lebensqualität trotz Schwindel hin, eine hohe erreichte Punktzahl auf eine geringe symptombezogene Lebensqualität.

Im Vergleich der drei Aspekte „physisch, funktionell und emotional“ wurde die höchste Punktzahl im physischen Bereich erreicht, sowohl beim Mittelwert, beim Maximalwert als auch bei der erzielten Gesamtpunktzahl bei jedem der drei Aspekte (siehe Tabelle 4.2).

Subskala	Minimum	Maximum	Punkt-Mittelwert	Gesamtpunktzahl in %	Gesamtpunktzahl
DHI- physisch (0-28 Punkte)	0	26	5,9	41,5	194
DHI- funktionell (0-36 Punkte)	0	20	4,5	31,6	148
DHI- emotional (0-36 Punkte)	0	18	3,8	26,9	126
					Total: 468

**Tabelle 4.2: Auswertung des DHI-Fragebogens (alle 33 CI-Patienten)**

Das Patientenkollektiv fühlte sich durch die Zunahme der Schwindelbeschwerden, die bei Kopf- bzw. Ganzkörperbewegungen auftraten, in ihrer Lebensqualität subjektiv am stärksten beeinträchtigt (*siehe Abb. A.III, Fragen 1-7*).

Zudem ergab die detaillierte Auswertung der Beantwortung der Fragen 1-7 zum physischen Aspekt, dass sich die Schwindelbeschwerden bei 9 von 33 Patienten (27,3 %) beim Laufen auf einer unebenen Oberfläche verstärken und bei 8 von 33 Patienten (24,2 %) bei schnellen Kopfbewegungen.

Dieselbe Rangordnung der Beeinträchtigung der Lebensqualität spiegelt sich auch in der nach Geschlechtern getrennten Einzelbetrachtung sowohl bei den weiblichen als auch den männlichen CI-Patienten wider (siehe Tabelle 4.3 und Tabelle 4.4).

Subskala	Minimum	Maximum	Punkt-Mittelwert	Gesamtpunktzahl in %	Gesamtpunktzahl
DHI- physisch (0-28 Punkte)	0	8	3,1	25,8	50
DHI- funktionell (0-36 Punkte)	0	8	2,8	29,7	44
DHI- emotional (0-36 Punkte)	0	14	2,5	31,7	40
					Total: 134

**Tabelle 4.3: Auswertung des DHI-Fragebogens (16 männliche CI-Patienten)**

Subskala	Minimum	Maximum	Punkt-Mittelwert	Gesamtpunktzahl in %	Gesamtpunktzahl
DHI- physisch (0-28 Punkte)	0	26	8,5	74,2	144
DHI- funktionell (0-36 Punkte)	0	16	6,1	70,3	104
DHI- emotional (0-36 Punkte)	0	18	5,1	68,3	86
					Total: 334

**Tabelle 4.4: Auswertung des DHI-Fragebogens (17 weibliche CI-Patienten)**

Bei dem Vergleich der nach Geschlechtern getrennten Tabellen fällt insbesondere auf, dass alle ermittelten Werte der weiblichen CI-Patienten (mit Ausnahme des Minimumwertes „0“) deutlich über denen der männlichen CI-Patienten liegen. So sind z.B. die Mittelwerte der Punktzahlen bei den Frauen in allen drei Bereichen im Vergleich zu den Männern mehr als doppelt so hoch.

Auch die Werte der „Gesamtpunktzahl je Aspekt in %“ unterscheiden sich deutlich: Bei den weiblichen CI-Patienten ist der Prozentwert im Vergleich zu den männlichen CI-Patienten im physischen Bereich um 48,5 % erhöht, im funktionellen Bereich um 41 % und im emotionalen Bereich um 36,5 %.

Der Vergleich der erzielten Gesamtpunktzahlen der weiblichen und männlichen CI-Patienten macht den Unterschied besonders sichtbar: Die weiblichen CI-Patienten erzielten bei der Auswertung des DHI-Fragebogens insgesamt 200 Punkte mehr als die männlichen Teilnehmer. Diese Ergebnisse deuten auf eine stärkere Beeinträchtigung der subjektiven Schwindelsymptomatik bei den weiblichen Patienten im Vergleich zu den männlichen Patienten hin.

## 4.2 Posturographie

### 4.2.1 Vergleich der Sturzrisikowerte bei aus- und eingeschaltetem CI

Im ersten Schritt der Analyse der Posturographie werden in dieser dritten Nachuntersuchung die ermittelten mittleren Sturzrisikowerte bei ausgeschaltetem CI mit den mittleren Sturzrisikowerten bei eingeschaltetem CI („CI Ein Anfangswert“, „CI Ein Anfangskontrollwert“ und „CI Ein Abschlusskontrollwert“) verglichen.

### Vergleich „CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangswert“

Bei dem Vergleich „CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangswert“ verringert sich das mittlere Sturzrisiko bei 45,5 % der untersuchten CI-Patienten (8w,7m) bei eingeschaltetem CI, bei 39,4 % (7w, 6m) vergrößert es sich und bei 15,2 % (2w, 3m) bleibt es gleich. Der Mittelwert aller „CI Aus“-Werte beträgt hierbei 45,485 (SD = 13,146), der Mittelwert aller „CI Ein Anfangswerte“ beträgt 44,636 (SD = 13,000) (*siehe Tabelle A.I, „Vergleich 1“*). Es liegt kein signifikanter Unterschied beim mittleren Sturzrisiko ( $t(32) = 1,127; p = 0,268$ ) vor (*siehe Tabelle A.IV, „Vergleich 1“*).

Eine Kontrollmessung mit eingeschaltetem CI ist hierbei notwendig, um zu analysieren, ob der erhöhte mittlere Sturzrisikowert von 39,4 % der untersuchten CI-Patienten im ersten Vergleich „CI Aus“ mit „CI Ein Anfangswert“ auf die erstmalige, evtl. noch recht unsichere Durchführung der 14 unbekannten Übungen zurückzuführen ist.

### Vergleich „CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“

Im Vergleich „CI Aus“ mit der Kontrollmessung „CI Ein Anfangskontrollwert“ wird sichtbar, dass sich nun das mittlere Sturzrisiko bei eingeschaltetem CI für „CI Ein Anfangskontrollwert“ bei 53,1 % der Patienten (10w,7m) verringert hat, bei 18,8 % der Patienten (0w, 6m) gleichgeblieben ist und sich bei 28,1 % der Patienten (6w, 3m) vergrößert hat (siehe Tabelle 4.5). Von einem CI-Patienten lag aufgrund zu starker Schwankungen bei der Durchführung der Übung „CI Ein Anfangskontrollwert“ kein Wert vor, deshalb erfolgte der Vergleich auf der Basis von 32 Patientendaten.

		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	„CI Aus“ > „CI Ein Anfangkontrollwert“	17	51,5	53,1
	„CI Aus“ = „CI Ein Anfangkontrollwert“	6	18,2	18,8
	„CI Aus“ < „CI Ein Anfangkontrollwert“	9	27,3	28,1
	Gesamt	32	97,0	100,0
Fehlend		1	3,0	
Gesamt		33	100,0	

**Tabelle 4.5: Vergleich „CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“**

Der Mittelwert aller „CI Aus“ Werte beträgt 45,750 (SD = 13,266) und der Mittelwert aller „CI Ein Anfangskontrollwerte“ 43,250 (SD = 10,182) (*siehe Tabelle A.I, „Vergleich 2“*).

Der t-Test zeigt, dass ein statistisch signifikanter Mittelwertunterschied beim Vergleich „CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“ vorliegt, mit  $t(31) = 2,378$  und  $p = 0,024$  (*siehe Tabelle A.IV, „Vergleich 2“*).

Die unterschiedlichen mittleren Sturzrisikowerte in den Vergleichen „CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangswert“ und „CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“ führen zu der Annahme, dass der größere mittlere Sturzrisikowert bei „CI Ein Anfangswert“ im Vergleich zu „CI Ein Anfangskontrollwert“ auf die erstmalige Ausführung der noch nicht vertrauten Übungen zurückzuführen ist.

#### Vergleich „CI Aus“ vs. „CI Ein Abschlusskontrollwert“

Das mittlere Sturzrisiko hat sich im Vergleich „CI Aus“ mit „CI Ein Abschlusskontrollwert“ bei eingeschaltetem CI bei 73,3 % der untersuchten Patienten (11w, 11m) verringert, bei 3,3 % der Patienten (0w, 1m) ist das mittlere Sturzrisiko gleichgeblieben, bei 23,3 % der untersuchten Patienten (1w, 6m) hat sich das mittlere Sturzrisiko bei „CI Ein Abschlusskontrollwert“ im Vergleich zu „CI Aus“ vergrößert (*siehe Tabelle 4.6*).

		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	„CI Aus“ > „CI Ein Abschlusskontrollwert“	22	66,7	73,3
	„CI Aus“ = „CI Ein Abschlusskontrollwert“	1	3,0	3,3
	„CI Aus“ < „CI Ein Abschlusskontrollwert“	7	21,2	23,3
	Gesamt	30	90,9	100,0
	Fehlend	3	9,1	
Gesamt		33	100,0	

**Tabelle 4.6: Vergleich „CI Aus“ vs. „CI Ein Abschlusskontrollwert“**

Der Mittelwert für alle „CI Aus“-Werte beträgt 45,167 (SD = 13,105), für alle „CI Ein Abschlusskontrollwerte“ 42,100 (SD = 9,557) (*siehe Tabelle A.I, „Vergleich 3“*). Somit ist auch der Mittelwert für das Sturzrisiko bei eingeschaltetem CI, basierend auf den „CI Ein Abschlusskontrollwerten“ geringer als bei „CI Aus“.

Es liegt ein statistisch signifikanter Unterschied im Vergleich „CI Aus“ vs. „CI Ein Abschlusskontrollwert“ mit  $t(29) = 2,277$  und  $p = 0,030$  vor (*siehe Tabelle A.IV, „Vergleich 3“*).

Beim Vergleich der mittleren Sturzrisikowerte „CI Aus“ vs. „CI Ein Abschlusskontrollwert“, kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass der ermittelte geringere mittlere Sturzrisikowert bei „CI Ein Abschlusskontrollwert“ durch den Übungseffekt beeinflusst wurde. Deshalb wird für die weiteren Vergleiche weder der „CI Ein Anfangswert“ noch der „CI Ein Abschlusskontrollwert“ verwendet, sondern der „CI Ein Anfangskontrollwert“.

#### **4.2.2 Vergleich der Sturzrisikowerte bei unterschiedlichen akustischen Reizen**

Im zweiten Schritt der Posturographie erfolgt der Vergleich der mittleren Sturzrisikowerte bei spezifischen Stimulationen („weißes Rauschen“, Sprachtext“ und „Musik“).

##### Vergleich „weißes Rauschen“ mit „Sprachtext“

In diesem Vergleich ist das mittlere Sturzrisiko bei 57,6 % der untersuchten Patienten (9w, 10m) bei „weißem Rauschen“ größer als bei „Sprachtext“, bei 27,3 % (6w, 3m) geringer als bei „Sprachtext“, und bei 15,2 % (3w, 2m) die Werte gleich groß sind (*siehe Tabelle 4.7*).

		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	„weißes Rauschen“ > „Sprachtext“	19	57,6	57,6
	„weißes Rauschen“ = „Sprachtext“	5	15,2	15,2
	„weißes Rauschen“ < „Sprachtext“	9	27,3	27,3
	Gesamt	33	100,0	100,0

**Tabelle 4.7: Vergleich „weißes Rauschen“ vs. „Sprachtext“**

Mit dem t-Test lassen sich keine signifikanten Mittelwertunterschiede feststellen, da  $t(32) = 1,804$  und  $p = 0,081$  (*siehe Tabelle A.IV, „Vergleich 4“*).

### Vergleich „weißes Rauschen“ vs. „Musik“

Beim Vergleich „weißes Rauschen“ vs. „Musik“ ist bei 51,5 % der untersuchten Patienten (6w, 11m) das mittlere Sturzrisiko bei „weißem Rauschen“ größer als bei „Musik“, bei 39,4 % (8w, 5m) kleiner als bei „Musik“ und bei 9,1 % (2w, 1m) sind beide Werte gleich groß (siehe Tabelle 4.8).

		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	"weißes Rauschen" > "Musik"	17	51,5	51,5
	"weißes Rauschen" = "Musik"	3	9,1	9,1
	"weißes Rauschen" < "Musik"	13	39,4	39,4
	Gesamt	33	100,0	100,0

**Tabelle 4.8: Vergleich „weißes Rauschen“ vs. „Musik“**

Mit dem t-Test lassen sich keine signifikanten Mittelwertunterschiede feststellen ( $t(32) = 1,699$  und  $p = 0,099$ ) (siehe Tabelle A.IV, „Vergleich 5“).

### Vergleich „Sprachtext“ vs. „Musik“

In diesem Vergleich ist das mittlere Sturzrisiko bei 48,5 % der untersuchten Patienten (8w, 8m) bei „Sprachtext“ größer als bei „Musik“, bei 42,4 % (9w, 5m) kleiner als bei „Musik“ und bei 9,1 % (1w, 2m) sind beide Werte gleich groß (siehe Tabelle 4.9).

		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	"Sprachtext" > "Musik"	16	48,5	48,5
	"Sprachtext" = "Musik"	3	9,1	9,1
	"Sprachtext" < "Musik"	14	42,4	42,4
	Gesamt	33	100,0	100,0

**Tabelle 4.9: Vergleich „Sprachtext“ vs. „Musik“**

Es liegt kein signifikanter Mittelwertunterschied vor, da  $t(32) = 0,637$  und  $p = 0,529$  (siehe Tabelle A.IV, „Vergleich 6“).

### 4.2.3 Vergleich der Sturzrisikowerte mit und ohne akustische Reize

Im dritten Schritt der Analyse der Posturographie findet der Vergleich der mittleren Sturzrisikowerte zwischen eingeschaltetem CI und jeweils einem akustischen Reiz („weißes Rauschen“, Sprachtext“ und „Musik“) statt.

#### Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „weißes Rauschen“

Bei Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „weißes Rauschen“ ist das mittlere Sturzrisiko bei 40,6 % der untersuchten Patienten (4w, 9m) bei „CI Ein Anfangskontrollwert“ größer als bei „weißem Rauschen“, bei 53,1 % (10w, 7m) kleiner als bei „weißem Rauschen“ und bei 6,3 % der untersuchten Patienten (2w, 0m) ist das mittlere Sturzrisiko gleichgeblieben (siehe Tabelle 4.10).

		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	"CI Ein Anfangskontrollwert" > "weißes Rauschen"	13	39,4	40,6
	"CI Ein Anfangskontrollwert" = "weißes Rauschen"	2	6,1	6,3
	"CI Ein Anfangskontrollwert" < "weißes Rauschen"	17	51,5	53,1
	Gesamt	32	97,0	100,0
Fehlend		1	3,0	
Gesamt		33	100,0	

**Tabelle 4.10: Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „weißes Rauschen“**

Es liegt jedoch kein statistisch signifikanter Mittelwertunterschied vor ( $t(31) = -0,852$ ;  $p = 0,401$ ) (siehe Tabelle A.IV, „Vergleich 7“).

#### Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Sprachtext“

Bei diesem Vergleich ist das mittlere Sturzrisiko im Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Sprachtext“ bei 56,3 % der untersuchten Patienten (6w, 12m) bei „CI Ein Anfangskontrollwert“ größer als bei „Sprachtext“, bei 34,4 % (6w, 5m) kleiner als bei „Sprachtext“ und bei 9,4 % der untersuchten Patienten (3w, 0m) sind beide mittleren Sturzrisikowerte gleich groß (siehe Tabelle 4.11).

		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	"CI Ein Anfangskontrollwert" > "Sprachtext"	18	54,5	56,3
	"CI Ein Anfangskontrollwert" = "Sprachtext"	3	9,1	9,4
	"CI Ein Anfangskontrollwert" < "Sprachtext"	11	33,3	34,4
	Gesamt	32	97,0	100,0
Fehlend		1	3,0	
Gesamt		33	100,0	

**Tabelle 4.11: Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Sprachtext“**

Auch dieser Mittelwertunterschied ist nicht signifikant, da  $t(31) = 1,060$  und  $p = 0,297$  (*siehe Tabelle A.IV, „Vergleich 8“*).

#### Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Musik“

In diesem Vergleich ist das mittlere Sturzrisiko bei 53,1 % der untersuchten Patienten (5w, 12m) bei „CI Ein Anfangskontrollwert“ größer als bei „Musik“, bei 34,4 % (8w, 3m) kleiner als bei „Musik“. Bei 12,5 % der untersuchten Patienten (3w, 1m) sind beide Werte gleich groß (siehe Tabelle 4.12).

		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	"CI Ein Anfangskontrollwert" > "Musik"	17	51,5	53,1
	"CI Ein Anfangskontrollwert" = "Musik"	4	12,1	12,5
	"CI Ein Anfangskontrollwert" < "Musik"	11	33,3	34,4
	Gesamt	32	97,0	100,0
Fehlend		1	3,0	
Gesamt		33	100,0	

**Tabelle 4.12: Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Musik“**

Dieser Mittelwertunterschied ist ebenfalls nicht signifikant, da  $t(31) = 1,415$  und  $p = 0,167$  (*siehe Tabelle A.IV, „Vergleich 9“*).

#### Geschlechtsspezifischer Vergleich des Sturzrisikos

Der nach Geschlechtern getrennte Vergleich des mittleren Sturzrisikos bei ausgeschaltetem CI im Vergleich zum eingeschaltetem CI mit und ohne akustische Reize zeigt, dass der mittlere Sturzrisikowert bei ausgeschaltetem CI sowohl bei den männlichen als auch weiblichen Patienten am höchsten ist, bei den weiblichen Patienten (47,1 %) im Vergleich zu den männlichen Patienten (43,5 %) sogar deutlich

höher ist. Beim geschlechtsspezifischen Vergleich der mittleren Sturzrisikowerte für „weißes Rauschen“, „Sprachtext“ und „Musik“ liegt sowohl bei den weiblichen Patienten als auch bei den männlichen Patienten bei „weißem Rauschen“ der höchste mittlere Sturzrisikowert und bei „Musik“ der niedrigste mittlere Sturzrisikowert (siehe Tabelle 4.13).

	Sturzrisiko der Patienten in %		
	gesamt	weiblich	männlich
„CI Aus“	45,2	47,1	43,5
„CI Ein Anfangskontrollwert“	42,6	38,1	41,8
„weißes Rauschen“	43,3	38,7	42,4
„Sprachtext“	41,8	37,9	40,5
„Musik“	41,1	37,8	39,4

**Tabelle 4.13: geschlechtsspezifischer Vergleich des Sturzrisikos**

#### Vergleich des Sturzrisikos bei „Über 60-jährigen“ vs. „Unter 60-jährigen“

Im Vergleich zu „CI Aus“ verringern sich bei eingeschaltetem CI sowohl ohne als auch mit akustischen Reizen die mittleren Sturzrisikowerte. Insgesamt sind die mittleren Sturzrisikowerte der „Über 60-jährigen“ stets höher als die der „Unter 60-jährigen“.

Beim Vergleich der unterschiedlichen akustischen Reize wurde in beiden Altersgruppen bei „Musik“ das kleinste mittlere Sturzrisiko, das zweitkleinste bei „Sprachtext“ und das größte Sturzrisiko bei „weißem Rauschen“ erzielt (siehe Tabelle 4.14).

	Sturzrisiko der Patienten in %		
	gesamt	über 60 Jahre	unter 60 Jahre
„CI Aus“	45,2	48,3	41,5
„CI Ein Anfangskontrollwert“	42,6	45,7	39,1
„weißes Rauschen“	43,3	45,2	41,1
„Sprachtext“	41,8	43,4	40,0
„Musik“	41,1	43,0	39,0

**Tabelle 4.14: Vergleich des Sturzrisikos der „Über 60-jährigen“ vs. „Unter 60-jährigen“**

#### **4.2.4 Vergleich der Sturzrisikowerte im zeitlichen Verlauf**

In diesem Kapitel werden die individuell gemessenen Sturzrisikowerte vor CI-OP („prä OP“), drei bis fünf Tage nach CI-OP („post OP“), sechs Wochen nach CI-OP („6 Wochen post OP“) und ein bis drei Jahre nach CI-OP („Aktuell“) miteinander

verglichen, wobei für das Sturzrisiko „Aktuell“ der CI Ein Anfangskontrollwert zu grunde gelegt wird.

Die Messungen der Sturzrisikowerte in den vorherigen Untersuchungen („prä OP“, „post OP“ und „6 Wochen post OP“) erfolgten in einer einzigen Messreihe, in welcher die Patienten die vorgegebenen 14 aufeinanderfolgenden Gleichgewichtsübungen unter denselben Bedingungen durchführten wie in der aktuellen dritten Nachuntersuchung („Aktuell“). Die Messungen der Sturzrisikowerte „prä OP“ wurden ohne Hörgerät durchgeführt, die Messungen „post OP“ und „6 Wochen post OP“ wurden ebenfalls ohne Hörgerät mit eingeschaltetem CI durchgeführt. Der Einfluss akustischer Reize auf das Sturzrisiko wurde in dieser dritten Nachuntersuchung erstmalig mit untersucht.

#### 4.2.4.1 Vergleich der Sturzrisikowerte „prä OP“ vs. „Aktuell“

Der Vergleich der mittleren Sturzrisikowerte „prä OP“ vs. „Aktuell“ ergab, dass bei 60,6 % der Patienten die Sturzrisikowerte vor der OP („prä OP“) größer als die Werte „Aktuell“ waren. Lediglich bei 39,4 % der Patienten waren die mittleren Sturzrisikowerte vor der OP („prä OP“) geringer als die Werte „Aktuell“ (siehe Tabelle 4.15).

		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	„prä OP“ > „Aktuell“	20	60,6	60,6
	„prä OP“ < „Aktuell“	13	39,4	39,4
	Gesamt	33	100,0	100,0

**Tabelle 4.15: Vergleich „prä OP“ vs. „Aktuell“**

Der Mittelwertunterschied zwischen dem Sturzrisiko „prä OP“ ( $M = 46,576$ ;  $SD = 15,279$ ) und „Aktuell“ ( $M = 42,939$ ;  $SD = 10,179$ ) führte zu keinem signifikanten Ergebnis ( $t(32) = 1,976$ ;  $p = 0,057$ ) (siehe Tabelle A.V, „Vergleich 10“ sowie Tabelle A.VI, „Vergleich 10“).

Die nach Geschlechtern getrennte Analyse zeigt beim Vergleich der mittleren Sturzrisikowerte der weiblichen als auch der männlichen Patienten, dass sich das mittlere Sturzrisiko im Vergleich „prä OP“ vs. „Aktuell“ sowohl bei den weiblichen als auch männlichen Patienten verringert hat.

