

Hals-Nasen-Ohrenklinik und Poliklinik der Technischen Universität München
Klinikum rechts der Isar
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. W. Arnold)

**Stellenwert der Vestibulär Evozierten Myogenen Potentiale in
der Diagnostik neurootologischer Krankheitsbilder**

Rainer Haarfeldt

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der
Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen
Grades eines

Doktors der Medizin

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender : Univ.-Prof. Dr. D. Neumeier

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr. K.-F. Hamann
2. Univ.-Prof. Dr. Dr. Th. R. Tölle

Die Dissertation wurde am 19.04.2007 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 26.09.2007 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	5
1. EINLEITUNG	6
1.1. Allgemeine Vorbemerkungen.....	6
1.2. DAS VESTIBULÄRE SYSTEM	8
1.2.1. Aufgaben des vestibulären Systems.....	8
1.2.2. Anatomie und Physiologie des vestibulären Systems.....	9
1.3. UNTERSUCHUNGSMETHODEN DES VESTIBULÄREN SYSTEMS	14
1.3.1. Anamnese.....	14
1.3.2. Okulomotorik.....	15
1.3.2.1. Bogengangstests.....	16
1.3.2.1.1. Thermische Prüfung.....	16
1.3.2.1.2. Otolithentests.....	17
1.3.3. Vestibulospinale Haltungsreaktionen	19
1.3.3.1. Subjektive Tests.....	19
1.3.3.2. Sacculustest (Vestibulär evozierte myogene Potentiale – VEMP).....	19
1.3.4. Zentral-vestibuläre Tests.....	22
1.4. Fragestellung.....	23
2. METHODIK	24
2.1. Patientenkollektiv.....	24
2.2. Apparative Voraussetzungen.....	25
2.3. Untersuchungsablauf.....	25
2.4. Auswertung.....	28

2.5. Anmerkungen zur Statistik.....	29
3. ERGEBNISSE	30
3.1. Untersuchungskollektiv	30
3.2. Gruppe 1 – Normalpersonen	31
3.3. Gruppe 2 - Neuropathia vestibularis	32
3.4. Gruppe 3 - M. Menière	33
3.5. Gruppe 4 - Benigner paroxysmaler Lagerungsschwindel (BPPV).....	34
3.6. Gruppe 5 – Kleinhirnbrückenwinkeltumore	35
3.7. Gruppe 6 – isolierte Sacculusstörungen	36
3.8. Gruppe 7 – Verschiedene Krankheitsbilder	36
3.9. Gruppe 8 – Schwindel unklarer Genese	37
3.10. Gruppe 9 – Gutachten.....	38
4. DISKUSSION	39
4.1. Messmethode.....	39
4. 2. Untergruppenauswertung.....	41
4.2.1. Normalpersonen.....	42
4.2.2. Neuritis vestibularis	42
4.2.3. Morbus Menière.....	44
4.2.4. Gutartiger paroxysmaler Lagerungsschwindel (BPPV).....	46
6.2.5. Kleinhirnbrückenwinkeltumore	48
4.2.6. Isolierte Sacculusläsionen.....	50
4.2.7. Verschiedene Krankheitsbilder	50
4.2.8. Unklarer Schwindel	51
4.2.9. Gutachten.....	52
4.3. Stellenwert der VEMP-Ableitungen für die neurootologische Diagnostik.....	53

5. ZUSAMMENFASSUNG	55
6. LITERATURVERZEICHNIS	57
7. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	66
8. DANKSAGUNG	68

Abkürzungsverzeichnis

BPPV	Benign paroxysmal positioning vertigo
EMG	Elektromyographie
MRT	Magnetresonanztomographie
ENG	Elektronystagmographie
VOG	Videookulographie
OCR	Ocular conterrolling
VSV	Visuelle subjektive Vertikale
OKN	Optokinetischer Nystagmus
dB	Dezibel
SPL	Sound pressure level
VS	Vestibularisschwannom
MS	Multiple Sklerose

1. Einleitung

1.1. Allgemeine Vorbemerkungen

Schwindel ist eines der häufigsten Beschwerdebilder in der Praxis des Allgemeinarztes. Auf Grund der Komplexität der Erkrankung mit einer Vielfalt an möglichen Ursachen ist die genaue Diagnostik durch einen Spezialisten Voraussetzung für eine rasche Diagnose und Therapie.