Bei den weiblichen Patienten ist hierbei die Differenz der mittleren Sturzrisikowerte wesentlich größer (Reduzierung von 46,0 % auf 40,8 %) als bei den Männern (Reduzierung von 44,3 % auf 42,4 %), dies gilt auch für die Medianwerte. Eine mögliche Ursache hierfür ist, dass sich der Maximalwert 66,0 % bei den weiblichen Patienten bei der „prä OP“ - Messung in der Messung „Aktuell“ auf den Wert 49,0 % reduziert hat. Dadurch hat sich auch die Spannweite der Messwerte bei den weiblichen Patienten stärker verringert (von 36,0 % auf 19,0 %) als bei den männlichen Patienten von (48,0 % auf 40,0 %). Die mittleren Sturzrisikowerte der weiblichen Patienten liegen nun bei der Sturzrisikomessung „Aktuell“ dichter beisammen als bei der Messung „prä OP“ (siehe Tabelle 4.16).

Deskriptive Statistikwerte	Sturzrisiko „prä OP“		Sturzrisiko „Aktuell“	
	weiblich	männlich	weiblich	männlich
Mittelwert	46,00	44,33	40,75	42,42
95 % - Konfidenzintervall Untergrenze	35,44	33,46	34,53	34,58
95 % - Konfidenzintervall Obergrenze	56,57	55,21	46,97	50,26
5 % - getrimmtes Mittel	45,78	44,37	40,89	41,91
Median	45,50	40,50	40,00	39,00
Varianz	159,71	293,15	55,36	152,27
Standardabweichung	12,64	17,12	7,44	12,34
Minimum	30,00	20,00	30,00	27,00
Maximum	66,00	68,00	49,00	67,00
Spannweite	36,00	48,00	19,00	40,00

**Tabelle 4.16: Deskriptive Statistikwerte - getrennt nach Geschlechtern**

Sowohl bei den weiblichen als auch männlichen Patienten weist das mittlere Sturzrisiko im Vergleich „prä OP“ vs. „Aktuell“ keinen statistisch signifikanten Mittelwertunterschied auf. Der t-Test ergab für die weiblichen Patienten:  $t_{\text{weiblich}}(16) = 1,709$  und  $p = 0,107$  und für die männlichen Patienten:  $t_{\text{männlich}}(15) = 1,009$ ;  $p = 0,329$  (siehe Tabelle A.VII, „Vergleich W1 und M1“).

#### 4.2.4.2 Vergleich der Sturzrisikowerte „post OP“ vs. „Aktuell“

Bei dem Vergleich der mittleren Sturzrisikowerte „post OP“ vs. „Aktuell“ war bei 67,7 % der Patienten das Sturzrisiko bei „post OP“ geringer als bei „Aktuell“ und bei 25,8 % der Patienten größer. Bei 6,5 % der Patienten sind beide mittleren Sturzrisikowerte gleichgeblieben (siehe Tabelle 4.17).

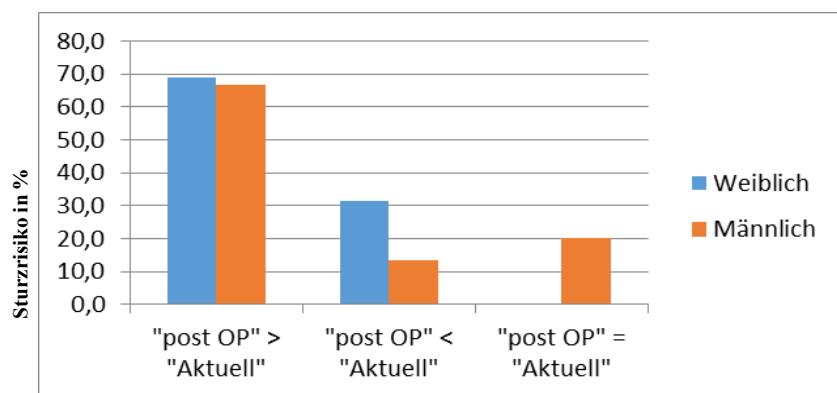
		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	"post OP" > "Aktuell"	21	63,6	67,7
	"post OP" = "Aktuell"	2	6,1	6,5
	"post OP" < "Aktuell"	8	24,2	25,8
	Gesamt	31	93,9	100,0
Fehlend		2	6,1	
Gesamt		33	100,0	

**Tabelle 4.17: Vergleich „post OP“ vs. „Aktuell“**

Es liegt ein statistisch signifikanter Unterschied der Mittelwerte zwischen dem Sturzrisiko „post OP“ ( $M = 48,548$ ;  $SD = 14,459$ ) und dem Sturzrisiko „Aktuell“ ( $M = 42,419$ ;  $SD = 9,309$ ) vor mit  $t(31) = 3,192$  und  $p = 0,003$  (siehe Tabelle A.V, „Vergleich 11“ sowie Tabelle A.VI, „Vergleich 11“).

Bei dem nach Geschlechtern getrennten Vergleich ist das mittlere Sturzrisiko bei 68,8 % der weiblichen Patienten bei „post OP“ größer als bei „Aktuell“ und bei 31,3 % der weiblichen Patienten ist es bei „post OP“ kleiner als bei „Aktuell“.

Bei 66,7 % der männlichen Patienten ist das mittlere Sturzrisiko bei „post OP“ größer als bei „Aktuell“, bei 13,3 % männlichen Patienten ist es bei „post OP“ kleiner als bei „Aktuell“ und bei 20,0 % der männlichen Patienten sind beide mittleren Sturzrisikowerte gleich groß (siehe Abb. 4.1).

**Abb. 4.1: geschlechtsspezifischer Vergleich „post OP“ vs. „Aktuell“**

Der nach Geschlechtern getrennte Vergleich der mittleren Sturzrisikowerte „post OP“ vs. „Aktuell“ führte sowohl bei den weiblichen als auch männlichen Patienten zu einem statistisch signifikanten Mittelwertunterschied. Der t-Test zeigt die folgenden Ergebnisse:  $t_{\text{weiblich}}(15) = 2,217$  und  $p = 0,043$  sowie  $t_{\text{männlich}}(14) = 2,295$  mit  $p = 0,038$  (siehe Tabelle A.VII, „Vergleiche W2 und M2“).

#### 4.2.4.3 Vergleich der Sturzrisikowerte „6 Wochen post OP“ vs. „Aktuell“

Bei 55,0 % der Patienten ist das mittlere Sturzrisiko „6 Wochen post OP“ im Vergleich zu „Aktuell“ größer, bei 40,0 % der Patienten kleiner und bei 5,0 % der Patienten sind die mittleren Sturzrisikowerte gleichgeblieben (siehe Tabelle 4.18).

		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	„6 Wochen post OP“ > „Aktuell“	11	33,3	55,0
	„6 Wochen post OP“ = „Aktuell“	1	3,0	5,0
	„6 Wochen post OP“ < „Aktuell“	8	24,2	40,0
	Gesamt	20	60,6	100,0
Fehlend		13	39,4	
Gesamt		33	100,0	

Tabelle 4.18: Vergleich „6 Wochen post OP“ vs. „Aktuell“

Der Mittelwertunterschied zwischen dem Sturzrisiko „6 Wochen post OP“ ( $M = 42,600$ ;  $SD = 11,949$ ) und dem Sturzrisiko „Aktuell“ ( $M = 41,750$ ;  $SD = 10,452$ ) ergab kein signifikantes Ergebnis ( $t(19) = 0,519$ ;  $p = 0,610$ ) (siehe Tabelle A.V, „Vergleich 12“ sowie Tabelle A.VI, „Vergleich 12“).

In der Verlaufsentwicklung des mittleren Sturzrisikos aller Patienten in den vier Phasen „prä OP“, „post OP“, „6 Wochen post OP“ und „Aktuell“ stieg der mittlere Sturzrisikowert zwar direkt nach der OP („post OP“) an, im weiteren Verlauf sank dieser aber bis zur Messung „Aktuell“ deutlich unter den „prä OP“- Wert: „prä OP“:  $M = 45,000$ , „post OP“:  $M = 46,650$ , „6 Wochen post OP“:  $M = 42,600$  und „Aktuell“:  $M = 41,750$  (siehe Abb. 4.2).

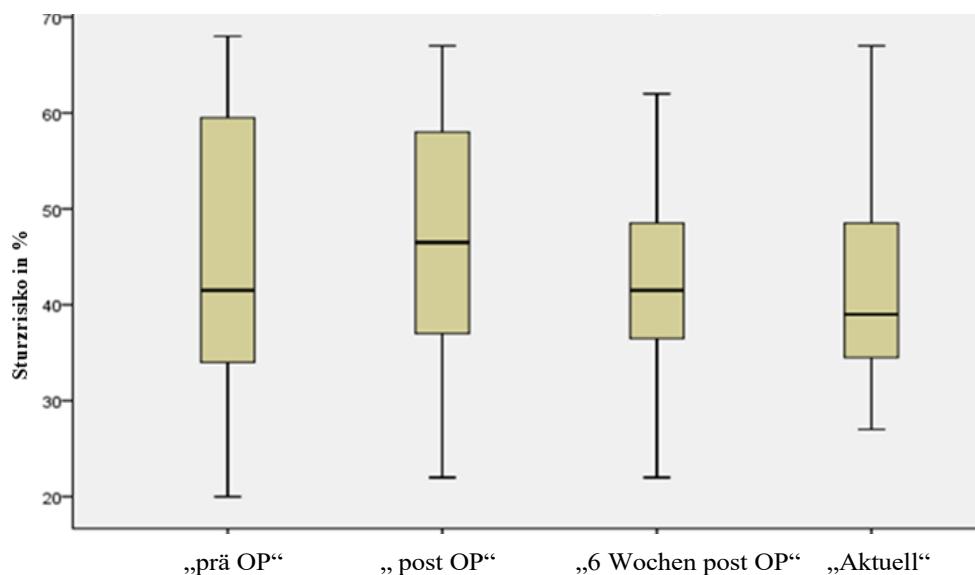


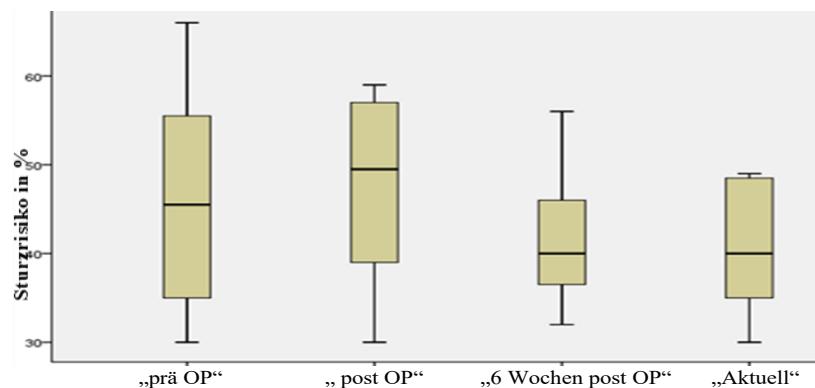
Abb. 4.2: Gesamtvergleich der Sturzrisikowerte

#### 4.2.4.4 Geschlechtsspezifischer Vergleich

Auch der geschlechtsspezifische Vergleich der mittleren Sturzrisikowerte führte zu derselben Verlaufsentwicklung: Sowohl bei den Frauen als auch bei den Männern wurde drei bis fünf Tage nach CI-OP („post OP“) im Vergleich zu „prä OP“ zunächst ein erhöhter Mittelwert für das Sturzrisiko erreicht. Bei den weiteren Messungen sank dieser sowohl bei den Frauen als auch Männern unter den Wert „post OP“ (siehe Abb. 4.3 und Abb. 4.4).

#### Verlaufsentwicklung der Sturzrisikowerte der Frauen

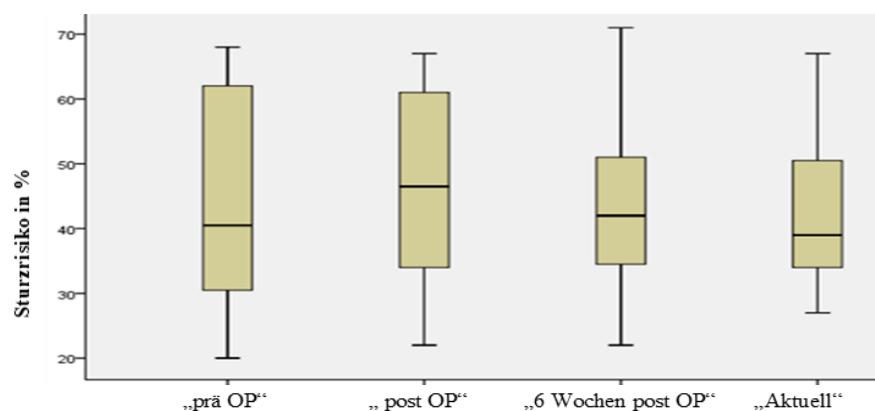
„prä OP“ ( $M = 46,000$ ), „post OP“ ( $M = 47,500$ ), „6 Wochen post OP“ ( $M = 41,625$ ), „Aktuell“ ( $M = 40,750$ ) (siehe Abb. 4.3).



**Abb. 4.3: Gesamtvergleich der Sturzrisikowerte der Frauen**

#### Verlaufsentwicklung der Sturzrisikowerte der Männer

„prä OP“ ( $M = 44,333$ ), „post OP“ ( $M = 46,083$ ), „6 Wochen post OP“ ( $M = 43,250$ ), „Aktuell“ ( $M = 42,417$ ) (siehe Abb. 4.4).



**Abb. 4.4: Gesamtvergleich der Sturzrisikowerte der Männer**

#### 4.2.4.5 Altersspezifischer Vergleich

In der Verlaufsentwicklung erhöhte sich drei bis fünf Tage nach CI-OP das mittlere Sturzrisiko im Vergleich zum mittleren Sturzrisiko vor CI-OP („prä OP“) sowohl bei den Patienten über 60 Jahren als auch bei den Patienten unter 60 Jahren. „6 Wochen post OP“ verringerten sich bei beiden Altersgruppen die mittleren Sturzrisikowerte: Bei den „Über 60-Jährigen“ um 3,6 % (von 51,8 % auf 48,2 %), bei den „Unter 60-Jährigen“ sogar um 5,3 % (von 41,1 % auf 35,8 %). Ein bis drei Jahre nach der OP trat lediglich eine weitere Reduzierung der mittleren Sturzrisikowerte um 1,2 % bei den Patienten über 60 Jahre ein (von 48,2 % auf 47,0 %) (siehe Tabelle 4.19).

	Sturzrisiko der Patienten in %		
	gesamt	über 60 Jahre	unter 60 Jahre
„prä OP“	46,6	51,8	41,1
„post OP“	48,6	53,7	43,1
„6 Wochen post OP“	42,6	48,2	35,8
„Aktuell“	42,9	47,0	38,6

Tabelle 4.19: Verlaufsentwicklung der „Über 60-jährigen“ und „Unter 60-jährigen“

#### 4.2.5 Einfluss der sensorischen Komponenten auf das Sturzrisiko

Bei der Durchführung der 14 Übungen wurden vom Vertiguard®-RT-System zusätzlich alle drei sensorischen Komponenten des Gleichgewichtssystems (visuell, propriozeptiv und vestibulär) einzeln gemessen.

##### 4.2.5.1 Vergleich der visuellen Komponente

###### Vergleich des Sturzrisikowertes der visuellen Komponente „CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“

Bei 54,5 % der Patienten war der mittlere Sturzrisikowert der visuellen Komponente bei ausgeschaltetem Cochlea-Implantat größer als bei „CI Ein Anfangskontrollwert“ und bei 45,5 % kleiner als bei „CI Ein Anfangskontrollwert“.

Der Vergleich der mittleren Sturzrisikowerte der visuellen Komponenten „CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“ führte zu keinem signifikanten Unterschied (*siehe Tabelle A.IX, „Vergleich 2“*).

Die Auswertung der übrigen Vergleiche der mittleren Sturzrisikowerte zur visuellen Komponente („CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangswert“, „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „CI Ein Abschlusskontrollwert“, „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „weißes Rauschen“, „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Sprachtext“, „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Musik“, „weißes Rauschen“ vs. „Sprachtext“ und „weißes Rauschen“ vs. „Musik“) führte zu nahezu identischen Ergebnissen ohne signifikanten Mittelwertunterschied. Deshalb wird im Folgenden nur noch auf den Vergleich der mittleren Sturzrisikowerte „Sprachtext visuell“ vs. „Musik visuell“ eingegangen.

#### Vergleich des Sturzrisikowertes der visuellen Komponente „Sprachtext visuell“ vs. „Musik visuell“

Bei dem Vergleich der mittleren Sturzrisikowerte „Sprachtext visuell“ vs. „Musik visuell“ zeigt sich eine deutlichere Aufteilung: So weisen 76,2 % der Patienten einen höheren Wert bei „Sprachtext visuell“ auf als bei „Musik visuell“ (siehe Tabelle 4.20).

		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	"Sprachtext visuell" < "Musik visuell"	5	15,2	23,8
	"Sprachtext visuell" > "Musik visuell"	16	48,5	76,2
	Gesamt	21	63,6	100,0
Fehlend		12	36,4	
Gesamt		33	100,0	

Tabelle 4.20: Vergleich „Sprachtext visuell“ vs. „Musik visuell“

Es liegt ein signifikanter Mittelwertunterschied zwischen „Sprachtext visuell“ ( $M = 22,762$ ;  $SD = 44,594$ ) und „Musik visuell“ ( $M = 7,667$ ;  $SD = 32,916$ ) vor mit  $t(20) = 2,517$ ;  $p = 0,02$  (siehe Tabelle A.VIII und Tabelle A.IX, „Vergleich 6“).

Der Vergleich der mittleren Sturzrisikowerte der visuellen Komponente der 7 Messreihen ergab, dass bei „Musik visuell“ ( $M = 4,150$ ;  $SD = 29,446$ ) der durchschnittliche Anteil der visuellen Komponente am geringsten war und bei „weißem Rauschen visuell“ ( $M = 24,200$ ;  $SD = 61,575$ ) am größten (siehe Tabelle A.X und Tabelle 4.21).

	Mittelwert M	Standardabweichung SD
„CI Ein Anfangswert visuell“	21,200	30,912
„CI Aus visuell“	14,300	32,487
„CI Ein Anfangskontrollwert visuell“	9,150	27,511
„weißes Rauschen visuell“	24,200	61,575
„Sprachtext visuell“	19,150	42,484
„Musik visuell“	4,150	29,446
„CI Ein Abschlusskontrollwert visuell“	17,050	40,645

**Tabelle 4.21: Vergleich der Mittelwerte der visuellen Komponente**

#### 4.2.5.2 Vergleich der propriozeptiven Komponente

Vergleich des Sturzrisikowertes der propriozeptiven Komponente „CI Aus propriozeptiv“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert propriozeptiv“

Bei diesem Vergleich war bei 70,4 % der untersuchten Patienten die propriozeptive Komponente bei „CI Aus propriozeptiv“ stärker ausgeprägt als beim eingeschalteten CI und bei 29,6 % geringer ausgeprägt (siehe Tabelle 4.22).

		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	"CI Aus propriozeptiv" < "CI Ein Anfangskontrollwert propriozeptiv"	8	24,2	29,6
	"CI Aus propriozeptiv" > "CI Ein Anfangskontrollwert propriozeptiv"	19	57,6	70,4
	Gesamt	27	81,8	100,0
Fehlend		6	18,2	
Gesamt		33	100,0	

**Tabelle 4.22: Vergleich „CI Aus propriozeptiv“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert propriozeptiv“**

Es liegt hierbei ein statistisch signifikanter Mittelwertunterschied zwischen „CI Aus propriozeptiv“ ( $M = 8,037$ ;  $SD = 28,099$ ) und „CI Ein Anfangskontrollwert propriozeptiv“ ( $M = -6,074$ ;  $SD = 21,759$ ) vor mit  $t(26) = 3,240$ ;  $p = 0,003$  (siehe Tabelle A.XI und Tabelle A.XII, „Vergleich 2“).

Vergleich des Sturzrisikowertes der propriozeptiven Komponente „CI Ein Anfangskontrollwert propriozeptiv“ vs. „CI Ein Abschlusskontrollwert propriozeptiv“

Bei dem Vergleich der mittleren Sturzrisikowerte „CI Ein Anfangskontrollwert propriozeptiv“ vs. „CI Ein Abschlusskontrollwert propriozeptiv“ weisen 61,5 % der

Patienten einen geringeren mittleren Sturzrisikowert bei „CI Ein Anfangskontrollwert auf als bei „CI Ein Abschlusskontrollwert“ und 38,5 % einen größeren Wert. Hierbei liegt aber kein statistisch signifikanter Mittelwertunterschied vor (*siehe Tabelle A.XII, „Vergleich 3“*). Die Auswertung aller weiteren Vergleiche führt ebenfalls zu keinem statistisch signifikanten Mittelwertunterschied (*siehe Tabelle A.XII, „Vergleich 1“ sowie „Vergleich 4-9“*).

Auch beim Vergleich der mittleren Sturzrisikowerte der propriozeptiven Komponente der sieben Messreihen wird wieder bei „Musik“ ( $M = -9,520$ ;  $SD = 16,122$ ) der geringste Wert der propriozeptiven Komponente erzielt, der höchste Wert der propriozeptiven Komponente bei „CI Ein Abschlusskontrollwert“ ( $M = 14,880$ ;  $SD = 74,158$ ).

#### **4.2.5.3 Vergleich der vestibulären Komponente**

Beim Vergleich der mittleren Sturzrisikowerte der vestibulären Komponente der sieben Messreihen lässt sich bei keinem einzigen Vergleich zweier Messreihen ein statistisch signifikanter Mittelwertunterschied feststellen (*Tabelle A.XV*).

Der höchste Mittelwert für die vestibuläre Komponente tritt bei „Sprachtext vestibular“ auf ( $M = 36,52$ ;  $SD = 88,06$ ), der geringste Mittelwert bei „CI Aus vestibular“ ( $M = 23,55$ ;  $SD = 33,92$ ) (*siehe Tabelle A.XVI*).

Der gemeinsame Vergleich der Komponenten (visuell, propriozeptiv und vestibular) in allen Messreihen ergab, dass die vestibuläre Komponente in jeder der sieben Messreihen am stärksten ausgeprägt war. So waren die Werte der vestibulären Komponente bei „CI Ein Anfangswert vestibular“ mit 54,0 %, „bei CI Aus vestibular“ mit 47,4 %, bei „CI Ein Anfangskontrollwert vestibular“ mit 66,7 %, bei „weißem Rauschen vestibular“ mit 45,5 %, bei „Sprachtext vestibular“ mit 47,6 %, bei „Musik vestibular“ mit 70,0 % und bei „CI Ein Abschlusskontrollwert vestibular“ mit 45,0 % am höchsten (*siehe Abb. A.IV*).

#### **4.2.6 Vergleich der Oberkörperschwankungen**

Alle Messungen und Auswertungen der Oberkörperschwankungen werden exemplarisch für Übung Nr. 7 im Zweibeinstand mit geschlossenen Augen auf einer Schaumstoffmatte durchgeführt. Für die Auswahl von Übung Nr. 7 war maßgeblich

entscheidend, dass es sich hierbei um eine statische Übung handelt. Hierdurch werden mögliche äußere Störfaktoren, die verstärkt bei den Laufübungen (Übung Nr. 5, 9, 11-14) auftreten können, weitestgehend reduziert. Zusätzlich wird hierbei das Gleichgewichtssystem durch die Schaumstoffmatte und die geschlossenen Augen stärker beansprucht als bei den Übungen Nr. 1-5 auf festem Untergrund.

Die Übungen Nr. 2 und Nr. 8 konnten nicht ausgewählt werden, da sie von über 60-jährigen Patienten im gSBDT durch eine andere Übung ersetzt wurden.

Den Untersuchungen liegt hierbei die folgende Fragestellung zugrunde: Haben sich die Oberkörperschwankungen unter dem Einfluss von akustischen Reizen („weißes Rauschen“, „Sprachtext“, „Musik“) verändert?

#### 4.2.6.1 Oberkörperschwankungen seitwärts

##### Vergleich „CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“ bei Übung Nr. 7

Bei 51,6 % der Patienten sind die Oberkörperschwankungen seitwärts bei „CI Aus“ größer als bei „CI Ein Anfangskontrollwert“, bei 22,6 % der Patienten gleich und bei 25,8 % der Patienten sind sie bei „CI Aus“ geringer als bei „CI Ein Anfangskontrollwert“ (siehe Tabelle 4.23).

Oberkörperschwankung seitwärts bei Übung 7		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	"CI Aus" > "CI Ein Anfangskontrollwert"	16	48,5	51,6
	"CI Aus" = "CI Ein Anfangskontrollwert"	7	21,2	22,6
	"CI Aus" < "CI Ein Anfangskontrollwert"	8	24,2	25,8
	Gesamt	31	93,9	100,0
Fehlend		2	6,1	
Gesamt		33	100,0	

**Tabelle 4.23: Vergleich der Oberkörperschwankungen seitwärts bei „CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“**

Der Vergleich der Mittelwerte beim Seitwärtstest von „CI Aus“ ( $M = 1,057$ ;  $SD = 0,757$ ) vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“ ( $M = 0,931$ ;  $SD = 0,617$ ) ergibt, dass ein statistisch signifikanter Mittelwertunterschied vorliegt mit  $t(30) = 2,204$  und  $p = 0,035$  (siehe Tabelle A.XVII und Tabelle A.XVIII, „Vergleich 2“).

Somit treten bei mehr als der Hälfte der Patienten bei eingeschaltetem CI im Vergleich zum ausgeschalteten CI weniger seitliche Oberkörperschwankungen auf, was auch ein geringeres Sturzrisiko zur Folge haben könnte.

### Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Musik“ bei Übung Nr. 7

Bei 67,7 % der Patienten sind die Oberkörperschwankungen seitwärts bei „Musik“ geringer als bei „CI Ein Anfangskontrollwert“, bei 9,7 % der Patienten gleich und bei 22,6 % der Patienten sind die Oberkörperschwankungen seitwärts bei „Musik“ größer (siehe Tabelle 4.24).

Oberkörperschwankung seitwärts bei Übung 7		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	"CI Ein Anfangskontrollwert" > "Musik"	21	63,6	67,7
	"CI Ein Anfangskontrollwert" = "Musik"	3	9,1	9,7
	"CI Ein Anfangskontrollwert" < "Musik"	7	21,2	22,6
	Gesamt	31	93,9	100,0
Fehlend		2	6,1	
Gesamt		33	100,0	

**Tabelle 4.24: Vergleich der Oberkörperschwankungen seitwärts bei „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Musik“**

Der Mittelwertvergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ ( $M = 0,931$ ;  $SD = 0,617$ ) vs. „Musik“ ( $M = 0,833$ ;  $SD = 0,563$ ) führte beim Seitwärtstest zu einem statistisch signifikanten Ergebnis:  $t(30) = 2,318$ ;  $p = 0,027$  (siehe Tabelle A.XVII und Tabelle A.XVIII, „Vergleich 9“).

### Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Sprachtext“ bei Übung Nr. 7

Bei 48,4 % der Patienten sind bei „Sprachtext“ die Oberkörperschwankungen seitwärts geringer als bei „CI Ein Anfangskontrollwert“, bei 35,5 % der Patienten größer als bei „CI Ein Anfangskontrollwert“. Bei 16,1 % der Patienten sind die Oberkörperschwankungen seitwärts bei „Sprachtext“ und „CI Ein Anfangskontrollwert“ identisch. Dieser Vergleich führt zu keinem statistisch signifikanten Unterschied.

### Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „weißem Rauschen“ bei Übung Nr. 7

Bei 41,9 % der Patienten tritt bei „weißem Rauschen“ ein geringerer Wert für die Oberkörperschwankungen seitwärts auf als bei „CI Ein Anfangskontrollwert“, bei 48,4 % ein größerer. Bei 9,7 % der Patienten sind die Oberkörperschwankungen seitwärts bei „weißem Rauschen“ und „CI Ein Anfangskontrollwert“ gleich.

Dieser Vergleich führt zu keinem statistisch signifikanten Ergebnis (siehe Tabelle A.XVII und Tabelle A.XVIII, „Vergleich 7“).

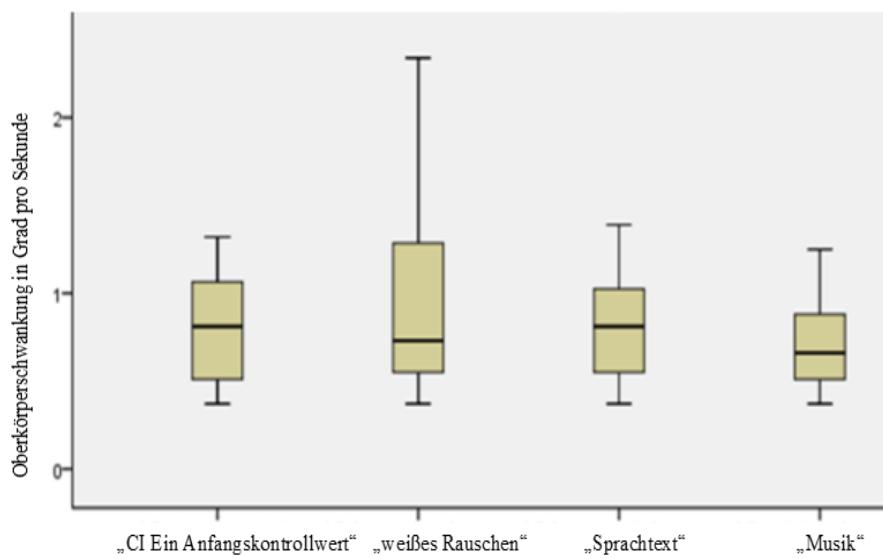
Die Vergleiche der Oberkörperschwankungen seitwärts bei „weißem Rauschen“ vs. „Sprachtext“, „weißem Rauschen“ vs. „Musik“ und „Sprachtext“ vs. „Musik“, zeigen ebenfalls keine statistisch signifikanten Ergebnisse (*siehe Tabelle A.XVII und Tabelle A.XVIII, „Vergleich 4“, „Vergleich 5“ und „Vergleich 6“*).

### Vergleich der Mittelwerte aller Seitwärtstests bei Übung Nr. 7

Die geringste Oberkörperschwankung seitwärts tritt bei „Musik“ ( $M = 0,824$ ;  $SD = 0,576$ ) auf und die größte Oberkörperschwankung seitwärts bei „weißem Rauschen“ ( $M = 1,074$ ;  $SD = 0,860$ ) (siehe Tabelle 4.25, Abb. 4.5 und *Tabelle A.XIX*).

Oberkörperschwankung seitwärts bei Übung 7	Mittelwert M	Standardabweichung SD
„CI Aus“	1,059	0,779
„CI Ein Anfangskontrollwert“	0,935	0,628
„weißes Rauschen“	1,074	0,860
„Sprachtext“	0,890	0,535
„Musik“	0,824	0,576

**Tabelle 4.25: Vergleich der Mittelwerte der Oberkörperschwankungen seitwärts**



**Abb. 4.5: Gesamtvergleich der Oberkörperschwankungen seitwärts**

#### 4.2.6.2 Oberkörperschwankungen „VUZ“

##### Vergleich „CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“ bei Übung Nr. 7

Bei 41,9 % der Patienten wird bei „CI Ein Anfangskontrollwert“ eine geringere Oberkörperschwankung „VUZ“ („vor und zurück“) erzielt als bei „CI Aus“, bei

25,8 % eine größere. Bei 32,3 % der Patienten sind die Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei „CI Aus“ und „CI Ein Anfangskontrollwert“ gleich (siehe Tabelle 4.26).

Oberkörperschwankung "VUZ" bei Übung 7		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	"CI Aus" > "CI Ein Anfangskontrollwert"	13	39,4	41,9
	"CI Aus" = "CI Ein Anfangskontrollwert"	10	30,3	32,3
	"CI Aus" < "CI Ein Anfangskontrollwert"	8	24,2	25,8
	Gesamt	31	93,9	100,0
Fehlend		2	6,1	
Gesamt		33	100,0	

**Tabelle 4.26: Vergleich der Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei „CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“**

Der Vergleich der Mittelwerte beim „VUZ“-Test von „CI Aus“ ( $M = 0,575$ ;  $SD = 0,295$ ) vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“ ( $M = 0,563$ ;  $SD = 0,282$ ) führt zu keinem statistisch signifikanten Ergebnis (siehe Tabelle A.XX und Tabelle A.XXI, „Vergleich 2“).

#### Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Musik“ bei Übung Nr. 7

Bei 54,8 % der Patienten wird bei „Musik“ eine geringere Oberkörperschwankung „VUZ“ erzielt als bei „CI Ein Anfangskontrollwert“, bei 19,4 % eine größere Oberkörperschwankung „VUZ“. Bei 25,8 % der Patienten sind die Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei „Musik“ und „CI Ein Anfangskontrollwert“ gleich (siehe Tabelle 4.27).

Oberkörperschwankung "VUZ" bei Übung 7		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	"CI Ein Anfangskontrollwert" > "Musik"	17	51,5	54,8
	"CI Ein Anfangskontrollwert" = "Musik"	8	24,2	25,8
	"CI Ein Anfangskontrollwert" < "Musik"	6	18,2	19,4
	Gesamt	31	93,9	100,0
Fehlend		2	6,1	
Gesamt		33	100,0	

**Tabelle 4.27: Vergleich der Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Musik“**

Der Vergleich der Oberkörperschwankung „VUZ“ bei „CI Ein Anfangskontrollwert“ ( $M = 0,563$ ;  $SD = 0,282$ ) vs. „Musik“ ( $M = 0,459$ ;  $SD = 0,201$ ) zeigt, dass bei „Musik“ ein statistisch signifikant geringerer Mittelwert vorliegt als bei „CI Ein

Anfangskontrollwert“ ( $t(30) = 2,897$ ;  $p = 0,007$ ) (siehe Tabelle A.XX und Tabelle A.XXI, „Vergleich 9“).

Bei eingeschaltetem CI treten somit durch Hinzunahme von „Musik“ weniger Oberkörperschwankungen „VUZ“ auf als bei „CI Ein Anfangskontrollwert“.

#### Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Sprachtext“ bei Übung Nr. 7

Bei 61,3 % der Patienten wird bei „Sprachtext“ eine geringere Oberkörperschwankung „VUZ“ erzielt als bei „CI Ein Anfangskontrollwert“, lediglich bei 6,5 % der Patienten ein größerer. Bei 32,3 % der Patienten ist die Oberkörperschwankung „VUZ“ bei „Sprachtext“ und „CI Ein Anfangskontrollwert“ gleich (siehe Tabelle 4.28).

Oberkörperschwankung "VUZ" bei Übung 7		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	"CI Ein Anfangskontrollwert" > "Sprachtext"	19	57,6	61,3
	"CI Ein Anfangskontrollwert" = "Sprachtext"	10	30,3	32,3
	"CI Ein Anfangskontrollwert" < "Sprachtext"	2	6,1	6,5
	Gesamt	31	93,9	100,0
Fehlend		2	6,1	
Gesamt		33	100,0	

**Tabelle 4.28: Vergleich der Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Sprachtext“**

Auch bei diesem Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ ( $M = 0,563$ ;  $SD = 0,282$ ) vs. „Sprachtext“ ( $M = 0,454$ ;  $SD = 0,177$ ) liegt ein statistisch signifikanter Mittelwertunterschied vor ( $t(30) = 3,183$ ;  $p = 0,003$ ) (siehe Tabelle A.XX und Tabelle A.XXI, „Vergleich 8“).

Bei eingeschaltetem CI treten somit durch Hinzunahme von „Sprachtext“ signifikant weniger Oberkörperschwankungen „VUZ“ auf als bei „CI Ein Anfangskontrollwert“.

#### Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „weißem Rauschen“ bei Übung Nr. 7

Bei 51,6 % der Patienten wird bei „weißem Rauschen“ eine geringere Oberkörperschwankung „VUZ“ erzielt als bei „CI Ein Anfangskontrollwert“, nur bei 22,6 %

der Patienten ein größerer. Bei 25,8 % der Patienten sind die Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei „weißem Rauschen“ und „CI Ein Anfangskontrollwert“ gleich groß.

Bei diesem Vergleich liegt kein statistisch signifikanter Mittelwertunterschied vor (*siehe Tabelle A.XX und Tabelle A.XXI, „Vergleich 7“*).

Die Vergleiche der Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei „Sprachtext“ vs. „Musik“, „weißes Rauschen“ vs. „Musik“ und „weißes Rauschen“ vs. „Sprachtext“ führen ebenfalls zu keinen statistisch signifikanten Ergebnissen (*siehe Tabelle A.XX und Tabelle A.XXI, „Vergleich 6“, „Vergleich 5“ und „Vergleich 4“*).

#### Vergleich der Mittelwerte der Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei Übung Nr. 7

Die geringsten Mittelwerte bei der Oberkörperschwankung „VUZ“ zeigen sich bei „Sprachtext“ und „Musik“, wobei „Sprachtext“ den geringsten Schwankungswert aufzeigt. Der Vergleich „Sprachtext“ vs. „Musik“ bei Übung Nr. 7 bestärkt dieses Ergebnis (*siehe Tabelle 4.29 und Tabelle A.XIX*).

Oberkörperschwankung „VUZ“ bei Übung 7	Mittelwert M	Standardabweichung SD
„CI Aus“	0,574	0,305
„CI Ein Anfangskontrollwert“	0,572	0,290
„weißes Rauschen“	0,574	0,542
„Sprachtext“	0,457	0,182
„Musik“	0,460	0,208

**Tabelle 4.29: Vergleich der Mittelwerte der Oberkörperschwankungen „VUZ“**

#### **4.2.6.3 Verlaufsentwicklung der Oberkörperschwankungen**

In diesem Kapitel wird nun die Fragestellung untersucht, ob sich exemplarisch bei Übung Nr. 7 die Oberkörperschwankungen in den vier Phasen („prä OP“, „post OP“, „6 Wochen post OP“ und „Aktuell“) verändert haben.

#### Vergleich der seitlichen Oberkörperschwankungen bei Übung Nr. 7

Die Vergleiche der seitlichen Oberkörperschwankungen bei „prä OP“ vs. „Aktuell“ sowie bei „6 Wochen post OP“ vs. „Aktuell“ führten zu keinem statistisch signifi-

kanten Mittelwertunterschied. Deshalb wird auf diese Vergleiche nicht näher eingegangen. Der einzige signifikante Unterschied wird beim Vergleich der seitlichen Oberkörperschwankungen bei „post OP“ vs. „Aktuell“ sichtbar.

#### Vergleich der seitlichen Oberkörperschwankungen bei „post OP“ vs. „Aktuell“ seitwärts bei Übung Nr. 7

Bei diesem Vergleich treten bei 65,5 % der Patienten bei „Aktuell“ geringere Oberkörperschwankungen seitwärts auf als bei „post OP“, bei 24,1 % größere Oberkörperschwankungen. Bei 10,3 % der Patienten sind beide Oberkörperschwankungen bei „Aktuell“ und „post OP“ gleich (siehe Tabelle 4.30).

Oberkörperschwankung seitwärts bei Übung 7		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	„post OP“ > „Aktuell“	19	57,6	65,5
	„post OP“ = „Aktuell“	3	9,1	10,3
	„post OP“ < „Aktuell“	7	21,2	24,1
	Gesamt	29	87,9	100,0
Fehlend		4	12,1	
Gesamt		33	100,0	

**Tabelle 4.30: Vergleich der Oberkörperschwankungen seitwärts bei „post OP“ vs. „Aktuell“**

Beim Vergleich der Mittelwerte in Übung Nr. 7 beim Seitwärtstest von „post OP“ ( $M = 1,218$ ;  $SD = 0,602$ ) vs. „Aktuell“ ( $M = 0,942$ ;  $SD = 0,560$ ) liegt ein signifikantes Ergebnis vor mit  $t(28) = 2,421$  und  $p = 0,022$  (siehe Tabelle A.XXII, „Vergleich 2“).

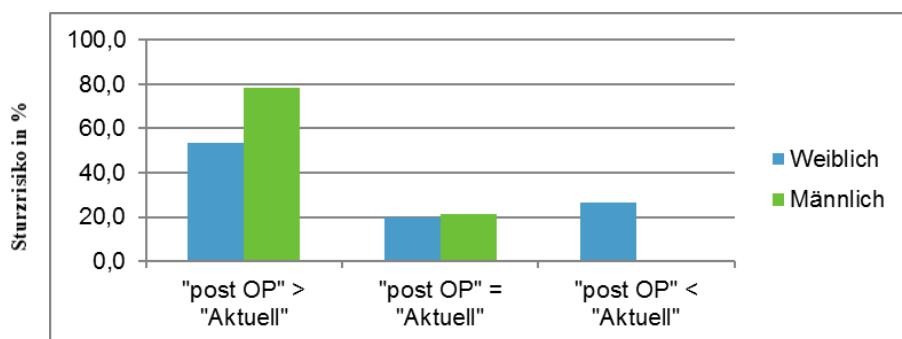
#### Geschlechtsspezifischer Vergleich der seitlichen Oberkörperschwankungen am Beispiel von Übung Nr. 7

Auch der nach Geschlechtern getrennte Vergleich der seitlichen Oberkörperschwankungen „Aktuell“ mit den Phasen „prä OP“, „post OP“ und „6 Wochen post OP“ führte zu ähnlichen Ergebnissen: Die nach Geschlechtern getrennten Vergleiche „prä OP“ vs. „Aktuell“ sowie „6 Wochen post OP“ vs. „Aktuell“ führen ebenfalls zu keinem statistisch signifikanten Mittelwertunterschied. Deshalb wird auf diese Vergleiche nicht näher eingegangen. Der einzige signifikante Unterschied wird erneut beim Vergleich der seitlichen Oberkörperschwankungen „post OP“ vs. „Aktuell seitwärts“ sichtbar.

### Geschlechtsspezifischer Vergleich der seitlichen Oberkörperschwankungen „post OP“ vs. „Aktuell“

Bei 53,3 % der weiblichen Patienten treten bei „Aktuell“ geringere Oberkörperschwankungen seitwärts auf als bei „post OP“ und bei 26,7 % der weiblichen Patienten höhere. Bei 20 % der weiblichen Patienten sind die Oberkörperschwankungen seitwärts bei „Aktuell“ und „post OP“ gleich.

Bei 78,6 % der männlichen Patienten treten bei „Aktuell“ geringere Oberkörperschwankungen seitwärts auf als bei „post OP“, bei 21,4 % der männlichen Patienten sind beide Oberkörperschwankungen seitwärts für „Aktuell“ und „post OP“ gleich (siehe Abb. 4.6).



**Abb. 4.6:** geschlechtsspezifischer Vergleich der Oberkörperschwankungen seitwärts bei „post OP“ vs. „Aktuell“

Der getrennte Vergleich beider Geschlechter ergibt, dass sich bei den Tests zur Oberkörperschwankung seitwärts nur bei den weiblichen Patienten ein signifikanter Unterschied in den Mittelwerten zwischen Sturzrisiko „post OP“ ( $M = 1,197$ ;  $SD = 0,696$ ) und „Aktuell“ ( $M = 0,865$ ;  $SD = 0,418$ ) ergibt mit  $t_{\text{weiblich}}(14) = 2,151$  und  $p = 0,049$  (siehe Tabelle A.XXIII, „Vergleich W2“).

Bei den männlichen Patienten liegt bei allen drei Vergleichen kein signifikanter Mittelwertunterschied vor.

### Vergleich der Oberkörperschwankungen „VUZ“ am Beispiel von Übung Nr. 7

Der Vergleich der Oberkörperschwankungen „VUZ“ führt beim Vergleich „6 Wochen post OP“ vs. „Aktuell“ zu keinem statistisch signifikanten Mittelwertunterschied.

Bei dem Vergleich der Oberkörperschwankungen „VUZ“ treten sowohl beim Vergleich „prä OP“ vs. „Aktuell“ als auch beim Vergleich „post OP“ vs. „Aktuell“ signifikante Mittelwertunterschiede auf.

#### Vergleich der Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei „prä OP“ vs. „Aktuell“

Bei 58,6 % der Patienten treten bei „Aktuell“ geringere Oberkörperschwankungen „VUZ“ auf als bei „prä OP“, bei 17,2 % der Patienten sind beide Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei „Aktuell“ und „prä OP“ gleich. Bei 24,1 % der Patienten treten bei „Aktuell“ größere Oberkörperschwankungen „VUZ“ auf als bei „prä OP“ (siehe Tabelle 4.31).

Oberkörperschwankung "VUZ" bei Übung 7		Häufigkeit	Prozent	Prozent (gültig)
Gültig	"prä OP" > "Aktuell"	17	51,5	58,6
	"prä OP" = "Aktuell"	5	15,2	17,2
	"prä OP" < "Aktuell"	7	21,2	24,1
	Gesamt	29	87,9	100,0
Fehlend		4	12,1	
Gesamt		33	100,0	

**Tabelle 4.31: Vergleich der Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei „prä OP“ vs. „Aktuell“**

Beim Mittelwertvergleich bei „VUZ“ von „prä OP“ ( $M = 0,733$ ;  $SD = 0,481$ ) mit „Aktuell“ ( $M = 0,548$ ;  $SD = 0,250$ ) liegt ein signifikantes Ergebnis vor ( $t(28) = 2,240$ ,  $p = 0,033$ ) (siehe Tabelle A.XXII, „Vergleich 1“).