Zentraler Bestandteil der Diagnostik ist dabei die Gleichgewichtsprüfung, deren Hauptaufgabe darin besteht, bei Patienten mit Schwindelbeschwerden eine Funktionsanalyse des Vestibularapparates vorzunehmen. Dabei sollten Funktionseinbußen dieses Sinnesorganes aufgedeckt werden und auch die Art der Störung definiert werden.

Bis vor wenigen Jahren war es üblich, aus dem Ergebnis der thermischen Prüfung auf die Funktion des gesamten Vestibularapparates einer Seite zu schließen. Diese Extrapolation war und ist nicht gerechtfertigt, da bei der thermischen Prüfung in Wirklichkeit nur ein Teil des peripheren Vestibularapparates gereizt wird, nämlich der horizontale Bogengang.

Durch besondere Lagerungen des Kopfes wie die Optimumstellung nach Brünings wird sogar versucht, möglichst gezielt den horizontalen Bogengang zu reizen.

In den letzten Jahren sind vermehrt Reizmethoden zur Testung einzelner Anteile des Vestibularapparates, also für eine topographische Differentialdiagnose, entwickelt worden. So versucht man beispielsweise beim Verdacht auf einen gutartigen Lagerungsschwindel durch gezielte Lagerungen den betroffenen Bogengang zu ermitteln, während mit der Bestimmung der „Visuellen subjektiven Vertikalen“ die Otolithenbahn untersucht wird und mit der exzentrischen Rotation eine Funktionsbestimmung des Utriculus vorgenommen wird.

1992 führten Colebatch und Halmagyi mit der Ableitung der „Vestibulär evozierten myogenen Potentiale (VEMP) eine Methode ein, die heute als selektiver Sacculustest angesehen wird. (Colebatch und Halmagyi 1992).

1.2. Das vestibuläre System

1.2.1. Aufgaben des vestibulären Systems

Das vestibuläre System dient der Orientierung im Raum, der Blickmotorik und der Aufrechterhaltung des Körpergleichgewichts, wobei es keine dieser Funktionen alleine, sondern immer in Zusammenarbeit mit anderen Systemen, hierbei insbesondere dem visuellen und propriozeptiven System, erfüllt.

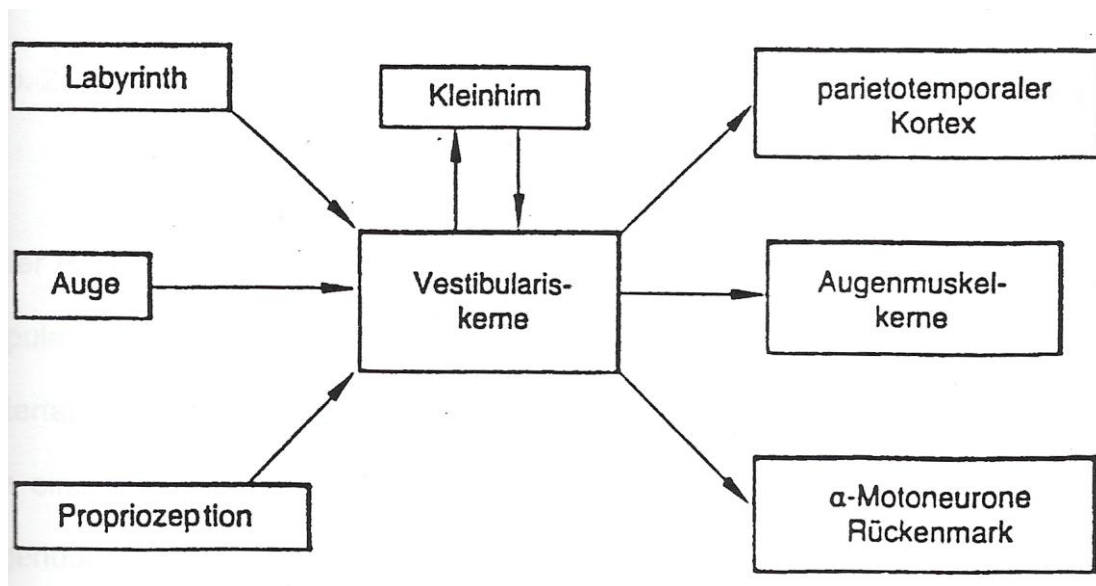


Abbildung 1: Darstellung der Hauptafferenzen und Efferenzen der Vestibulariskerne (aus: Hamann, K.-F.: Training gegen Schwindel, Springer, Berlin-Heidelberg 1987, S. 15.)