#### Vergleich der Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei „post OP“ vs. „Aktuell“

Bei 72,4 % der Patienten treten bei „Aktuell“ geringere Oberkörperschwankungen „VUZ“ auf als bei „post OP“, bei 6,9 % der Patienten sind beide Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei „Aktuell“ und „post OP“ identisch. Bei 20,7 % treten bei „Aktuell“ größere Oberkörperschwankungen „VUZ“ auf als bei „post OP“.

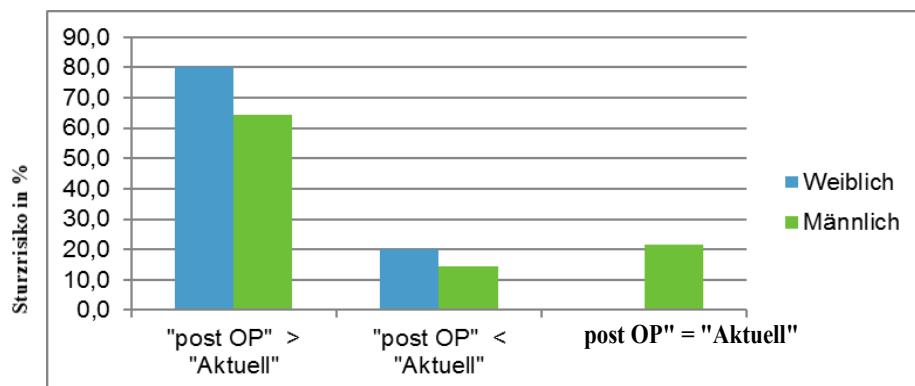
Beim „VUZ“-Test liegt beim Vergleich der Mittelwerte von „post OP“ ( $M = 0,824$ ;  $SD = 0,439$ ) und „Aktuell“ ( $M = 0,576$ ;  $SD = 0,265$ ) ein signifikantes Ergebnis vor ( $t(28) = 3,440$ ,  $p = 0,002$ ) (siehe Tabelle A.XXII, „Vergleich 2“).

Die nach Geschlechtern getrennten Vergleiche der Oberkörperschwankungen „VUZ“ führen sowohl beim Vergleich „prä OP“ vs. „Aktuell“ als auch beim Vergleich „6 Wochen post OP“ vs. „Aktuell“ zu keinen statistisch signifikanten Mittelwertunterschied. Deshalb wird auf diese Vergleiche nicht näher eingegangen.

#### Geschlechterspezifischer Vergleich bei „post OP“ vs. „Aktuell“

Bei 80 % der weiblichen Patienten treten bei „Aktuell“ geringere Oberkörperschwankungen „VUZ“ auf als bei „post OP“ und bei 20 % größere Oberkörperschwankungen.

Bei 64,3 % der männlichen Patienten treten bei „Aktuell“ geringere Oberkörperschwankungen „VUZ“ auf als bei „post OP“, und bei 21,4 % größere Oberkörperschwankungen „VUZ“. Bei 14,3 % der männlichen Patienten sind beide Oberkörperschwankungen für „Aktuell“ und „post OP“ gleich (siehe Abb. 4.7).



**Abb. 4.7: geschlechtsspezifischer Vergleich der Oberkörperschwankungen „VUZ“ bei „post OP“ vs. „Aktuell“**

Der getrennte Vergleich beider Geschlechter ergibt, dass sich bei den Tests zur Oberkörperschwankung „VUZ“ nur bei den weiblichen Patienten ein deutlich signifikanter Unterschied in den Mittelwerten zwischen dem Sturzrisiko „post OP“ ( $M = 0,773$ ;  $SD = 0,327$ ) und „Aktuell“ ( $M = 0,517$ ;  $SD = 0,230$ ) ergibt ( $t_{\text{weiblich}} (14) = 2,884$ ;  $p = 0,012$ ). Bei den männlichen Patienten liegt kein signifikanter Mittelwertunterschied vor (siehe Tabelle A.XXIII, „Vergleich 1-3“).

## 5. Diskussion

### 5.1 Vergleich der erzielten Ergebnisse mit anderen Studien

In der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit konnte nachgewiesen werden, dass während der durchgeführten Messreihen mit eingeschaltetem Cochlea-Implantat signifikant geringere Sturzrisikowerte im Vergleich zum ausgeschalteten CI auftraten. Auch im zeitlichen Verlauf dieser Studie verringerten sich die Sturzrisikowerte signifikant bei mehr als zwei Dritteln aller Patienten im Vergleich von „post OP“ vs. „Aktuell“ (ein bis drei Jahre nach CI-OP).

Die Hinzunahme der akustischen Reize „Musik“ und „Sprachtext“ führte während der durchgeführten Messreihen beim Vergleich mit „CI Ein Anfangskontrollwert“ bei mehr als der Hälfte der Patienten zu einer weiteren Reduzierung der Sturzrisikowerte, „weißes Rauschen“ hingegen zu erhöhten Sturzrisikowerten.

In der Literatur liegen bisher nur wenige Studien vor, welche die Auswirkungen der Hörrehabilitation mit CI auf die posturale Stabilität untersuchen (Buchman et al. 2004, Klünter et al. 2009, Schwab et al. 2010, Stevens et al. 2014, Wiszomirska et al. 2019, Grimm et al. 2022).

Im Zeitraum von 1997 bis 2001 wurde eine prospektive Studie mit 86 Patienten durchgeführt (Buchman et al., 2004). Die Untersuchungen erfolgten unmittelbar vor CI-OP sowie einen Monat, zwei Monate, vier Monate, ein Jahr und zwölf Jahre nach CI-OP. Vor der CI-OP wurde eine Befragung der Patienten mittels DHI-Fragebogen durchgeführt und es fand eine Prüfung des vestibulookulären Reflexes sowohl präoperativ als auch postoperativ statt. Die Gleichgewichtsmessungen erfolgten mittels computergestützter dynamischer Posturographie auf einer Plattform.

An einer weiteren prospektiven Studie nahmen 24 hörgeschädigte Patienten und 19 Erwachsene ohne Hörbehinderung (Gesamtdurchschnittsalter 51 Jahre, Altersspanne 20 bis 78 Jahre) teil (Klünter et al., 2009). Die Übungen setzten sich aus einem modifizierten klinischen Gleichgewichtstest, einer „rhythmischen Gleichgewichtsverlagerung“, einem „Walk Across Test“ und einem „Tandem Walk Test“ zusammen. Die Tests wurden sowohl vor als auch mindestens einen Monat nach CI-OP durchgeführt. Die Durchführung jeder Übung dauerte 10 Sekunden.

2010 wurde eine Studie mit 50 Patienten durchgeführt, von denen 28 Patienten vor der CI-OP an einer akuten Hörverschlechterung und 22 Patienten an einer kontinuierlichen Hörverschlechterung litten (Schwab et al., 2010). Die Untersuchungen fanden sechs bis acht Wochen nach erfolgter CI-OP mit ein- und ausgeschaltetem CI statt. Am Tag der CI-OP betrug das Durchschnittsalter der Patienten 46,3 Jahre. Vor der CI-OP wurden ein Nystagmus-Test, ein Romberg-Test, ein Unterberger-Schritttest und eine kalorische Prüfung durchgeführt. Nach der CI-OP fand auf einer beweglichen Plattform eine computergestützte statisch dynamische Posturographie bei 6 unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden mit aus- bzw. eingeschaltetem CI statt.

Bei einer Studie aus dem Jahr 2014 mit 16 erwachsenen CI-Patienten erfolgten die Gleichgewichtsmessungen eine Woche vor und zwei Wochen nach CI-OP bei der Übung „Stand mit geschlossenen Augen auf einer Schaumstoffunterlage“. Die Dauer der Übung betrug hierbei 30 Sekunden (Stevens et al., 2014).

Im Jahr 2019 wurde eine weitere Studie mit 21 CI-Patienten mit und ohne vestibulärer Dysfunktion (Durchschnittsalter 51 Jahre) durchgeführt (Wiszomirska et al., 2019). Die Gleichgewichtsmessungen erfolgten vor der CI-OP und 3 Monate danach mithilfe eines Fußplattenmesssystems (Biomed Balance System SD).

In der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit mit 33 CI-Patienten (17 Frauen und 16 Männer) im Alter von 33 bis 83 Jahren wurden ebenfalls mithilfe des mobilen VertiGuard®-RT-Systems Gleichgewichtsmessungen prä OP, drei bis fünf Tage post OP, sechs Wochen post OP und ein bis drei Jahre post OP durchgeführt. Die Durchführung jeder Übung dauerte eine Minute.

Die oben genannten Studien erzielten hierbei unterschiedliche Ergebnisse:

Die Studie aus dem Jahr 2004 ergab keine nachteiligen Auswirkungen einer CI-Versorgung im Hinblick auf das Gleichgewicht (Buchman et al., 2004). Es trat sogar eine signifikante Verbesserung der posturalen Stabilität bei der computergestützten dynamischen Posturographie auf einer Plattform auf. Diese wurden jedoch erst bei Messungen ein Jahr nach CI-OP sichtbar.

Zwei weitere Studien führten zu keinem signifikanten Unterschied der gemessenen mittleren Sturzrisikowerte vor und nach CI-OP (Klünter et al. 2009, Wiszomirska

et al. 2019). Der einzige Unterschied beider genannten Studien trat bei der Verringerung der Oberkörperschwankungen „VUZ“ unter statischen Bedingungen wenige Monate nach CI-OP auf (Wiszomirska et al., 2019).

Dagegen verdreifachte sich in der Studie aus dem Jahr 2014 unmittelbar nach CI-OP der Sturzrisikowert einiger Patienten (Stevens et al., 2014).

Die Studie aus dem Jahr 2010 zeigte bei der Auswertung der Ergebnisse einiger Übungen bei aktiviertem CI eine Stabilisierung des Gleichgewichts, bei anderen Übungen eine signifikante Verschlechterung des Gleichgewichts (Schwab et al., 2010).

In der vorliegenden Arbeit treten in den durchgeführten Messreihen bereits beim Vergleich der Sturzrisikowerte „prä OP“ vs. „sechs Wochen post OP“ geringere Sturzrisikowerte bei „sechs Wochen post OP“ auf. Ein bis drei Jahre nach CI-OP wird eine weitere Reduzierung bei den ermittelten Werten für das Sturzrisiko erkennbar. Der in dieser Studie durchgeführte Vergleich der Sturzrisikowerte „post OP“ vs. „Aktuell“ führte in den durchgeführten Messreihen sowohl bei den weiblichen als auch bei den männlichen Patienten zu einer signifikanten Verringerung der Sturzrisikowerte bei „Aktuell“.

Die unterschiedlichen Ergebnisse der genannten Studien können aufgrund der Inhomogenität des Patientenkollektivs, der Untersuchungsmethoden, der Untersuchungszeiträume sowie der unterschiedlichen Testbedingungen jedoch nicht miteinander verglichen werden.

So fanden beispielsweise in der Studie 2014 die Messungen auf einer Schaumstoffmatte statt, wobei jede Übung 30 Sekunden dauerte (Stevens et al., 2014). In der Studie aus dem Jahr 2004 standen die Probanden auf einer schwankungsfreien, aber instabilen Oberfläche mit einer Übungsdauer von lediglich zehn Sekunden (Buchman et al., 2004).

### **5.1.1 Einfluss des Alters**

Zahlreiche Studien konnten nachweisen, dass auch im höheren Alter eine CI-OP vorteilhaft ist.

In einigen Studien mit älteren CI-Patienten wurde jedoch nicht das Sturzrisiko, sondern das Hör- und Sprachvermögen vor und nach CI-OP untersucht (Hilly et al. 2016, Wong et al. 2020, Rohloff et al. 2017, Friauf et al. 2017).

Es existieren mehrere Studien, die das Sturzrisiko von über 60-jährigen Patienten untersucht haben (Rumalla et al. 2015, Negahban et al. 2017, Ninomiya et al. 2021, McDaniel et al. 2018, Lacerna et al. 2012, Weaver et al. 2017, Kowalewski et al. 2018). Das Patientenkollektiv bestand in jeder der genannten Studien jedoch nicht aus CI-Patienten, sondern aus Patienten mit Hörbeeinträchtigungen, deren Gleichgewicht mit und ohne Hörgerät untersucht wurde.

In einer retrospektiven Studie mit insgesamt 3773 über 50-jährigen CI-Patienten einer Versicherungsdatenbank wurde die Anzahl der Tage mit Stürzen ein Jahr vor und nach CI-OP gezählt (Grimm et al., 2022). Innerhalb eines Jahres vor CI-OP betrug die durchschnittliche Anzahl der Tage einer dokumentierten Sturzdiagnose je Patient 3,12 Tage/Jahr und nach CI-OP 2,04 Tage/Jahr. Obwohl sich die Anzahl der Stürze nach CI-OP verringerte, konnte in dieser Studie kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Stürzen vor und nach CI-OP nachgewiesen werden.

Weitere Studien mit ausschließlich älteren CI-Patienten, in denen das Sturzrisiko vor und nach CI-OP untersucht wurde, liegen bisher nicht vor.

In dieser Arbeit traten insbesondere bei älteren Patienten nach CI-Versorgung geringere Werte für das Sturzrisiko in den durchgeführten Messreihen auf.

### **5.1.2 Einfluss akustischer Reize auf das Sturzrisiko**

Die vorliegende Arbeit beschäftigte sich außerdem mit der Fragestellung, ob akustische Reize einen Einfluss auf das Sturzrisiko bei CI-Patienten haben.

Die Hinzunahme der akustischen Reize „Musik“ und „Sprachtext“ führte in den durchgeführten Messreihen bei mehr als der Hälfte der Patienten zu einer weiteren Reduzierung der Sturzrisikowerte. Einzig beim Vergleich der Sturzrisikowerte „CI Ein“ vs. „weißes Rauschen“ erhöhte sich der Wert für das Sturzrisiko bei „weißem Rauschen“.

Ein signifikanter Mittelwertunterschied wurde beim Vergleich der Oberkörperschwankungen seitwärts bei „CI Ein“ vs. „Musik“ erzielt. Der Vergleich der Oberkörperschwankungen „VUZ“ führte bei „CI Ein“ vs. „Musik“ und bei „CI Ein“ vs. „Sprachtext“ ebenfalls zu signifikanten Mittelwertunterschieden.

Einzelne Studien haben bereits den Einfluss von akustischen Reizen auf die Veränderungen des Gleichgewichts und des damit verbundenen Sturzrisikos untersucht. Bis zum aktuellen Zeitpunkt wurden zu dieser Thematik jedoch noch keine Studien ausschließlich mit CI-Patienten durchgeführt und auch nicht über einen Zeitraum von ein bis drei Jahren, wie in der vorliegenden Arbeit.

Eine australische Studie mit insgesamt 97 Probanden (50 Patienten ohne Hörminderung, 28 Patienten mit Hörminderung und 19 Patienten mit vestibulärer Dysfunktion) führte zu folgenden Ergebnissen: Bei den Patienten ohne Hörminderung verbesserte sich unter dem Einfluss auditiver Reize die posturale Stabilität, besonders groß war der positive Einfluss des akustischen Inputs bei Patienten mit vestibulären Defiziten (Vitkovic et al., 2016).

Eine Studie der Washington University School of Medicine in St. Louis mit 18 Teilnehmern im Alter von 9 bis 78 Jahren (6 Personen mit Gleichgewichtsstörungen) führte durch Hinzunahme von akustischen Reizen zu einer Reduzierung der Körperschwankungen um 41 % (Stevens et al., 2016).

2019 wurde eine weitere Studie an der Medizinischen Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin mit 30 jungen Probanden (18 Frauen, 12 Männer) ohne Höreinschränkungen durchgeführt (Anton et al., 2019). Die Teilnehmer wiesen weder aktuelle noch in der Vergangenheit liegende Schwindelbeschwerden auf. Unter Einfluss eines kontinuierlichen Rauschens nahm die posturale Stabilität signifikant ab, bei unterbrochenem Rauschen jedoch zu.

Am Universitätsklinikum Halle an der Saale wurde in einer prospektiven Studie bei 30 Probanden im Alter von 18-70 Jahren der Einfluss akustischer Reize auf die posturale Stabilität untersucht (Seiwerth et al., 2020). Die Probanden wiesen weder Höreinschränkungen noch Schwindelbeschwerden auf. Anstelle des Vertiguard®-RT-Systems wurden mithilfe des Interactive Balance Systems (IBS) vertikale Druckschwankungen über Fußplattenmessungen für die sensorischen Komponen-

ten ermittelt. Die Druckschwankungswerte veränderten sich dabei durch den Einfluss akustischer Reize nicht. Es trat lediglich eine Verringerung der Druckschwankungswerte der visuellen und vestibulären Komponenten auf.

Zusätzlich konnte in einer weiteren Studie durch Hinzunahme von Geräuschen in verschiedenen Versuchsmodellen eine signifikant geringere Körperschwankungsgeschwindigkeit nachgewiesen werden (Anton et al., 2021). Sowohl das Patientenkollektiv als auch die Übungen waren in der Ausführung identisch zu einer früheren Studie: Gehen mit geöffneten Augen, Tandemschritte und Gehen über Barrieren mit Blick nach vorne unter Hinzunahme von kontinuierlichem Rauschen aus einer statischen Schallquelle (Anton et al., 2019). Zur Vermeidung von Artefakten wurden hierbei jedoch die ersten und letzten beiden Schritte für die Auswertung der Messergebnisse bewusst weggelassen.

Die Ergebnisse der o.g. Studien sind aufgrund leicht abgewandelter Untersuchungsbedingungen (Anzahl der durchgeführten Übungen und Messreihen, Modell der verwendeten Soundquelle) und vor allem aufgrund unterschiedlicher Einschlusskriterien des Patientenkollektivs (Alter, Hörvermögen, Gesundheitszustand) nur sehr eingeschränkt miteinander vergleichbar.

## 5.2 Stärken und Limitationen

Zu den Stärken dieser Arbeit gehört, dass die Untersuchung vor CI-OP sowie die ersten beiden Nachuntersuchungen (drei bis fünf Tage und sechs Wochen nach CI-OP) bei allen Patienten im gleichen zeitlichen Abstand zur CI-OP erfolgten. In einer anderen Studie fanden dagegen die Gleichgewichtsmessungen vor CI-OP im Zeitraum von einem Tag bis 320 Tagen statt und die zweite Gleichgewichtsmessung 31 bis 363 Tage nach CI-OP (Klünter et al., 2009).

Eine weitere Stärke der wissenschaftlichen Studie liegt darin, dass für jeden einzelnen Patienten sowohl das Ausfüllen der beiden Fragebögen als auch die praktische Durchführung aller Übungsreihen an demselben Tag erfolgten. Somit wurden optimale Voraussetzungen für die Vergleichbarkeit der individuellen Sturzrisikoergebnisse aller Patienten geschaffen.

Zudem wurde bei der Durchführung der Übungen auf eine exakte Einhaltung der Ausführung geachtet. Die Durchführung der Übungen erfolgte unter möglichst realitätsnahen Alltagsbedingungen.

Jedes erzielte Ergebnis dieser Arbeit floss in die Auswertung beim Vergleich der Sturzrisikowerte ein. Anders als in einer früheren Studie, bei der von drei Versuchen jeweils nur der beste Versuch gewertet wurde (Klünter et al., 2009).

Insgesamt konnten alle Messungen stets mit mindestens 30, in der Regel mit 33 CI-Patienten durchgeführt werden. Dies kann als weitere Stärke dieser Studie gewertet werden. An anderen Studien nahmen dagegen nur 16 Personen, beziehungsweise nur 24 Personen, teil (Stevens et al. 2014, Klünter et al. 2009).

Aufgrund einiger fehlender Messdaten bei dieser Studie konnten vereinzelte Sturzrisikovergleiche nur mit leicht reduzierter Patientenzahl durchgeführt werden.

Eine mögliche Limitation dieser vorliegenden Studie liegt darin, dass altersbedingte Komorbiditäten vor Beginn der Studie nicht erfasst wurden. So konnte 2022 in einer Studie nachgewiesen werden, dass Komorbiditäten das Sturzrisiko beeinflussen (Grimm et al., 2022).

Ein möglicher weiterer limitierender Faktor dieser Studie könnte hierbei auch der unterschiedlich lange Zeitraum zwischen CI-OP bis zur dritten postoperativen Nachuntersuchung jedes einzelnen Patienten sein. Bei den Männern betrug dieser Zeitraum durchschnittlich 1,3 Jahre und bei den Frauen durchschnittlich 2,4 Jahre.

Ein entscheidender Faktor beim Sturzrisiko spielt auch der Einfluss der je nach Alter und Geschlecht unterschiedlich ausgeprägten Muskelkraft. So konnte in der „VPHOP Studie“ bei über 60-jährigen Frauen ein statistisch signifikanter Einfluss auf Stürze mithilfe einer dreidimensionalen Bewegungsanalyse nachgewiesen werden (Dietzel, 2016).

In der vorliegenden Arbeit betrug die Gesamtdauer aller insgesamt durchgeführten Übungen je Patient im zeitlichen Verlauf ca. 1 Stunde 38 Minuten. Somit könnte die im Verlauf der Übungsdurchführung nachlassende Muskelkraft ein möglicher weiterer limitierender Faktor dieser Arbeit sein.

### **5.3 Aktueller Forschungsstand und methodische Weiterentwicklung**

Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass eine Cochlear-Implantation nicht nur zu einer Verbesserung im Sprachverstehen führt und wie in den durchgeführten Messreihen dieser Studie zu einer Reduzierung der Sturzrisikowerte beiträgt, sondern auch die Lebensqualität von CI-Patienten erhöht. Um diese auch auf lange Sicht aufrechtzuerhalten, ist eine optimale langfristige Nachsorge essenziell. Das Vertiguard®-RT-Gerät bietet hierfür neben den diagnostischen Möglichkeiten zur Ermittlung der Sturzrisikowerte auch einen therapeutischen Ansatz. So können beispielsweise Neurofeedback-Trainingsverfahren mithilfe des Vertiguard®-RT-Gerätes für die Rehabilitation von Gleichgewichtsstörungen zur Anwendung kommen (Basta und Ernst 2008, Basta und Ernst 2011).

Forschungsergebnisse aus den Jahren 2020 bis 2022 führten in der CI-Versorgung zu wichtigen neuen Erkenntnissen:

Im Jahr 2020 konnten am Universitätsklinikum Essen mithilfe eines digitalen Mikroskops erstmalig elektrophysiologische Reaktionen der Cochlea während eines Elektroden-Insertionsprozesses in Echtzeit sichtbar gemacht werden, sodass während der OP eine individuelle Steuerung der einzuführenden Elektrode möglich ist (Höing et al., 2024).

Ende 2021 fand an der Uniklinik Düsseldorf weltweit erstmalig eine Cochlea Implantation mit Unterstützung eines Roboters (HEARO®) unter der Leitung von Prof. Klenzner statt. Mithilfe eines Navigationssystems wurde hierbei über einen zwei Millimeter breiten Kanal ein minimal-invasiver Zugangsweg zur Cochlea geschaffen, sodass noch vorhandenes Restgehör besser erhalten werden kann (Hussain, 2022).

Neueste Forschungsergebnisse wurden mit dem Vertiguard®-RT-Gerät im Jahr 2022 an der Charité in Berlin erzielt (Basta et al., 2023). Das Patientenkollektiv bestand dabei ausschließlich aus älteren Patienten zwischen dem 62. und 79. Lebensjahr. Von insgesamt 16 Personen waren 12 weiblich und vier männlich. Anders als in der vorliegenden Arbeit hatten die Patienten weder zum aktuellen Untersuchungszeitpunkt noch in der Vergangenheit vestibuläre Beschwerden. In vier von fünf durchgeführten Gehübungen kam es dabei durch den Einfluss von vier ver-

schiedenen akustischen Reizen zu einer signifikanten Veränderung der Körperschwankungsgeschwindigkeit. Lediglich bei der Übung „Gehen mit kreisenden Kopfbewegungen“ kam es zu keiner Veränderung der Körperschwankungsgeschwindigkeit durch akustische Reize. Zudem wurde, wie auch in dieser Studie bestätigt, dass „weißes Rauschen“ einen positiven Einfluss auf die posturale Stabilität bei verschiedenen Gehübungen haben kann.

Seit mehreren Jahren gibt es außerdem Ansätze zur Entwicklung einer neuartigen Prothese für das Gehör, die durch optische Stimulation eine elektrophysiologische Reaktion in der Cochlea auslöst. Im Gegensatz zur elektrischen Stimulation ist es somit möglich, Hörnervenzellen deutlich präziser zu stimulieren. Durch eine gesteigerte Frequenzauflösung kann dabei insbesondere die Wahrnehmung von Musik und Sprache unter lauten Umgebungsgeräuschen verbessert werden (Wolf et al., 2022).

## Literaturverzeichnis

Anton K, Ernst A, Basta D: A static sound source can improve postural stability during walking. *Journal of Vestibular Research* 31 (2021):143-149. DOI: 10.3233/VES-200015.

Anton K, Ernst A, Basta D: Auditory influence on postural control during stance tasks in different acoustic conditions. *Journal of Vestibular Research* 29 (2019): 287-294. DOI: 10.3233/VES-190674.

AWMF: Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf-und Hals-Chirurgie: Cochlea-Implantat Versorgung und zentral-auditorische Implantate. Bonn 2020. [cited 2025 aug 01].

Available from: [www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/017-071.html](http://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/017-071.html).

Arndt S, Laszig R, Aschendorff A, Hassepass F, Beck R, Wesarg T: Cochleaimplantatversorgung bei einseitiger Taubheit oder asymmetrischem Hörverlust. *HNO* 2017;65(7):586-98. DOI: 10.1007/s00106-016-0294-8.

Battmer RD: 25 Jahre Cochlear-Implantat in Deutschland - eine Erfolgsgeschichte mit Perspektiven: Indikationserweiterung, Reliabilität der Systeme. In: Ernst A, Battmer RD, Todt I: Cochlear Implant heute. Springer Medizin Verlag, Heidelberg 2009;1:1-9.

Basta D, Borsellino L, Anton K, Ernst A: Influence of Auditory Information on Postural Control During Different Gait Tasks in the Elderly. *J International Advanced Otology* 2023;19(1):22-27. DOI: 10.5152/iao.2023.22671.

Basta D, Ernst A: Moderne Rehabilitation von Gleichgewichtsstörungen mit Hilfe von Neurofeedback-Trainingsverfahren. *HNO* 2008;56:990-995.  
DOI:10.1007/s00106-008-1805-z.

Basta D, Ernst A: Vibrotaktiles Neurofeedbacktraining mit dem Vertigard®-RT-System. *HNO* 2011; 59:1005-1011. DOI: 10.1007/s00106-011-2346-4.

Basta D, Rossi-Izquierdo M, Soto-Varela A, Ernst A: Mobile posturography: posturographic Analysis of Daily-Life Mobility. *Otology & Neurotology* 2013; 34(2): 288-297. DOI: 10.1097/MAO.0b013e318277a29b.

Behrbohm H, Kaschke O, Nawda T: Kurzlehrbuch Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde. 2.Auflage; Thieme Verlag, Stuttgart 2012:13-14, 62.

Bender A: Kurzlehrbuch Neurologie. 4. Auflage; Elsevier Urban & Fischer, München 2022.

Berrettini S, Baggiani A, Bruschini L, Cassandro E, Cuda D, Filipo R, Palla I, Quaranta N, Forli F: Systematic review of the literature on the clinical effectiveness of the cochlear implant procedure in adult patients. *Acta Otorhinolaryngologica Italica* 2011;31(5):299-310.

Biller A, Bartsch A, Knaus C, Müller J, Solymosi L, Bendszus M: Neuroradiologische Diagnostik bei Patienten mit sensorineurealem Hörverlust vor Cochlea-Implantation. *RöFo: Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*, Thieme 2007-9;179 (9):901-913. DOI: 10.1055/s-2007-963124.

Buchman CA, Joy J, Hodges A, Telischi FF, Balkany TJ: Vestibular effects of cochlear implantation. *Laryngoscope* 2004;114:1-22.  
DOI: 10.1097/00005537-200410001-00001.

Chenot JF, Preuß R: Hörstörung. In: Chenot, JF, Scherer M Reinhardt K, Angelow A: Allgemeinmedizin. 1. Auflage; Elsevier Urban & Fischer, München 2022; 29.1:195-200.

Chung J, Chueng K, Shipp D, Friesen L, Chen JM, Nedzelski JM, Lin VYW: Unilateral Multi-Channel Cochlear Implantation Results in Significant Improvement in Quality of Life. *Otology & Neurotology* 2012;33(4):566-571.  
DOI: 10.1097/MAO.0b013e3182536dc2.

Dietzel R: Neuromuskuläre Funktion und ihr Einfluss auf Stürze, Sarkopenie und Funktionseinschränkungen im Alter. Dissertation, Medizinische Fakultät Charité-Universitätsmedizin Berlin 2016. DOI: 10.1111/bjd.13697.

Dillon MT, Buss E, Rooth MA, King ER, Deres EJ, Buchman CA, Pillsbury HC, Brown KD: Effect of Cochlear Implantation on Quality of Life in Adults with Unilateral Hearing Loss. *Audiology and Neurotology* 2017;22(4-5):259-271.  
DOI: 10.1159/000484079.

Dowell RC: The case for earlier cochlear implantation in postlingually deaf adults. *International Journal of Audiology* 2016;55(2):51-56.  
DOI: 10.3109/14992027.2015.1128125.

Eisen MD: History of the Cochlear Implant. In: Waltzman SB, Roland JT: Cochlear Implants. 2nd ed; Thieme New York 2006:2.

Enticott JC, Tari S, Koh SM, Dowell RC, O'Leary SJ: Cochlear Implant and Vestibular Function. *Otology & Neurotology* 2006;27:824-830.  
DOI: 10.1097/01.mao.0000227903.47483.a6.

Ernst A, Basta D, Mittmann P, Seidl RO: Can hearing amplification improve presbyvestibulopathy and/or the risk-to-fall? *Eur Arch Otorhinolaryngology* 2021;278 (8):2689-2694. DOI: 10.1007/s00405-020-06414-9.

Ernst A, Todt I: Die Entwicklung minimal-invasiver chirurgischer Verfahren zur Cochlear-Implant-Versorgung. In: Ernst A, Battmer RD, Todt I: Cochlear Implant heute. Springer Medizin Verlag, Heidelberg 2009; 6:54-59.

Eshraghi AA, Rodriguez M, Balkany TJ, Telischi FF, Angeli S, Hodges AV, Adil E: Cochlear implant surgery in patients more than seventy-nine years old. *Laryngoscope* 2009;119(6):1180-1183. DOI: 10.1002/lary.20182.

Förster MJR: Prävalenz von Kopfschmerzen nach operativer Versorgung mit einem Cochlea-Implantat. Dissertation, Medizinischen Fakultät Ludwig-Maximilians-Universität München 2021:8-9, 20-21. DOI: 10.5282/edoc.28908.

Franzen A, Coordes A: Kurzlehrbuch Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde 4. Auflage. UNI-MED Verlag AG, Bremen 2022:15, 20-26.

Friauf S, Hoth S, Praetorius M: Cochlea-Implantate in älteren Menschen: Heidelberg-Erfahrungen. *GMS Curr Posters Otorhinolaryngology - Head and Neck Surgery* 2017;13. DOI: 10.3205/17hno268.

Gärtner L, Lesinski-Schiedat A, Büchner A, Lenarz T: Kopfschmerzen und Abnahme des Sprachverständens bei einem Patienten mit einseitigem Cochlea-Implantat. *Laryngo-Rhino-Otology* 2016;95(08):559-560. DOI: 10.1055/s-0042-105763.

Garrido-Charles A, Huet A, Matera C, Thirumalai A, Llebaria A, Moser T, Gorositz P: Fast photoswitchable molecular prosthetics control neuronal activity in the cochlea. *Journal of the American Chemical Society* 2022:9229-9239 DOI: 10.1021/jacs.1c12314.

Gaylor JM, Raman G, Chung M, Lee J, Rao M, Lau J, Poe DS: Cochlear implantation in adults: a systematic review and meta-analysis. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery* 2013;139(3):265-272. DOI: 10.1001/jamaoto.2013.1744.

Grimm DR, Fakurnejad Shavan, Alyono JC: Cochlear Implantation and Risk of Falls in Older Adults. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery* 2022;167(3):531-536. DOI: 10.1177/01945998211064981.

Gruppe G, Wagner J, Hofmann S, Stratmann A, Mittmann P, Ernst A, Todt I: Häufigkeit und Komplikationen von MRT-Untersuchungen bei Cochlea-Implantat-Patienten. *HNO* 2016;64(3):156-162. DOI: 10.1007/s00106-016-0128-8.

Gürkov R: Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde Basics. 6. Auflage; Elsevier, Urban & Fischer, München 2022:2-3, 32-33.

Härkönen K, Kivekäs I, Rautiainen M, Kotti V, Sivonen V, Vasama JP: Single-Sided Deafness: The Effect of Cochlear Implantation on Quality of Life, Quality of Hearing and Working Performance. *Otorhinolaryngology Relat Spec.* 2015;77(6):339-345. DOI: 10.1159/000439176.

Hausdorff, JM, Rios, DA, Edelberg, HK: Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Arch Physical Medicine and Rehabilitation* 2001;82(8):1050-1056. DOI: 10.1053/apmr.2001.24893.

Hick C, Hick A: Intensivkurs Physiologie. 3. Auflage; Elsevier Urban & Fischer, München 2009:354.

Hiel AL, Gerard JM, Decat M, Deggouj N: Is age a limiting factor for adaptation to cochlear implant? *Eur Arch Otorhinolaryngology* 2016; Sep;273(9):2495-2502. DOI: 10.1007/s00405-015-3849-5.

Hilly O, Hwang E, Smith L, Shipp D, Nedzelski JM, Chen JM, Lin VWY: Cochlear implantation in elderly patients: stability of outcome over time. *Laryngology & Otology* 2016;130(8):706-711. DOI: 10.1017/S0022215116008197.

Hirschfelder A, Gräbel S, Olze H: The impact of cochlear implantation on quality of life: The role of audiologic performance and variables. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery* 2008;138(3):357-62. DOI: 10.1016/j.otohns.2007.10.019.

Höing B, Eichler T, Juelly V, Meyer M, Jung L, Waschkies L, Lang S, Arweiler-Harbeck D: Digital live imaging of intraoperative electrocochleography during cochlear implantation: the first 50 patients. *Eur Arch Otorhinolaryngology* 2024; 281(3):1175-1183. DOI: 10.1007/s00405-023-08197-1.

Hussain T: Patienten-Benefit und Lebensqualität nach Roboter-assistierten Operationen im Kopf-Hals-Bereich. *Laryngo-Rhino-Otology* 2022;101(01):160-185. DOI: 10.1055/a-1647-8650.

Ibrahim I, da Silva SD, Segal B, Zeitouni A: Effect of cochlear implant surgery on vestibular function: meta-analysis study. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery* 2017;46(1):44. DOI: 10.1186/s40463-017-0224-0.

Jacobson GP, Newman CW: The development of the Dizziness Handicap Inventory. *Arch Otolaryngology - Head and Neck Surgery* 1990;116:424-427. DOI: 10.1001/archotol.1990.01870040046011.

Kirsch J, May CA, Winkelmann A, Schwab W, Herrmann G, Funk R: Taschenlehrbuch Anatomie. 2. Auflage; Thieme Verlag Stuttgart 2017:494.

Klenzner T, Neumann M, Aschendorff A, Laszig R: Thermische Erregbarkeit des Vestibularorgans nach Cochlear-Implantation. *Laryngo-Rhino-Otology* 2004;83: 659-664. DOI: 10.1055/s-2004-825678.

Klünter HD, Lang-Roth R, Guntinas-Lichius O: Static and dynamic postural control before and after cochlear implantation in adult patients. *Eur Arch Otorhinolaryngology* 2009;266:1521-1525. DOI: 10.1007/s00405-009-0936-5.

Klünter HD, Lang-Roth R, Buettner D, Huttenbrink KG, Guntinas-Lichius O: Postural control before and after cochlear implantation: standard cochleostomy versus round window approach. *Acta Otolaryngology* 2010;130:696-701. DOI: 10.3109/000164809033737332.

Knopke S, Grabel S, Forster-Ruhrmann U, Mazurek B, Szczepk AJ, Olze H. Impact of cochlear implantation on quality of life and mental comorbidity in patients aged 80 years. *Laryngoscope* 2016;126(12):2811-2816. DOI:10.1002/lary.25993.

Köpke A: Einfluss der Cochlea Implantat Versorgung auf Sprachverstehen, Tinnitus, Lebensqualität und psychische Komorbiditäten bei Patienten mit Single-Sided Deafness. Dissertation, Medizinische Fakultät Charité-Universitätsmedizin Berlin 2019:11-13. DOI:10.17169/refubium-1739.

Koitschev A, Koitschev C, Limberger A: Kurzlehrbuch Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde. 1. Auflage; Elsevier Urban & Fischer, München 2014:2, 9-10.

Kowalewski V, Patterson R, Hartos J, Bugnariu N: Hearing loss contributes to balance difficulties in both younger and older adults. *Journal of preventive medicine* 2018;3(2):12. DOI: 10.21767/2572-5483.100033.

Kraaijenga VJ, van Zon A, Smulders YE, Ramakers GG, Van Zanten GA, Stokroos RJ, Huinck WJ, Frijns JH, Free RH, Grolman W: Development of a Squelch Effect in Adult Patients After Simultaneous Bilateral Cochlear Implantation. *Otology & Neurotology* 2016; 37(9):1300-1306. DOI: 10.1097/MAO.00000000000001185.

Kubo T, Yamamoto K, Iwaki T, Doi K, Tamura M: Different Forms of Dizziness occurring after Cochlear Implant. *Eur Arch Otorhinolaryngology* 2001;258:9-12. DOI: 10.1007/pl00007519.

Kurre A, van Gool CJ, Bastiaenen CHG, Gloor-Juzi T, Straumann D, de Bruin ED: Translation, crosscultural adaptation and reliability of the German version of the Dizziness Handicap Inventory. *Otology & Neurotology* 2009;30(3):359-367. DOI: 10.1097/MAO.0b013e3181977e09.

Lacerda CF, Silva LOE, de Tavares CRS, Cheik NC: Effects of hearing aids in the balance, quality of life and fear to fall in elderly people with sensorineural hearing loss. *International Archives of Otorhinolaryngology* 2012;16(2):156-162. DOI: 10.7162/S1809-9777201200200002.

Laszig R, Aschendorff A, Stecker M, Müller-Deile J, Maune S, Dillier N, Weber B, Hey M, Begall K, Lenarz T, Battmer RD, Böhm M, Steffens T, Strutz J, Linder T, Probst R, Allum J, Westhofen M, Doering W: Benefits of bilateral electrical stimulation with the nucleus cochlear implant in adults: 6 months postoperative results. *Otology & Neurotology* 2004;25:958-968. DOI: 10.1097/00129492-20041000-00016.

Lehnhardt E, Hirshorn MS: Cochlear Implant - Eine Hilfe für beidseitig Taube. Springer Verlag, Berlin · Heidelberg · New York 1987:1-6.

Lenarz T, Boenninghaus HG: HNO. 14. Auflage; Springer Verlag, Berlin · Heidelberg 2012:8, 130-132.

Lenarz T: Cochlear implant - state of the art. GMS current topics. *Otorhinolaryngology - Head and Neck Surgery* 2017;16:123-151. DOI: 10.3205/cto000143.

Lenarz T, Bücher A, Illg A: Cochlea-Implantation: Konzept, Therapieergebnisse und Lebensqualität. *Laryngo-Rhino-Otology* 2022;101:36-78. DOI: 10.1055/a-1731-9321.

Louza J: Zum Einfluss der Cochlea Implantation auf das Vestibularorgan. Dissertation, Medizinischen Fakultät Ludwig-Maximilians-Universität München 2010. DOI: 10.5282/edoc.12460.

Louza J, Hempel JM, Krause E, Berghaus A, Müller J, Braun T: Patient benefit from Cochlear implantation in single-sided deafness: a 1-year follow-up. *Eur Arch of otorhino-laryngology: official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS): affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery* 2017;274(6):2405-2409.  
DOI: 10.1007/s00405-017-4511-1.

Louza J, Klappert T, Ledderose G, Gürkov R, Krause E: Cochlear Implant Surgery and the Risk of Falls in an Adult Population. *Otology & Neurotology* 2018; 39(2): 74-79. DOI: 10.1097/MAO.0000000000001656.

Louza J, Rösel C, Gürkov R, Krause E, Ihler F: Influence of Cochlear Implantation on Postural Control and Risk of Falls. *Audiology and Neurotology* 2019; 24(5):245-252. DOI: 10.1159/000503165.

Mahafza MT, Wilson WJ, Brauer S, Timmer BHB, Hickson L: A Systematic Review of the Effect of Hearing Aids on Static and Dynamic Balance in Adults with Hearing Impairment. *Trends in Hearing. Sage Journals* 2022;26:1-15.  
DOI: 10.1177/23312165221121014.

McDaniel DM, Motts SD, Neeley RA: Effects of bilateral hearing aid use on balance in experienced adult hearing aid users. *American Journal of Audiology* 2018; 27(1):121-125. DOI: 10.1044/2017\_AJA-16-0071.

Mittmann M: Optimierung der Operationstechnik bei Cochlea-Implantat-Versorgung zur Verringerung von intracochleären Druckveränderungen. Dissertation, Medizinischen Fakultät Charité-Universitätsmedizin Berlin 2019.  
DOI: 10.17169/refubium-1834.

Müller J: Gestörtes Hören. Die apparative Versorgung der Schwerhörigkeit: Cochlea-Implantate und Hirnstammimplantate – Aktuelle Entwicklungen der letzten 10 Jahre. *Laryngo-Rhino-Otologie* 2005;84:60-73.  
DOI: 10.1055/s-2005-861152.

Müller J: Bilaterale Cochlea Implantatversorgung, *HNO* 2017-07,65(7):561-570.  
DOI: 10.1007/s00106-017-0370-8.

Negahban H, Ali MBC, Nassadj G: Effect of hearing aids on static balance function in elderly with hearing loss. *Gait & Posture* 2017;58:126-129.  
DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.07.112.

Niemensivu R, Manchaiah V, Roine RP, Kentala E, Sintonen H: Health-related quality of life in adults with hearing impairment before and after hearing-aid rehabilitation in Finland. *International journal of audiology* 2015;54(12):967-975.  
DOI: 10.3109/14992027.2015.1077400.

Ninomiya C, Hiraumi H, Yonemoto K, Sato H: Effect of hearing aids on body balance function in non-reverberant condition: A posturographic study. *PLOS One* 2021;16(10), e0258590. DOI: 10.1371/journal.pone.0258590.

Pfluger A: Einfluss der Cochlea-Implantat-Versorgung auf Sprachverständigen, Lebensqualität, Tinnitusbelastung und Komorbiditäten von Patienten mit bilateraler CI-Versorgung. Dissertation, Medizinische Fakultät Charité-Universitätsmedizin Berlin 2022. DOI: 10.17169/refubium-34332.

Probst R, Grevers G, Iro H: Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde. 3. Auflage; Thieme Verlag, Stuttgart 2008:147, 248.

Rader T, Haerterich M, Ernst BP, Stöver T, Strieth S: Lebensqualität und Schwindel bei bilateraler Cochleaimplantation. *HNO* 2018;66(3):219-228.  
DOI: 10.1007/s00106-017-0456-3.

Richter J: Cochlea-Implantat Versorgung bei älteren und hochaltrigen Patienten. Dissertation, Medizinische Fakultät Charité-Universitätsmedizin Berlin 2021.  
DOI: 10.17169/refubium-31945.

Rivas A, Marlowe AL, Chinnici JE, Niparko JK, Francis HW: Revision cochlear implantation surgery in adults: indications and results. *Otology & Neurotology* 2008;29:639-648. DOI: 10.1097/MAO.0b013e31817e5d31.

Rohloff K, Koopmann M, Wei D, Rudack C, Savvas E: Cochlear Implantation in the Elderly: Does Age Matter? *Otology & Neurotology* 2017;38(1):54-59.  
DOI: 10.1097/MAO.0000000000001262.

Rumalla K., Karim A. M., Hullar T. E. (2015). The effect of hearing aids on postural stability. *Laryngoscope* 2015;125(3):720-723. DOI: 10.1002/lary.24974.

Schumacher AL, Ledderose GJ: Facts HNO. 1. Auflage; Der Medizinverlag, Marburg 2010:71-73.

Schünke M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wesker K: Prometheus, LernAtlas der Anatomie. 6. Auflage; Thieme Verlag, Stuttgart 2022:154.

Schwab B, Durisin M, Kontorinis G: Investigation of balance function using dynamic posturography under electrical-acoustic stimulation in cochlear implant recipients. *International Journal of Otolaryngology* 2010.  
DOI: 10.1155/2010/978594.

Seiwerth I, Jonen J, Rahne T, Lauenroth A, Hullar TE, Plontke SK, Schwesig R: Posturale Regulation und Stabilität unter akustischem Input bei Normalhörenden. *HNO* 2020;68:344-351. DOI: 10.1007/s00106-020-00845-w.

Sladen DP, Peterson A, Schmitt M, Ol und A, Teece K, Dowling B, DeJong M, Breneman A, Beatty CW, Carlson ML, Neff BA, Hughes-Borst B, Driscoll CL. Health-related quality of life outcomes following adult cochlear implantation: A prospective cohort study. *Cochlear Implants International* 2017;18(3):130-135.  
DOI: 10.1080/14670100.2017.1293203.