Es besteht aus Mechanorezeptoren, dem Nervus Vestibularis sowie zentralen Schaltstrukturen vom Hirnstamm bis zum Cortex (Kornhuber, 1966)

1.2.2. Anatomie und Physiologie des vestibulären Systems

Das Innenohr enthält die Schnecke für das Hörsystem und das Vestibularorgan als peripheres Organ des Gleichgewichtssinns. Das Vestibularorgan besteht aus dem Bogengangssystem zur Erfassung von Drehbeschleunigungen und den zwei Otolithenorganen (dem Utriculus, dessen Basilarmembran bei gerader Kopfhaltung etwa horizontal liegt und dem Sacculus, der senkrecht zu diesem steht) zur Erfassung linearer Translations- und Progressivbeschleunigungen.

Das Bogengangssystem setzt sich aus drei Bogengängen zusammen – dem vorderen, dem hinteren und dem lateralen (horizontalen) Bogengang. Die Bogengänge stehen annähernd senkrecht zueinander und erstrecken sich somit in alle drei Raumdimensionen.

Jeder vestibuläre Rezeptor ist auf Grund seines bipolaren Reagierens in der Lage, zwei Bewegungsrichtungen zu erkennen.

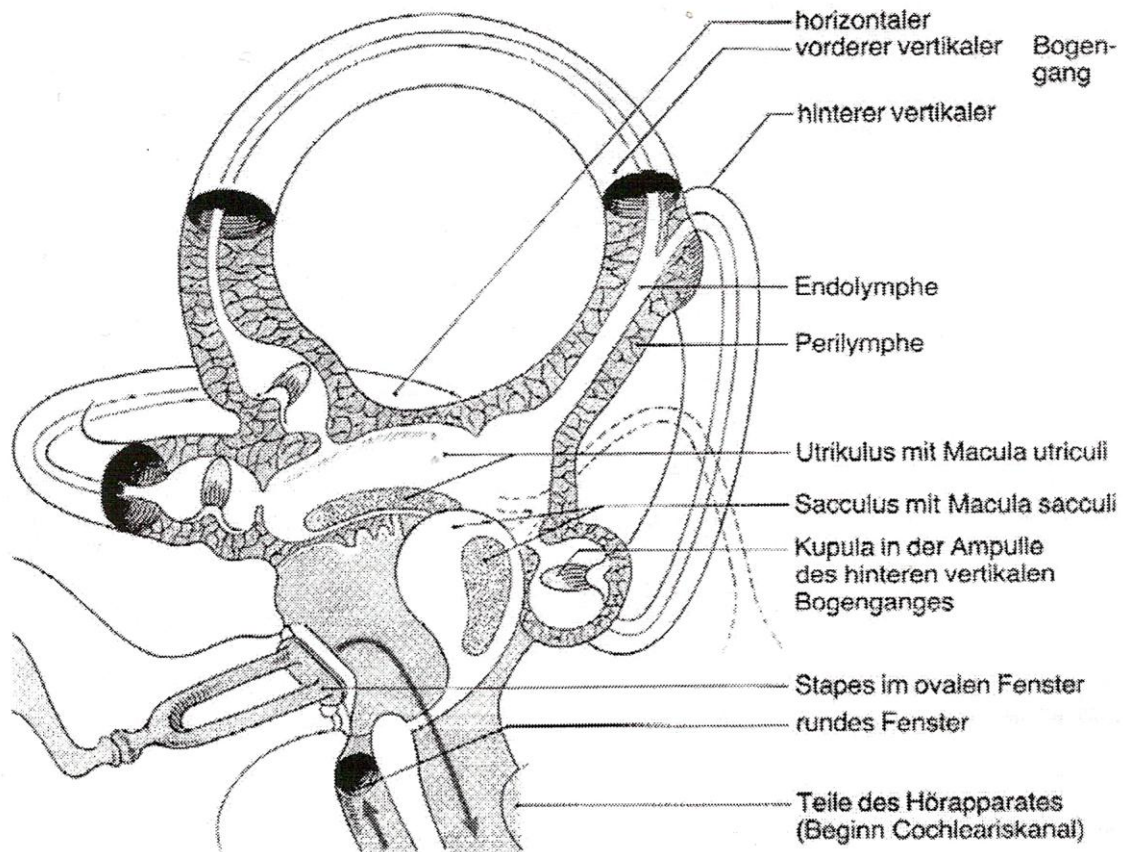


Abbildung 2: Lage der vestibulären Rezeptoren im Bogengangssystem und Otolithenapparat (aus Hamann et al. 1994; S. 262)