Smulders YE, van Zon A, Stegeman I, Rinia AB, Van Zanten GA, Stokroos RJ, Hendrice N, Free RH, Maat B, Frijns JH, Briaire JJ, Mylanus EA, Huinck WJ, Smit AL, Topsakal V, Tange RA, Grolman W: Comparison of Bilateral and Unilateral

Cochlear Implantation in Adults: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Otolaryngology - Head and Neck Surgery* 2016;142(3):249-256.  
DOI: 10.1001/jamaoto.2015.3305.

Steenerson RL, Gaye WC, Gary LB: Vertigo after Cochlear Implantation. *Otology & Neurotology* 2001;22:842-843. DOI: 10.1097/00129492-200111000-00021.

Steffens M, Buchholz A, Lenarz T, Lesinski-Schiedat A: Langzeitliche Betrachtung des Versorgungsverlaufs von Cochlea Implantaten hinsichtlich Komplikationen und Tragedauern. *Laryngorhinootology* 2021;100(02):156.  
DOI: 10.1055/s-0041-1728068.

Stevens MN, Baudhuin JE, Hullar TE: Short-Term Risk of Falling after Cochlear Implantation. *Audiology and Neurotology* 2014;19(6):370-377.  
DOI: 10.1159/000363214.

Stevens MN, Barbour DL, Gronski MP, Hullar TE: Auditory contributions to maintaining balance. *J Vestib Res.* 2016;26:433-438. DOI: 10.3233/VES-160599.

Todt I, Basta D, Ernst A: Does the surgical approach in cochlear implantation influence the occurrence of postoperative vertigo? *Otolaryngology- Head and Neck Surgery* 2008;138:8-12. DOI: 10.1016/j.otohns.2007.09.003.

Todt I, Basta D, Eisenschenk A, Ernst A: The "pull-back" technique for Nucleus 24 perimodiolar electrode insertion. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery* 2005; 132(5):751- 754. DOI: 10.1016/j.otohns.2005.01.046.

Van Zon A, Smulders YE, Stegeman I, Ramakers GG, Kraaijenga VJ, Koenraads SP, Zanten GA, Rinia AB, Stokroos RJ, Free RH, Frijns JH, Huinck WJ, Mylanus EA, Tange RA, Smit AL, Thomeer HG, Topsakal V, Grolman W: Stable benefits of bilateral over unilateral cochlear implantation after two years: A randomized controlled trial. *Laryngoscope* 2017;127(5):1161-8. DOI: 10.1002/lary.26239.

Vierkant ML, Todt I, Mittmann P, Seidl R, Ernst A: Postoperative chirurgische Kontrolle von Schwindelbeschwerden nach Cochlear Implantversorgung. *GMS Current Posters Otorhinolaryngology - Head and Neck Surgery* 2017;13.  
DOI: 10.3205/cpo001646.

Vitkovic J, Le C, Lee SL, Clark RA: The contribution of hearing and hearing loss to balance control. *Audiology and Neurotology* 2016;21(4):195-202.  
DOI: 10.1159/000445100.

Weaver TS, Shayman CS, Hullar TE: The effect of hearing aids and cochlear implants on balance during gait. *Otology & Neurotology* 2017;38(9), 1327-1332.  
DOI: 10.1097/MAO.0000000000001551.

Welsch U, Kummer W, Deller T: Histologie Lehrbuch und Atlas. 6.Auflage; Elsevier Urban & Fischer München 2022:570-573.

Wiszomirska I, Zdrodowska A, Tacikowska G, Sosna M, Kaczmarczyk K, Skarżyński H: Does cochlear implantation influence postural stability in patients with hearing loss? *Gait Posture* 2019;74(12):40-44. DOI: 10.1016/gaitpost.2019.08.013.

Wolf BJ, Kusch K, Hunniford V, Vona B, Kühler R, Keppeler D, Strenzke N, Moser T. Is there an unmet medical need for improved hearing restoration? *EMBO Molecular Medicine* 2022;14(8):15798. DOI: 10.15252/emmm.202215798.

Wong D, Moran M, O'Leary SJ: Outcomes after cochlear implantation in the very elderly. *Otology & Neurotology* 2016;37(1),46-51.  
DOI: 10.1097/MAO.0000000000000920.

## Anhang Abbildungen

### **Abb. A. I: Fragebogen präoperativ**

## Fragebogen zu Schwindelsymptomen vor einer Cochlea Implantation



#### Bemerkungen:

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Datum

## Unterschrift

**Abb. A. II: Fragebogen zu Schwindelsymptomen nach CI**

Fragebogen zu Schwindelsymptomen nach der Cochlea Implantation

1) Haben Sie oder leiden Sie seit der Cochlea-Implantations-Operation unter einem Schwindel oder Gleichgewichtsstörungen?

- Ja  Nein (fertig mit dem Fragebogen)

2) Falls Sie bereits vor der CI-Operation Schwindel oder Gleichgewichtsstörungen hatten, haben sich diese verändert?

- Schwindel hat sich verstrkrt
  - Schwindel hat sich verringert
  - Schwindel ist gleich geblieben

3) Wann trat der Schwindel erstmalig nach der Operation auf (bzw. hat sich verstärkt)?

- direkt nach OP       am 1. Tag nach der OP  
 am 2. Tag nach der Operation       später

4) Welche Qualität hat der Schwindel bzw. die Gleichgewichtsstörung nach der Operation?

- Drehschwindel
  - Schwankschwindel
  - Liftgefühl
  - allgemeines Unsicherheitsgefühl

5) Handelt es sich um Dauer- oder Attackenschwindel?

- Dauerschwindel (weiter Frage 9)       Attackenschwindel

6) Wie lange hält der Attackenschwindel an?

- Sekunden       Minuten  
 Stunden       sehr unterschiedlich

7) Gibt es Auslöser für den Schwindel (z. B. Kopfbewegungen, Tätigkeiten, Lärm)?

- Ja       Nein

Wenn ja, welche: .....

8) Kündigt sich der Schwindel durch Vorboten (z. B. Ohrdruck, Pfeifen, Schmerzen) an?



Wenn ja, welche: .....

9) Welche Begleitsymptome treten auf?

- keine
  - Ohrgeräusche
  - Kopfschmerzen
  - Schwitzen
  - Hörminderung
  - Übelkeit, Erbrechen
  - Angst
  - Sonstige, nämlich.....

10) Wie stark leiden Sie unter dem Schwindel, der seit der Operation aufgetreten ist? (Bitte mit senkrechtem Strich markieren!)



gar nicht, harmlos

extrem, nicht auszuhalten

Bemerkungen: .....

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!

Datum: .....

Unterschrift: .....

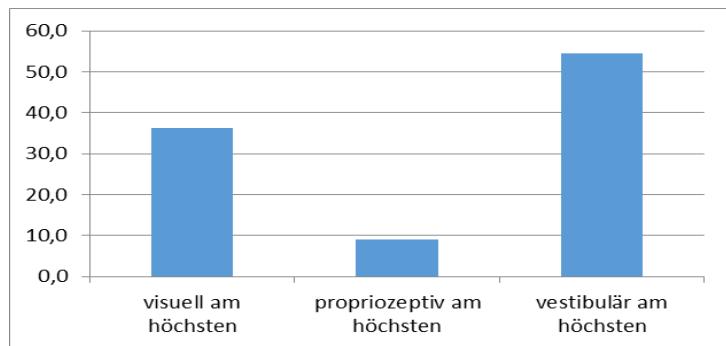
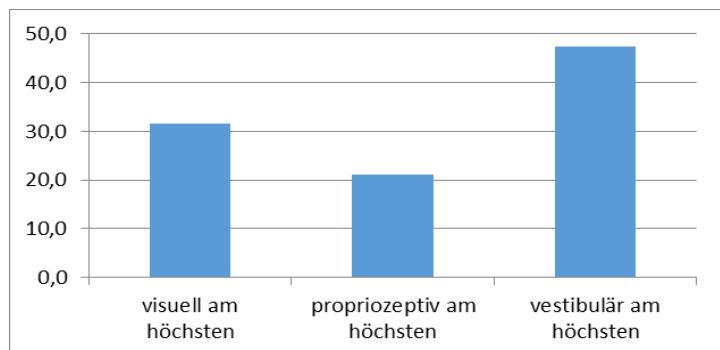
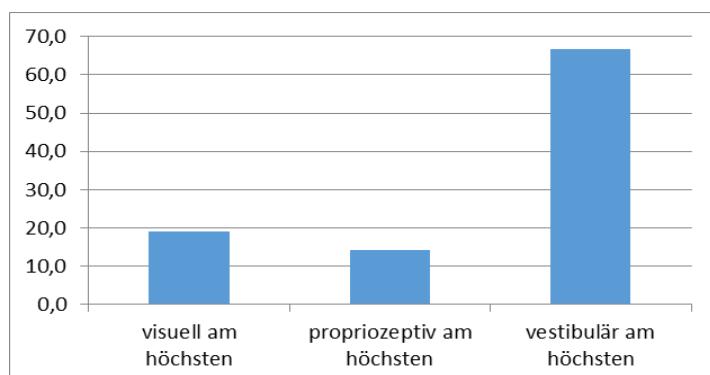
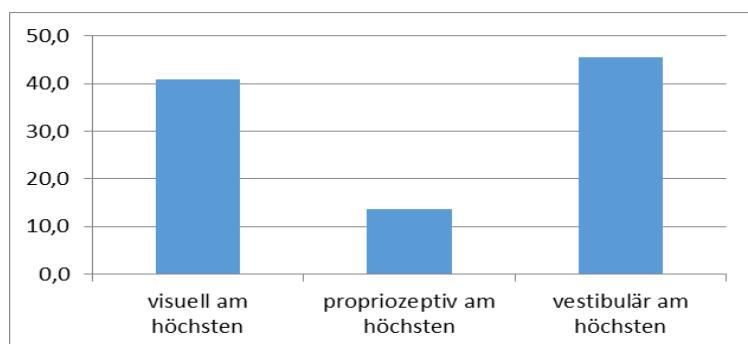
**Abb. A.III: DHI-Fragebogen****DHI-Fragebogen**

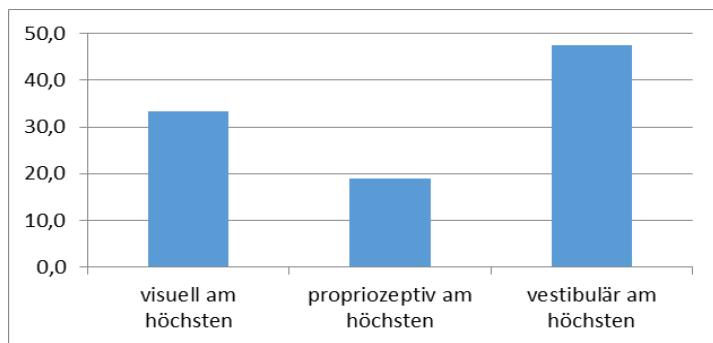
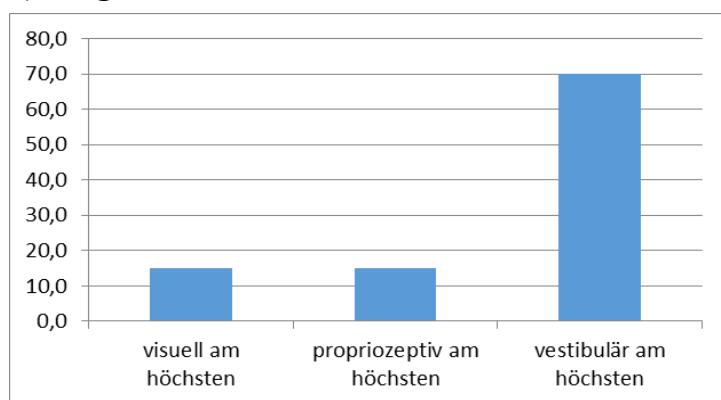
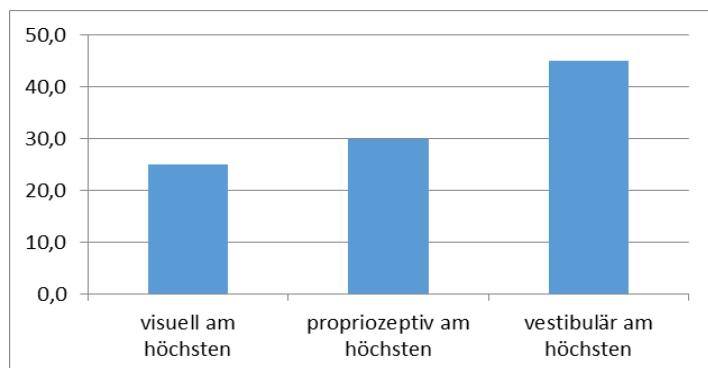
Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen zu Ihrem Schwindel:

		Ja (4)	Zeitweise (2)	Nein (0)
1	Haben Sie beim Nachobenschauen vermehrt Schwindelprobleme?			
2	Verstärken sich Ihre Beschwerden, wenn Sie auf einer unebenen Oberfläche laufen?			
3	Verstärken sich Ihre Beschwerden bei schnellen oder anspruchsvollen Bewegungen, wie z.B. beim Sport, Tanzen, Haushaltsarbeit?			
4	Verstärken schnelle Kopfbewegungen Ihre Schwindelbeschwerden?			
5	Haben Sie beim Drehen im Bett verstärkt Schwindelbeschwerden?			
6	Verstärken sich Ihre Schwindelbeschwerden beim Gehen auf Bürgersteigen an dicht befahrenen Straßen?			
7	Verstärken Nickbewegungen des Kopfes oder Überkopfarbeiten Ihre Beschwerden?			
8	Müssen Sie sich in Ihrem Berufsleben aufgrund Ihrer Schwindelbeschwerden einschränken?			
9	Haben Sie beim Lagewechsel (Aufstehen, Hinlegen) verstärkt Schwindelbeschwerden?			
10	Sind Sie aufgrund Ihrer Beschwerden im sozialen Leben eingeschränkt (Kinobesuch, Essen gehen, Tanzen gehen, Besuch von Festen)?			
11	Haben Sie beim Lesen verstärkt Probleme?			
12	Vermeiden Sie aufgrund Ihrer Beschwerden größere Höhen?			
13	Sind für Sie anstrengende Arbeiten (Haushalt oder Garten) schwer oder unmöglich?			
14	Ist es für Sie schwer, aufgrund Ihrer Beschwerden alleine außer Haus zu gehen?			
15	Ist es für Sie schwer, aufgrund Ihrer Schwindelbeschwerden im Dunkeln zu gehen?			
16	Haben Ihre Schwindelbeschwerden Einfluss auf Ihren Verantwortungsbereich im Beruf oder im Haushalt (Beschränkung auf bestimmte Tätigkeiten)?			
17	Fühlen Sie sich aufgrund Ihrer Beschwerden frustriert?			
18	Haben Sie Angst ohne Begleitung das Haus zu verlassen?			
19	Ist es Ihnen peinlich, wenn andere Personen Ihre Schwindelbeschwerden bzw. Unsicherheit bemerken?			
20	Haben Sie Angst davor, jemand könnte Sie für betrunken halten, wenn er Ihre Unsicherheit oder Ihr Schwanken beobachtet?			
21	Haben Sie aufgrund Ihrer Schwindelbeschwerden Konzentrationsstörungen?			
22	Haben Sie Angst, wegen Ihrer Beschwerden immer allein zu Hause sein zu müssen?			
23	Fühlen Sie sich behindert aufgrund Ihrer Schwindelbeschwerden?			
24	Haben Sie wegen Ihrer Beschwerden mit ihrem Partner oder der Familie bzw. Freunden schon Ärger gehabt?			
25	Fühlen Sie sich aufgrund Ihrer Beschwerden depressiv?			
	Teilergebnis:			
	Gesamtergebnis:			

	Fragegruppe Körper
	Fragegruppe Funktion
	Fragegruppe Emotion

**Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!**

**Abb. A. IV: Vergleich der 3 Komponenten (visuell, propriozeptiv, vestibulär)****1) Vergleich für „CI Ein Anfangswert“****2) Vergleich für „CI Aus“****3) Vergleich für „CI Ein Anfangskontrollwert“****4) Vergleich für „weißes Rauschen“**

**5) Vergleich für „Sprachtext“****6) Vergleich für „Musik“****7) Vergleich für „CI Ein Abschlusskontrollwert“**

## Anhang Tabellen

**Tabelle A.I: Statistik bei gepaarten Stichproben - Vergleich „CI Aus“ mit unterschiedlichen „CI Ein“-Werten ohne akustische Reize**

Statistik bei gepaarten Stichproben					
		Mittelwert	N	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Vergleich 1	"CI Aus" -	45,485	33	13,146	2,288
	"CI Ein Anfangswert"	44,636	33	13,000	2,263
Vergleich 2	"CI Aus" -	45,750	32	13,266	2,345
	"CI Ein Anfangskontrollwert"	43,250	32	10,182	1,800
Vergleich 3	"CI Aus" -	45,167	30	13,105	2,393
	"CI Ein Abschlusskontrollwert"	42,100	30	9,557	1,745

**Tabelle A.II: Statistik bei gepaarten Stichproben - Vergleich unterschiedlicher akustischer Reize**

Statistik bei gepaarten Stichproben					
		Mittelwert	N	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Vergleich 4	"weißes Rauschen"	43,667	33	10,325	1,797
	"Sprachtext"	42,364	33	9,360	1,629
Vergleich 5	"weißes Rauschen"	43,667	33	10,325	1,797
	"Musik"	42,030	33	10,255	1,785
Vergleich 6	"Sprachtext"	42,364	33	9,360	1,629
	"Musik"	42,030	33	10,255	1,785

**Tabelle A.III: Statistik bei gepaarten Stichproben - Vergleich „CI Ein Anfangskontrollwert“ mit unterschiedlichen akustischen Reizen**

Statistik bei gepaarten Stichproben					
		Mittelwert	N	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Vergleich 7	"CI Ein Anfangskontrollwert"-	43,250	32	10,182	1,800
	"weißes Rauschen"	43,781	32	10,469	1,851
Vergleich 8	"CI Ein Anfangskontrollwert"-	43,250	32	10,182	1,800
	"Sprachtext"	42,438	32	9,500	1,679
Vergleich 9	"CI Ein Anfangskontrollwert"-	43,250	32	10,182	1,800
	"Musik"	42,031	32	10,419	1,842

**Tabelle A.IV: t-Test zu gepaarten Differenzen bei unterschiedlichen CI-Werten ohne und mit akustischen Reizen**

Test bei gepaarten Stichproben						
	Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Gepaarte Differenzen		
				95 % - Konfidenzintervall		Signifikanztest (2-seitig)
Vergleich 1	"CI Aus" - "CI Ein Anfangswert"	0,848	4,3238	0,753	-0,685	2,382
Vergleich 2	"CI Aus" - "CI Ein Anfangskontrollwert"	2,500	5,9460	1,051	0,356	4,644
Vergleich 3	"CI Aus" - "CI Ein Abschlusskontrollwert"	3,067	7,3763	1,347	0,312	5,821

Test bei gepaarten Stichproben						
	Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Gepaarte Differenzen		
				95 % - Konfidenzintervall		Signifikanztest (2-seitig)
Vergleich 4	"weißes Rauschen" - "Sprachtext"	1,303	4,149	0,722	-0,168	2,774
Vergleich 5	"weißes Rauschen" - "Musik"	1,636	5,533	0,963	-0,326	3,598
Vergleich 6	" Sprachtext" - "Musik"	0,333	3,007	0,523	-0,733	1,400

Test bei gepaarten Stichproben						
	Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Gepaarte Differenzen		
				95 % - Konfidenzintervall		Signifikanztest (2-seitig)
Vergleich 7	"CI Ein Anfangskontrollwert" - "weißes Rauschen"	-,531	3,529	,624	-1,803	,741
Vergleich 8	"CI Ein Anfangskontrollwert" - "Sprachtext"	,813	4,336	,767	-,751	2,376
Vergleich 9	"CI Ein Anfangskontrollwert" - "Musik"	1,219	4,871	,861	-,537	2,975

**Tabelle A.V: Statistik bei gepaarten Stichproben zur Verlaufsentwicklung des Sturzrisikos**

Statistik bei gepaarten Stichproben					
		Mittelwert	N	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Vergleich 10	"prä OP"-	46,576	33	15,279	2,660
	"Aktuell" (CI Ein Anfangskontrollwert)	42,939	33	10,179	1,772
Vergleich 11	"post OP"-	48,548	31	14,459	2,597
	"Aktuell" (CI Ein Anfangskontrollwert)	42,419	31	9,309	1,672
Vergleich 12	"6 Wochen post OP"-	42,600	20	11,949	2,672
	"Aktuell" (CI Ein Anfangskontrollwert)	41,750	20	10,452	2,337

**Tabelle A.VI: t-Test zu gepaarten Differenzen - Verlaufsentwicklung des Sturzrisikos**

Test bei gepaarten Stichproben									
		Gepaarte Differenzen					T	df	Signifikanztest (2-seitig)
		Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95 % - Konfidenzintervall				
Vergleich 10	"prä OP" - "Aktuell" (CI Ein Anfangskontrollwert)	3,636	10,574	1,841	-,113	7,386	1,976	32	,057
Vergleich 11	"post OP" - "Aktuell" (CI Ein Anfangskontrollwert)	6,129	10,692	1,920	2,207	10,051	3,192	31	,003
Vergleich 12	"6 Wochen post OP" - "Aktuell" (CI Ein Anfangskontrollwert)	,850	7,322	1,637	-2,577	4,277	,519	19	,610

**Tabelle A.VII: t-Test zu gepaarten Differenzen - geschlechtsspezifische Verlaufsentwicklung des Sturzrisikos**

		Gepaarte Differenzen							T	df	Signifikanz (2-seitig)			
		Mittelwert	Standard- abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95 % - Konfidenzintervall		Untere Grenze	Obere Grenze						
					Untere	Grenze								
<b>Geschlecht1m0w</b>														
weiblich	Vergleich W1	"prä OP" - "Aktuell" (CI Ein Anfangskontrollwert)	4,706	11,357	2,754	-1,133	10,545	1,709	16	,107				
	Vergleich W2	"post OP" - "Aktuell" (CI Ein Anfangskontrollwert)	6,750	12,179	3,045	,260	13,240	2,217	15	,043				
	Vergleich W3	"6 Wochen post OP" - "Aktuell" (CI Ein Anfangskontrollwert)	,875	8,758	3,096	-6,447	8,197	,283	7	,786				
männlich	Vergleich M1	"prä OP" - "Aktuell" (CI Ein Anfangskontrollwert)	2,500	9,913	2,478	-2,782	7,782	1,009	15	,329				
	Vergleich M2	"post OP" - "Aktuell" (CI Ein Anfangskontrollwert)	5,467	9,226	2,382	,357	10,576	2,295	14	,038				
	Vergleich M3	"6 Wochen post OP" - "Aktuell" (CI Ein Anfangskontrollwert)	,833	6,617	1,910	-3,371	5,038	,436	11	,671				

**Tabelle A.VIII: Statistik bei gepaarten Stichproben - Vergleich der visuellen Komponente**

Statistik bei gepaarten Stichproben		Mittelwert	N	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Vergleich 1	"CI Aus visuell"	17,174	23	34,101	7,111
	"CI Ein Anfangswert visuell"	23,348	23	32,588	6,795
Vergleich 2	"CI Aus visuell"	14,318	22	31,965	6,815
	"CI Ein Anfangskontrollwert visuell"	9,682	22	28,133	5,998
Vergleich 3	"CI Ein Anfangskontrollwert visuell"	9,150	20	27,511	6,152
	"CI Ein Abschlusskontrollwert	17,050	20	40,645	9,089
Vergleich 4	"weißes Rauschen visuell"	25,864	22	61,617	13,137
	"Sprachtext visuell"	20,909	22	44,378	9,461
Vergleich 5	"weißes Rauschen visuell"	27,273	22	60,940	12,993
	"Musik visuell"	7,318	22	32,164	6,857
Vergleich 6	"Sprachtext visuell"	22,762	21	44,594	9,731
	"Musik visuell"	7,667	21	32,916	7,183
Vergleich 7	"CI Ein Anfangskontrollwert visuell"	9,682	22	28,133	5,998
	"weißes Rauschen visuell"	21,864	22	59,250	12,632
Vergleich 8	"CI Ein Anfangskontrollwert visuell"	7,857	21	27,461	5,993
	"Sprachtext visuell"	17,381	21	42,194	9,208
Vergleich 9	"CI Ein Anfangskontrollwert visuell"	11,000	21	28,123	6,137
	"Musik visuell"	3,952	21	28,715	6,266

**Tabelle A.IX: t-Test zu gepaarten Differenzen - visuelle Komponente**

	Test bei gepaerten Stichproben	Gepaarte Differenzen						T	df	Signifikanztest (2-seitig)
		Mittelwert	Standard- abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Untere Grenze	Obere Grenze	95 % - Konfidenzintervall			
Vergleich 1	"CI Aus visuell" - "CI Ein Anfangswert visuell"	6,1739	29,6949	6,1918	-6,667	19,015	,997	22	,330	
Vergleich 2	"CI Aus visuell" - "CI Ein Anfangskontrollwert visuell"	4,636	29,198	6,2251	-8,309	17,582	,745	21	,465	
Vergleich 3	"CI Ein Anfangskontrollwert visuell" - "CI Ein Abschlusskontrollwert	-7,900	41,338	9,2435	-27,247	11,447	-,855	19	,403	
Vergleich 4	"weißes Rauschen visuell" - "Sprachtext visuell"	4,955	56,459	12,0372	-20,078	29,987	,412	21	,685	
Vergleich 5	"weißes Rauschen visuell" - "Musik visuell"	19,955	52,770	11,2507	-3,443	43,352	1,774	21	,091	
Vergleich 6	"Sprachtext visuell" - "Musik visuell"	15,095	27,479	5,9964	2,587	27,603	2,517	20	,020	
Vergleich 7	"CI Ein Anfangskontrollwert visuell" - "weißes Rauschen visuell"	-12,182	59,741	12,7369	-38,670	14,306	-,956	21	,350	
Vergleich 8	"CI Ein Anfangskontrollwert visuell" - "Sprachtext visuell"	-9,524	36,293	7,9197	-26,044	6,996	-1,203	20	,243	
Vergleich 9	"CI Ein Anfangskontrollwert visuell" - "Musik visuell"	7,048	24,561	5,3597	-4,132	18,228	1,315	20	,203	

**Tabelle A.X: Deskriptive Statistik - visuelle Komponente**

Deskriptive Statistik				Deskriptive Statistik			
		Statistik	Standardfehler			Statistik	Standardfehler
"CI Ein Anfangswert visuell"	Mittelwert	21,200	6,912	"Sprachtext visuell"	Mittelwert	19,150	9,500
	95% Konfidenz-Untergrenze intervall	6,733			95% Konfidenz-Untergrenze intervall	-,733	
	Obergrenze	35,667			Obergrenze	39,033	
	5% getrimmtes Mittel	21,278			5% getrimmtes Mittel	14,278	
	Median	19			Median	12,500	
	Varianz	955,537			Varianz	1804,871	
	Standardabweichung	30,912			Standardabweichung	42,4838	
	Minimum	-33			Minimum	-34	
	Maximum	74			Maximum	160	
	Spannweite	107			Spannweite	194	
	Interquartilbereich	45,3			Interquartilbereich	37,8	
	Schiefe	,233	,512		Schiefe	2,025	,512
	Kurtosis	-,856	,992		Kurtosis	5,757	,992
"CI Aus visuell"	Mittelwert	14,300	7,264	"Musik visuell"	Mittelwert	4,150	6,584
	95% Konfidenz-Untergrenze intervall	-,904			95% Konfidenz-Untergrenze intervall	-9,631	
	Obergrenze	29,504			Obergrenze	17,931	
	5% getrimmtes Mittel	11,944			5% getrimmtes Mittel	1,778	
	Median	12,000			Median	1	
	Varianz	1055,379			Varianz	867,082	
	Standardabweichung	32,4866			Standardabweichung	29,4462	
	Minimum	-32			Minimum	-44	
	Maximum	103			Maximum	95	
	Spannweite	135			Spannweite	139	
	Interquartilbereich	35			Interquartilbereich	31	
	Schiefe	1,223	,512		Schiefe	1,464	,512
	Kurtosis	2,131	,992		Kurtosis	4,010	,992
"CI Ein Anfangs- kontrollwert visuell"	Mittelwert	9,150	6,152	"CI Ein Abschluss- kontrollwert visuell"	Mittelwert	17,050	9,089
	95% Konfidenz-Untergrenze intervall	-3,726			95% Konfidenz-Untergrenze intervall	-1,973	
	Obergrenze	22,026			Obergrenze	36,073	
	5% getrimmtes Mittel	6,944			5% getrimmtes Mittel	11,056	
	Median	,500			Median	11	
	Varianz	756,871			Varianz	1652,050	
	Standardabweichung	27,511			Standardabweichung	40,6454	
	Minimum	-26,0			Minimum	-24	
	Maximum	84,0			Maximum	166	
	Spannweite	110,0			Spannweite	190	
	Interquartilbereich	32,0			Interquartilbereich	40,5	
	Schiefe	1,344	,512		Schiefe	2,744	,512
	Kurtosis	1,835	,992		Kurtosis	9,698	,992
"weißes Rauschen visuell"	Mittelwert	24,200	13,769				
	95% Konfidenz-Untergrenze intervall	-4,618					
	Obergrenze	53,018					
	5% getrimmtes Mittel	14,278					
	Median	20,500					
	Varianz	3791,537					
	Standardabweichung	61,575					
	Minimum	-36					
	Maximum	263					
	Spannweite	299					
	Interquartilbereich	43,8					
	Schiefe	3,259	,512				
	Kurtosis	12,973	,992				

**Tabelle A.XI: Statistik bei gepaarten Stichproben - Vergleich der propriozeptiven Komponente**

Statistik bei gepaarten Stichproben		Mittelwert	N	Standard-abweichung	Standard-fehler des Mittelwertes
Vergleich 1	"CI Aus propriozeptiv"	9,214	28	28,269	5,342
	"CI Ein Anfangswert propriozeptiv"	7,429	28	28,570	5,399
Vergleich 2	"CI Aus propriozeptiv"	8,037	27	28,099	5,408
	"CI Ein Anfangskontrollwert propriozeptiv"	-6,074	27	21,759	4,188
Vergleich 3	"CI Ein Anfangskontrollwert propriozeptiv"	-4,615	26	21,049	4,128
	"CI Ein Abschlusskontrollwert	15,385	26	72,705	14,259
Vergleich 4	"weißes Rauschen propriozeptiv"	5,167	30	28,794	5,257
	"Sprachtext propriozeptiv"	1,867	30	25,123	4,587
Vergleich 5	"weißes Rauschen propriozeptiv"	4,379	29	28,973	5,380
	"Musik propriozeptiv"	-3,793	29	23,984	4,454
Vergleich 6	"Sprachtext propriozeptiv"	1,448	29	25,461	4,728
	"Musik propriozeptiv"	-3,793	29	23,984	4,454
Vergleich 7	"CI Ein Anfangskontrollwert propriozeptiv"	-3,172	29	23,863	4,431
	"weißes Rauschen propriozeptiv"	4,448	29	29,029	5,391
Vergleich 8	"CI Ein Anfangskontrollwert propriozeptiv"	-3,172	29	23,863	4,431
	"Sprachtext propriozeptiv"	,793	29	24,857	4,616
Vergleich 9	"CI Ein Anfangskontrollwert propriozeptiv"	-4,036	28	23,835	4,504
	"Musik propriozeptiv"	-6,464	28	19,544	3,693

**Tabelle A.XII: t-Test zu gepaarten Differenzen - propriozeptive Komponente**

	Gepaarte Differenzen							Signifikanztest (2-seitig)
	Mittelwert	Standard- abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	Untere Grenze	Obere Grenze	T	df	
Vergleich 1 "CI Aus propriozeptiv" - "CI Ein Anfangswert propriozeptiv"	-1,786	21,421	4,048	-10,092	6,520	,441	27	,663
Vergleich 2 "CI Aus propriozeptiv" - "CI Ein Anfangskontrollwert propriozeptiv"	14,111	22,633	4,356	5,158	23,064	3,240	26	,003
Vergleich 3 "CI Ein Anfangskontrollwert propriozeptiv" - "CI Ein Abschlusskontrollwert	-20,000	78,999	15,493	-51,908	11,908	-1,291	25	,209
Vergleich 4 "weißes Rauschen propriozeptiv" - "Sprachtext propriozeptiv"	3,300	31,357	5,725	-8,409	15,009	,576	29	,569
Vergleich 5 "weißes Rauschen propriozeptiv" - "Musik propriozeptiv"	8,172	31,062	5,768	-3,643	19,988	1,417	28	,168
Vergleich 6 "Sprachtext propriozeptiv" - "Musik propriozeptiv"	5,241	24,034	4,463	-3,901	14,383	1,174	28	,250
Vergleich 7 "CI Ein Anfangskontrollwert propriozeptiv" - "weißes Rauschen propriozeptiv"	-7,621	30,203	5,609	-19,109	3,868	-1,359	28	,185
Vergleich 8 "CI Ein Anfangskontrollwert propriozeptiv" - "Sprachtext propriozeptiv"	-3,966	21,825	4,053	-12,267	4,336	,978	28	,336
Vergleich 9 "CI Ein Anfangskontrollwert propriozeptiv" - "Musik propriozeptiv"	2,429	17,566	3,320	-4,383	9,240	,732	27	,471

**Tabelle A.XIII: Deskriptive Statistik - propriozeptive Komponente**

Deskriptive Statistik				Deskriptive Statistik			
		Statistik	Standardfehler			Statistik	Standardfehler
"CI Ein Anfangswert propriozeptiv"	Mittelwert	9	5,7233	"Sprachtext propriozeptiv"	Mittelwert	-2,040	4,384
	95% Konfidenz-intervall	Untergrenze	-2,812		95% Konfidenz-intervall	-11,089	
		Obergrenze	20,812			7,009	
	5% getrimmtes Mittel	8,467			5% getrimmtes Mittel	-1,889	
	Median	0			Median	-4	
	Varianz	818,917			Varianz	480,540	
	Standardabweichung	28,617			Standardabweichung	21,9212	
	Minimum	-34			Minimum	-44	
	Maximum	61			Maximum	37	
	Spannweite	95			Spannweite	81	
	Interquartilbereich	39,5			Interquartilbereich	35	
	Schiefe	,555	,464		Schiefe	-,068	,464
	Kurtosis	-,788	,902		Kurtosis	-,632	,902
	"CI Aus propriozeptiv"	Mittelwert	8	5,540	"Musik	Mittelwert	
"CI Aus propriozeptiv"	95% Konfidenz-intervall	Untergrenze	-3,434	95% Konfidenz-intervall	-16,175	3,2244	
		Obergrenze	19,434		7,2865		
	5% getrimmtes Mittel	6,467		5% getrimmtes Mittel	-9,344		
	Median	11		Median	-8,000		
	Varianz	767,333		Varianz	259,927		
	Standardabweichung	27,7008		Standardabweichung	16,1222		
	Minimum	-40		Minimum	-41		
	Maximum	90		Maximum	19		
	Spannweite	130		Spannweite	60		
	Interquartilbereich	39		Interquartilbereich	23		
	Schiefe	,812	,464	Schiefe	-,243	,464	
	Kurtosis	1,902	,902	Kurtosis	-,514	,902	
	"CI Ein Anfangs-kontrollwert propriozeptiv"	Mittelwert	-5,720	4,140	"CI Ein Abschluss-kontrolle propriozeptiv"	Mittelwert	
	95% Konfidenz-intervall	Untergrenze	-14,264	95% Konfidenz-intervall	-15,731	14,8315	
"weißes Rauschen propriozeptiv"		Obergrenze	2,824		7,45491		
	5% getrimmtes Mittel	-6,211		5% getrimmtes Mittel	2,011		
	Median	-8		Median	-4		
	Varianz	428,460		Varianz	5499,360		
	Standardabweichung	20,6993		Standardabweichung	74,1577		
	Minimum	-37		Minimum	-35		
	Maximum	35		Maximum	351		
	Spannweite	72		Spannweite	386		
	Interquartilbereich	30		Interquartilbereich	31		
	Schiefe	,241	,464	Schiefe	4,187	,464	
	Kurtosis	-,811	,902	Kurtosis	19,227	,902	
	"weißes Rauschen propriozeptiv"	Mittelwert	3,800	5,887			
	95% Konfidenz-intervall	Untergrenze	-8,351				
		Obergrenze	15,951				

**Tabelle A.XIV: Statistik bei gepaarten Stichproben - Vergleich der vestibulären Komponente**

Statistik bei gepaarten Stichproben		Mittelwert	N	Standard-abweichung	Standard-fehler des Mittelwertes
Vergleich 1	"CI Aus vestibulär"	21,52	33	32,767	5,704
	"CI Ein Anfangswert vestibulär"	30,36	33	32,835	5,716
Vergleich 2	"CI Aus vestibulär"	21,63	32	33,285	5,884
	"CI Ein Anfangskontrollwert vestibulär"	22,81	32	29,480	5,211
Vergleich 3	"CI Ein Anfangskontrollwert vestibulär"	25,52	29	28,346	5,264
	"CI Ein Abschlusskontrollwert	23,76	29	31,749	5,896
Vergleich 4	"weißes Rauschen vestibulär"	30,88	33	40,904	7,120
	"Sprachtext vestibulär"	34,12	33	83,549	14,544
Vergleich 5	"weißes Rauschen vestibulär"	31,91	32	41,123	7,270
	"Musik vestibuär"	28,22	32	37,967	6,712
Vergleich 6	"Sprachtext vestibulär"	35,88	32	84,266	14,896
	"Musik vestibuär."	28,22	32	37,967	6,712
Vergleich 7	"CI Ein Anfangskontrollwert vestibulär"	22,81	32	29,480	5,211
	"weißes Rauschen vestibulär"	29,63	32	40,909	7,232
Vergleich 8	"CI Ein Anfangskontrollwert vestibulär"	22,81	32	29,480	5,211
	"Sprachtext vestibulär"	34,44	32	84,866	15,002
Vergleich 9	"CI Ein Anfangskontrollwert vestibulär"	23,61	31	29,612	5,318
	"Musik vestibuär."	27,45	31	38,341	6,886

**Tabelle A.XV: t-Test zu gepaarten Differenzen - vestibuläre Komponente**

		Gepaarte Differenzen						Signifikanztest (2-seitig)	
		Mittelwert	Standard- abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95 % - Konfidenzintervall		T	df	
					Untere Grenze	Obere Grenze			
Vergleich 1	CI Aus vestibulär - CI Ein Anfangswert vestibulär	8,848	33,466	5,826	-3,018	20,715	1,519	32	,139
Vergleich 2	CI Aus vestibulär - CI Ein Anfangskontrollwert vestibulär	-1,188	30,802	5,445	-12,293	9,918	-,218	31	,829
Vergleich 3	CI Ein Anfangskontrollwert vestibulär - CI Ein Abschlusskontrollwert	1,759	32,192	5,978	-10,487	14,004	,294	28	,771
Vergleich 4	CI Ein Anfangskontrollwert vestibulär - - "weißes Rauschen" vestibulär	-6,813	32,242	5,700	-18,437	4,812	-,195	31	,241
Vergleich 5	CI Ein Anfangskontrollwert vestibulär - - "weißes Rauschen" vestibulär	-11,625	82,007	14,497	-41,192	17,942	-,802	31	,429
Vergleich 6	CI Ein Anfangskontrollwert vestibulär - "Musik" vestibulär	-3,839	32,299	5,801	-15,686	8,009	,662	30	,513
Vergleich 7	"weißes Rauschen" vestibulär - "Sprachtext" vestibulär	-3,242	72,796	12,672	-29,055	22,570	-,256	32	,800
Vergleich 8	"weißes Rauschen" vestibulär - "Musik" vestibulär	3,688	30,230	5,344	-7,211	14,586	,690	31	,495
Vergleich 9	"Sprachtext" vestibulär - "Musik" vestibulär	7,656	70,962	12,544	-17,928	33,241	,610	31	,546

**Tabelle A.XVI: Deskriptive Statistik - vestibuläre Komponente**

Deskriptive Statistik			
		Statistik	Standardfehler
"CI Ein Anfangswert vestibulär"	Mittelwert	35,655	5,589
	95% Konfidenzintervall	Untergrenze	24,206
	Obergrenze	47,104	
	5% getrimmtes Mittel	36,207	
	Median	38	
	Varianz	905,948	
	Standardabweichung	30,099	
	Minimum	-36	
	Maximum	89	
	Spannweite	125	
	Interquartilbereich	44	
	Schiefe	-0,047	,434
	Kurtosis	-0,080	,845
"CI Aus vestibulär"	Mittelwert	23,552	6,300
	95% Konfidenzintervall	Untergrenze	10,648
	Obergrenze	36,456	
	5% getrimmtes Mittel	22,360	
	Median	20	
	Varianz	1150,828	
	Standardabweichung	33,924	
	Minimum	-35	
	Maximum	102	
	Spannweite	137	
	Interquartilbereich	31,500	
	Schiefe	0,834	,434
	Kurtosis	0,278	,845
"CI Ein Anfangs-kontrollwert vestibulär"	Mittelwert	25,517	5,264
	95% Konfidenzintervall	Untergrenze	14,735
	Obergrenze	36,299	
	5% getrimmtes Mittel	24,910	
	Median	21	
	Varianz	803,473	
	Standardabweichung	28,346	
	Minimum	-28	
	Maximum	94	
	Spannweite	122	
	Interquartilbereich	39,500	
	Schiefe	0,366	,434
	Kurtosis	0,072	,845
"weißes Rauschen" vestibulär	Mittelwert	33,069	7,565
	95% Konfidenzintervall	Untergrenze	17,573
	Obergrenze	48,564	
	5% getrimmtes Mittel	30,192	
	Median	19	
	Varianz	1659,495	
	Standardabweichung	40,737	
	Minimum	-17	
	Maximum	143	
	Spannweite	160	
	Interquartilbereich	44,000	
	Schiefe	1,186	,434
	Kurtosis	0,680	,845

Deskriptive Statistik			
		Statistik	Standardfehler
"Sprachtext vestibulär"	Mittelwert	36,52	16,353
	95% Konfidenzintervall	Untergrenze	3,02
	Obergrenze	70,01	
	5% getrimmtes Mittel	22,22	
	Median	16,00	
	Varianz	7754,901	
	Standardabweichung	88,062	
	Minimum	-24	
	Maximum	464	
	Spannweite	488	
	Interquartilbereich	36	
	Schiefe	4,370	,434
	Kurtosis	21,296	,845
"Musik vestibulär"	Mittelwert	28,34	7,182
	95% Konfidenzintervall	Untergrenze	13,63
	Obergrenze	43,06	
	5% getrimmtes Mittel	25,53	
	Median	10	
	Varianz	1495,805	
	Standardabweichung	38,676	
	Minimum	-20	
	Maximum	132	
	Spannweite	152	
	Interquartilbereich	59	
	Schiefe	1,061	,434
	Kurtosis	,436	,845
"CI Ein Abschluss-kontrollwert vestibulär"	Mittelwert	23,76	5,896
	95% Konfidenzintervall	Untergrenze	11,68
	Obergrenze	35,84	
	5% getrimmtes Mittel	22,73	
	Median	24	
	Varianz	1007,975	
	Standardabweichung	31,749	
	Minimum	-38	
	Maximum	105	
	Spannweite	143	
	Interquartilbereich	28	
	Schiefe	,622	,434
	Kurtosis	1,095	,845

**Tabelle A.XVII: Statistik bei gepaarten Stichproben - Oberkörperschwankungen seitwärts**

Statistik bei gepaerten Stichproben		Mittelwert	N	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Vergleich 1	"CI Aus Schwankung seitwärts"-	1,040	32	,751	0,133
	"CI Ein Anfangswert Schwankung seitwärts"	,964	32	,568	0,100
Vergleich 2	"CI Aus Schwankung seitwärts"-	1,057	31	,757	0,136
	"CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung seitwärts"	,931	31	,617	0,111
Vergleich 3	"CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung seitwärts" -	,935	29	,628	0,117
	"CI Ein Abschlusskontrollwert Schwankung	,950	29	,774	0,144
Vergleich 4	"weißes Rauschen Schwankung seitwärts"-	1,047	32	,830	0,147
	"Sprachtext Schwankung seitwärts "	,896	32	,518	0,092
Vergleich 5	"weißes Rauschen Schwankung seitwärts"-	1,047	32	,830	0,147
	"Musik Schwankung seitwärts"	,832	32	,553	0,098
Vergleich 6	"Sprachtext Schwankung seitwärts"-	,896	32	,518	0,092
	"Musik Schwankung seitwärts"	,832	32	,553	0,098
Vergleich 7	"CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung seitwärts"-	,931	31	,617	0,111
	"weißes Rauschen Schwankung seitwärts"	1,062	31	,840	0,151
Vergleich 8	"CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung seitwärts"-	,931	31	,617	0,111
	"Sprachtext Schwankung seitwärts"	,904	31	,525	0,094
Vergleich 9	"CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung seitwärts"-	,931	31	,617	0,111
	"Musik Schwankung seitwärts"	,833	31	,563	0,101

**Tabelle A.XVIII: t-Test zu gepaarten Differenzen - Oberkörperschwan-kungen seitwärts**

	Test bei gepaerten Stichproben						Gepaarte Differenzen			
	Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95 % - Konfidenzintervall		T	df	Signifikanztest (2-seitig)		
				Untere Grenze	Obere Grenze					
Vergleich 1 "CI Aus Schwankung seitwärts"- "CI Ein Anfangswert Schwankung seitwärts"	-,076	,414	,073	-,225	,073	-1,04	31	,307		
Vergleich 2 "CI Aus Schwankung seitwärts"- "CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung seitwärts"	,125	,317	,057	,009	,242	2,20	30	,035		
Vergleich 3 "CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung seitwärts" - "CI Ein Abschlusskontrollwert Schwankung	-,016	,758	,141	-,304	,273	-0,11	28	,913		
Vergleich 4 "weißes Rauschen Schwankung seitwärts" - "Sprachtext Schwankung seitwärts"	,151	,613	,108	-,070	,372	1,39	31	,173		
Vergleich 5 "weißes Rauschen Schwankung seitwärts" - "Musik Schwankung seitwärts"	,215	,605	,107	-,003	,433	2,01	31	,053		
Vergleich 6 "Sprachtext Schwankung seitwärts" - "Musik Schwankung seitwärts"	,064	,212	,037	-,012	,140	1,71	31	,097		
Vergleich 7 "CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung seitwärts" - "weißes Rauschen Schwankung seitwärts"	-,130	,601	,108	-,351	,090	-1,21	30	,237		
Vergleich 8 "CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung seitwärts" - "Sprachtext Schwankung seitwärts"	,028	,274	,049	-,073	,128	0,56	30	,577		
Vergleich 9 "CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung seitwärts" - "Musik Schwankung seitwärts"	,099	,237	,043	,0117	,186	2,32	30	,027		

**Tabelle A.XIX: Deskriptive Statistik - Oberkörperschwankungen seitwärts und „VUZ“**

Oberkörperschwankung seitwärts		
„CI Ein Anfangswert“	Mittelwert	0,972
	Standardabweichung	0,588
„CI Aus“	Mittelwert	1,059
	Standardabweichung	0,779
„CI Ein Anfangskontrollwert“	Mittelwert	0,935
	Standardabweichung	0,628
„weißes Rauschen“	Mittelwert	1,074
	Standardabweichung	0,860
„Sprachtext“	Mittelwert	0,890
	Standardabweichung	0,535
„Musik“	Mittelwert	0,824
	Standardabweichung	0,576
„CI Ein Abschlusskontrollwert“	Mittelwert	0,950
	Standardabweichung	0,774

Oberkörperschwankung „VUZ“		
„CI Ein Anfangswert“	Mittelwert	0,586
	Standardabweichung	0,274
„CI Aus“	Mittelwert	0,574
	Standardabweichung	0,305
„CI Ein Anfangskontrollwert“	Mittelwert	0,572
	Standardabweichung	0,290
„weißes Rauschen“	Mittelwert	0,574
	Standardabweichung	0,542
„Sprachtext“	Mittelwert	0,457
	Standardabweichung	0,182
„Musik“	Mittelwert	0,460
	Standardabweichung	0,208
„CI Ein Abschlusskontrollwert“	Mittelwert	0,635
	Standardabweichung	0,974

**Tabelle A.XX: Statistik bei gepaarten Stichproben - Oberkörperschwan-kungen „VUZ“**

Statistik bei gepaarten Stichproben					
		Mittelwert	N	Standardab-weichung	Standard-fehler des Mittelwertes
Vergleich 1	"CI Aus Schwankung VUZ" -	,575	32	,290	,051
	"CI Ein Anfangswert Schwankung VUZ"	,577	32	,263	,046
Vergleich 2	"CI Aus Schwankung VUZ" -	,575	31	,295	,053
	"CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung VUZ"	,563	31	,282	,051
Vergleich 3	"CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung VUZ"-	,572	29	,290	,054
	"CI Ein Abschlusskontrollwert Schwankung VUZ"	,635	29	,974	,181
Vergleich 4	"weißes Rauschen Schwankung VUZ"-	,561	32	,517	,091
	"Sprachtext Schwankung VUZ"	,451	32	,175	,031
Vergleich 5	"weißes Rauschen Schwankung VUZ"-	,561	32	,517	,091
	"Musik Schwankung VUZ"	,468	32	,203	,036
Vergleich 6	"Sprachtext Schwankung VUZ"-	,451	32	,175	,031
	"Musik Schwankung VUZ"	,468	32	,203	,036
Vergleich 7	"CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung VUZ"-	,563	31	,282	,051
	"weißes Rauschen Schwankung VUZ"	,565	31	,525	,094
Vergleich 8	"CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung VUZ"-	,563	31	,282	,051
	"Sprachtext Schwankung VUZ"	,454	31	,177	,032
Vergleich 9	"CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung VUZ"-	,563	31	,282	,051
	"Musik Schwankung VUZ"	,459	31	,201	,036

**Tabelle A.XXI: t-Test zu gepaarten Differenzen - Oberkörperschwankungen „VUZ“**

	Test bei gepaarten Stichproben	Gepaarte Differenzen						T	df	Sinfikanztest. (2-seitig)
		Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwerts	Untere Grenze	Obere Grenze	95 %- Konfidenzintervall			
Vergleich 1	"CI Aus Schwankung VUZ" - "CI Ein Anfangswert Schwankung VUZ"	,0019	,2050	,036	-,072	,076	,052	31	,959	
Vergleich 2	"CI Aus Schwankung VUZ" - "CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung VUZ"	,0113	,2048	,037	-,064	,086	,307	30	,761	
Vergleich 3	"CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung VUZ" - "CI Ein Abschlusskontrollwert Schwankung	-,0631	,9861	,183	-,438	,312	-,345	28	,733	
Vergleich 4	"weißes Rauschen Schwankung VUZ" - "Sprachtext Schwankung VUZ"	,1100	,4656	,082	-,058	,278	1,337	31	,191	
Vergleich 5	"weißes Rauschen Schwankung VUZ" - "Musik Schwankung VUZ"	,0938	,4917	,087	-,084	,271	1,079	31	,289	
Vergleich 6	"Sprachtext Schwankung VUZ" - "Musik Schwankung VUZ"	-,0163	,1137	,020	-,057	,025	,808	31	,425	
Vergleich 7	"CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung VUZ" - "weißes Rauschen Schwankung VUZ"	-,0019	,4990	,090	-,185	,181	-,022	30	,983	
Vergleich 8	"CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung VUZ" - "Sprachtext Schwankung VUZ"	,1094	,1913	,034	,039	,180	3,183	30	,003	
Vergleich 9	"CI Ein Anfangskontrollwert Schwankung VUZ" - "Musik Schwankung VUZ"	,1042	,2002	,036	,031	,178	2,897	30	,007	

**Tabelle A.XXII: t-Test bei gepaarten Differenzen - Oberkörperschwankungen seitwärts und „VUZ“ im zeitlichen Verlauf**

Test bei gepaarten Stichproben							Gepaarte Differenzen						
	Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95 % - Konfidenzintervall			T	df	Signifikanztest (2-seitig)				
				Untere Grenze	Obere Grenze								
Vergleich 1	"prä OP Schwankung seitwärts" - "Aktuell Schwankung seitwärts"	,053	,321	,060	,069	,175	,897	28	,377				
Vergleich 2	"post OP Schwankung seitwärts" - "Aktuell Schwankung seitwärts"	,276	,613	,114	,042	,509	2,421	28	,022				
Vergleich 3	"6 Wochen prä OP Schwankung seitwärts" - "Aktuell Schwankung seitwärts"	,031	,489	,112	,205	,267	,277	18	,785				

Test bei gepaerten Stichproben							Gepaarte Differenzen						
	Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95 % - Konfidenzintervall			T	df	Signifikanztest (2-seitig)				
				Untere Grenze	Obere Grenze								
Vergleich 1	"prä OP Schwankung VUZ" - "Aktuell Schwankung VUZ"	,185	,445	,083	,016	,355	2,240	28	,033				
Vergleich 2	"post OP Schwankung VUZ" - "Aktuell Schwankung VUZ"	,248	,389	,072	,100	,396	3,440	28	,002				
Vergleich 3	"6 Wochen prä OP Schwankung VUZ" - "Aktuell Schwankung VUZ"	,020	,331	,076	,139	,179	,264	18	,795				

**Tabelle A.XXIII: t-Tests zu gepaarten Differenzen - Oberkörperschwankungen seitwärts und „VUZ“ im zeitlichen Verlauf - getrennt nach Geschlechtern**

		Gepaarte Differenzen									
Geschlecht	Vergleich	Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes			95 %- Konfidenzintervall		T	df	Signifikanztest (2-seitig)
				Untere Grenze	Obere Grenze						
weiblich	Vergleich W1 "prä OP Schwankung seitwärts" - "Aktuell Schwankung seitwärts"	,059	,297	,077	,223		,766	,14	,457		
	Vergleich W2 "post OP Schwankung seitwärts" - "Aktuell Schwankung seitwärts"	,332	,598	,154	,001		,663	,14	,049		
	Vergleich W3 "6 Wochen post OP Schwankung seitwärts" - "Aktuell Schwankung seitwärts"	,000	,247	,093	,228		,000	6	1,000		
männlich	Vergleich M1 "prä OP Schwankung seitwärts" - "Aktuell Schwankung seitwärts"	,048	,356	,095	,253		,503	13	,623		
	Vergleich M2 "post OP Schwankung seitwärts" - "Aktuell Schwankung seitwärts"	,215	,646	,173	,158		,588	13	,235		
	Vergleich M3 "6 Wochen prä OP Schwankung seitwärts" - "Aktuell Schwankung seitwärts"	,049	,598	,173	,331		,429	11	,781		

		Gepaarte Differenzen									
Geschlecht	Vergleich	Mittelwert	Standard-abweichung	Standardfehler des Mittelwertes			95 %- Konfidenzintervall		T	df	Signifikanztest (2-seitig)
				Untere Grenze	Obere Grenze						
weiblich	Vergleich W1 "prä OP Schwankung VUZ" - "Aktuell Schwankung VUZ"	,177	,498	,129	,099		,452	1,374	,14	,191	
	Vergleich W2 "post OP Schwankung VUZ" - "Aktuell Schwankung VUZ"	,255	,343	,089	,065		,445	2,384	14	,012	
	Vergleich W3 "6 Wochen post OP Schwankung VUZ" - "Aktuell Schwankung VUZ"	,020	,206	,078	,171		,211	,0256	6	,806	
männlich	Vergleich M1 "prä OP Schwankung VUZ" - "Aktuell Schwankung VUZ"	,194	,400	,107	,037		,425	1,818	13	,092	
	Vergleich M2 "post OP Schwankung VUZ" - "Aktuell Schwankung VUZ"	,241	,446	,119	,017		,498	,2021	13	,064	
	Vergleich M3 "6 Wochen post OP Schwankung VUZ" - "Aktuell Schwankung VUZ"	,020	,395	,114	,231		,271	,0175	11	,864	

**Tabelle A.XXIV: Tabellarische Gesamtübersicht der wichtigsten Untersuchungsergebnisse der Studie**

1) Vergleich der Sturzrisikowerte „CI Aus“ mit „CI Ein“

Vergleich der Paare	Größerer Sturz- risikowert	Anteil der Patienten (in %)	Statistische Signifikanz	
„CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“	„CI Aus“	53,13	ja	<b>p = 0,024</b>
„CI Aus“ vs. „CI Ein Abschlusskontrollwert“	„CI Aus“	73,33	ja	<b>p = 0,030</b>

2) Vergleich der Sturzrisikowerte im zeitlichen Verlauf „prä OP“, „post OP“, „6 Wochen post OP“ und „Aktuell“

Vergleich der Paare	Größerer Sturz- risikowert	Anteil der Patienten (in %)	Statistische Signifikanz	
„prä OP“ vs. „Aktuell“	„prä OP“	60,61	nein	p = 0,057
„prä OP“ vs. „Aktuell“ - weibliche Patienten	„prä OP“	64,71	nein	p = 0,107
„prä OP“ vs. „Aktuell“ - männliche Patienten	„prä OP“	56,25	nein	p = 0,329
„post OP“ vs. „Aktuell“	„post OP“	67,74	ja	<b>p = 0,003</b>
„post OP“ vs. „Aktuell“ - weibliche Patienten	„post OP“	68,75	ja	<b>p = 0,043</b>
„post OP“ vs. „Aktuell“ - männliche Patienten	„post OP“	66,67	ja	<b>p = 0,038</b>
„6 Wochen post OP“ vs. „Aktuell“	„6 Wochen post OP“	55,00	nein	p = 0,610

3) Vergleich der akustischen Reize miteinander und mit „CI Ein Anfangskontrollwert“

Vergleich der Paare	Größerer Sturz- risikowert	Anteil der Patienten (in %)	Statistische Signifikanz	
„weißes Rauschen“ vs. „Sprachtext“	„weißes Rauschen“	57,58	nein	p = 0,081
„weißes Rauschen“ vs. „Musik“	„weißes Rauschen“	51,51	nein	p = 0,099
„Sprachtext“ vs. „Musik“	„Sprachtext“	48,50	nein	p = 0,529
„CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „weißes Rauschen“	„weißes Rauschen“	53,12	nein	p = 0,401
„CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Sprachtext“	„CI Ein Anfangskontrollwert“	56,25	nein	p = 0,297
„CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Musik“	„CI Ein Anfangskontrollwert“	53,13	nein	p = 0,167

## 4) Geschlechtsspezifischer Vergleich

	Sturzrisiko in %		
	gesamt	weiblich	männlich
„CI Aus“	45,17	47,07	43,50
„CI Ein Anfangskontrollwert“	42,63	38,13	41,81
„weißes Rauschen“	43,27	38,69	42,44
„Sprachtext“	41,80	37,88	40,50
„Musik“	41,13	37,75	39,38

## 5) Geschlechtsspezifischer Vergleich der Sturzrisikowerte im zeitlichen Verlauf

	Sturzrisiko in %			
	„prä OP“	„post OP“	„6 Wochen post OP“	„Aktuell“
weibliche Patienten	46,00	47,50	41,63	40,75
männliche Patienten	44,33	46,08	43,25	42,42
Gesamtheit aller Patienten	45,00	46,65	42,60	41,75

## 6) Vergleich der Sturzrisikowerte der „Über 60-Jährigen“ und „Unter 60-Jährigen“

	Sturzrisiko in %		
	gesamt	> 60 Jahre	< 60 Jahre
„CI Aus“	45,17	48,34	41,50
„CI Ein Anfangskontrollwert“	42,63	45,69	39,14
„weißes Rauschen“	43,27	45,19	41,07
„Sprachtext“	41,80	43,38	40,00
„Musik“	41,13	43,00	39,00

## 7) Vergleich der Sturzrisikowerte im zeitlichen Verlauf der „Über 60-Jährigen“ und „Unter 60-Jährigen“

Vergleich zeitliche Entwicklung	Sturzrisiko in %			
	„prä OP“	„post OP“	„6 Wochen post OP“	„Aktuell“
Patienten über 60 Jahren	52,09	54,73	48,18	48,09
Patienten unter 60 Jahren	36,33	36,78	35,78	36,22
Gesamtheit aller Patienten	45,00	46,65	42,60	41,75

## 8) Vergleich der Oberkörperschwankungen mit dem „CI Ein Anfangskontrollwert“ bei Übung Nr. 7

Oberkörperschwankung seitwärts	Größerer Sturzrisikowert	Anteil der Patienten (in %)	Statistische Signifikanz	
„CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“	„CI Aus“	51,61	ja	<b>p = 0,035</b>
„CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Musik“	„CI Ein Anfangskontrollwert“	67,74	ja	<b>p = 0,027</b>

Oberkörperschwankung „VUZ“	Größerer Sturzrisikowert	Anteil der Patienten (in %)	Statistische Signifikanz	
„CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Musik“	„CI Ein Anfangskontrollwert“	54,84	ja	<b>p = 0,007</b>
„CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „Sprachtext“	„CI Ein Anfangskontrollwert“	61,29	ja	<b>p = 0,003</b>

9) Vergleich der Oberkörperschwankungen seitwärts und der Oberkörperschwankungen „VUZ“ im zeitlichen Verlauf bei Übung Nr. 7

Oberkörperschwankung seitwärts	Größerer Sturzrisikowert	Anteil der Patienten (in %)	Statistische Signifikanz	
„post OP“ vs. „Aktuell“	„post OP“	65,52	ja	<b>p = 0,022</b>
„post OP“ vs. „Aktuell“ - weiblich	„post OP“	53,33	ja	<b>p = 0,049</b>
„post OP“ vs. „Aktuell“ - männlich	„post OP“	78,57	nein	p = 0,235

Oberkörperschwankung „VUZ“	Größerer Sturzrisikowert	Anteil der Patienten (in %)	Statistische Signifikanz	
„prä OP“ vs. „Aktuell“	„prä OP“	58,62	ja	<b>p = 0,033</b>
„post OP“ vs. „Aktuell“	„post OP“	72,41	ja	<b>p = 0,002</b>
„post OP“ vs. „Aktuell“ - weiblich	„post OP“	80,00	ja	<b>p = 0,012</b>
„post OP“ vs. „Aktuell“ - männlich	„post OP“	64,29	nein	p = 0,064

10) Gesamtvergleich der Sturzrisikowerte der sensorischen Komponenten (visuell, propriozeptiv, vestibulär)

Vergleich der Mittelwerte	Kleinster Mittelwert	Größter Mittelwert
visuelle Komponente	„Musik“ (4,15)	„weißes Rauschen“ (21,20)
propriozeptive Komponente	„Musik“ (- 9,52)	„CI Ein Abschlusskontrollwert“ (14,88)
vestibuläre Komponente	„CI Aus“ (23,55)	„Sprachtext“ (36,53)

11) Vergleich der Sturzrisikowerte der visuellen, propriozeptiven und vestibulären Komponenten

Visuelle Komponente	Größerer Sturzrisikowert	Anteil der Patienten (in %)	Statistische Signifikanz	
„CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“	„CI Aus“	54,55	nein	p = 0,465
„Sprachtext“ vs. „Musik“	„Sprachtext“	76,20	ja	<b>p = 0,020</b>
„weißes Rauschen“ vs. „Musik“	„weißes Rauschen“	59,10	nein	p = 0,091
„weißes Rauschen“ vs. „Sprachtext“	„weißes Rauschen“ = „Sprachtext“	50,00	nein	p = 0,685

Propriozeptive Komponente	Größerer Sturzrisikowert	Anteil der Patienten (in %)	Statistische Signifikanz	
„CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“	„CI Aus“	70,37	ja	p = 0,003
„CI Ein Anfangskontrollwert“ vs. „CI Ein Abschlusskontrollwert“	„CI Ein Abschlusskontrollwert“	61,54	nein	p = 0,209
„Sprachtext“ vs. „Musik“	„Sprachtext“	51,72	nein	p = 0,250
„weißes Rauschen“ vs. „Musik“	„weißes Rauschen“	58,62	nein	p = 0,168
„weißes Rauschen“ vs. „Sprachtext“	„weißes Rauschen“	53,33	nein	p = 0,569

Vestibuläre Komponente	Größerer Sturzrisikowert	Anteil der Patienten (in %)	Statistische Signifikanz	
„CI Aus“ vs. „CI Ein Anfangskontrollwert“	„CI Aus“	56,25	nein	p = 0,829
„Sprachtext“ vs. „Musik“	„Musik“	56,25	nein	p = 0,546
„weißes Rauschen“ vs. „Musik“	„weißes Rauschen“	59,38	nein	p = 0,495
„weißes Rauschen“ vs. „Sprachtext“	„weißes Rauschen“	57,58	nein	p = 0,800

## Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich herzlich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. Friedrich Ihler für die detaillierte Durchsicht meiner Arbeit mit den sehr hilfreichen Anmerkungen bedanken.

Mein besonderer Dank richtet sich an meine Betreuerin Frau Dr. med. Julia Louza Lützner, die mich stets motivierend und geduldig in allen Phasen meiner Arbeit betreut hat. Von Beginn an brachte sie mir ein großes Vertrauen entgegen, setzte sich für mich ein, unterstützte mich bei der Planung und Umsetzung der Studie und betreute mich auch während der Verschriftlichung dieser Arbeit.

Ebenso möchte ich mich bei dem gesamten HNO-Team des Klinikums der Universität München für die freundliche Aufnahme bedanken, und dafür, dass ich die klinischen Räumlichkeiten für die Patientenrekrutierung und Durchführung meiner Untersuchungen jederzeit nutzen durfte.

Des Weiteren möchte ich mich auch bei allen an der Studie teilnehmenden Patienten bedanken, ohne deren Einverständniserklärung und Bereitschaft zur intensiven Mitarbeit diese Forschungsarbeit nicht möglich gewesen wäre.

Nicht zuletzt danke ich in besonderem Maße meinen Eltern, die mich während des gesamten Studiums geduldig und motivierend unterstützt haben.

## Affidavit



### Eidesstattliche Versicherung

Rösel, Christopher

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel

**Bedeutung der Hörrehabilitation bei Cochlea-Implantat Patienten für die vestibuläre  
Stabilität und Raumorientierung**

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, den 29.08.2025

Ort, Datum

Christopher Rösel

Unterschrift Christopher Rösel

## Übereinstimmungserklärung



Dekanat Medizinische Fakultät  
Promotionsbüro



### Erklärung zur Übereinstimmung der gebundenen Ausgabe der Dissertation mit der elektronischen Fassung

Rösel, Christopher

---

Name, Vorname

Hiermit erkläre ich, dass die elektronische Version der eingereichten Dissertation mit dem Titel:

**Bedeutung der Hörrehabilitation bei Cochlea-Implantat Patienten für die vestibuläre Stabilität  
und Raumorientierung**

in Inhalt und Formatierung mit den gedruckten und gebundenen Exemplaren übereinstimmt.

München, den 29.08.2025

Christopher Rösel

---

Ort, Datum

Unterschrift Christopher Rösel

## **Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.



## Publikationsliste

### Originalarbeiten

- **Rösel C**, Canis M, Ihler F, Louza J: The Influence of Auditory Stimuli on Postural Control in Cochlear Implant Patients Over Time and in Different Acoustic Conditions (in preparation).
- Louza J, **Rösel C**, Gürkov R, Krause E, Ihler F: Influence of Cochlear Implantation on Postural Control and Risk of Falls. *Audiology and Neurotology* 2019; 24(5):245-252. DOI: 10.1159/000503165.

### Kongressbeitrag

- Louza J, **Rösel C**, Gürkov R, Krause E, Ihler F. „159. Einfluss der Hörrehabilitation mit Cochlea Implantat auf die Körperstabilität und Sturzrisiko.“ 90. Jahrestagung 2019 der Deutschen Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Hals-Chirurgie e.V., 29.05.-01.06.2019, Berlin. *Laryngo-Rhino-Otology* 2019; 98(02):108. DOI: 10.1055/s-0039-1686220.