Jeder Bogengang besitzt ein eigenes Sinneszellsystem - die Crista ampullaris mit der Cupula. Die auf der Crista liegenden Sinneszellen (auf jeder ca. 60-80 Stereozilien plus ein Kinozilium, das in seiner Länge dominiert) erstrecken sich bis in die gallertartige Cupula. Der restliche Bogengang ist von Endolymphe ausgefüllt. Erfolgt nun eine Bewegung des Kopfes, so bleibt aus Trägheitsgründen die Endolymphe gegenüber dem Sinnesorgan zunächst zurück, führt aber zu einer Auslenkung der in der Cupula liegenden Zilien, die den Sinneszellen aufsitzen (Hamann et al., 1994). Diese Auslenkung oder Scherbewegung der Zilien zum Kinozilium hin führt zur Aktivierung und damit zur Erhöhung der Entladungsrate der afferenten Fasern. Eine Scherung des Stereoziliums vom Kinozilium weg bedeutet Reduzierung der Entladungsrate.

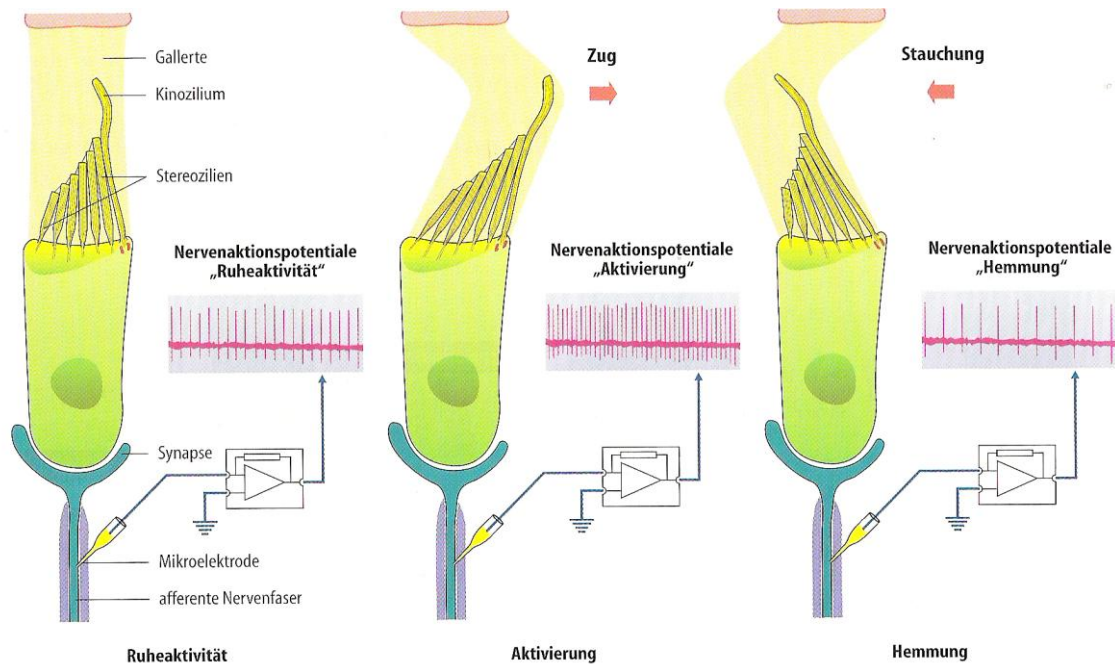


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Verhaltens des Rezeptorpotentials bei Auslenkung der Stereozilien (H. P. Zenner, 1997)

Über einen „Push-Pull-Mechanismus“ wird der Drehreiz in den Vestibulariskernen noch weiter verstärkt – durch die spiegelbildliche Anordnung beider Bogengangsysteme erfolgt bei einer Hemmung der Nervenentladungen auf der einen Seite eine entsprechende Zunahme auf der anderen Seite (Probst et al., 2000).

Beim Otolithenapparat erstrecken sich die Zilien der Sinneszellen in die so genannte Otolithenmembran, einer gelatinösen Masse, auf der Calzit-Kristalle, die Otolithen, liegen. Die Otolithenmembran ist träge und verschiebt sich bei Linearbeschleunigungen gegenüber der Sinneszellschicht. Somit können Linearbeschleunigungen registriert werden. Da die Erdbeschleunigung (Gravitation) immer auf diese Rezeptoren einwirkt, kann auch die Stellung des Kopfes im Raum wahrgenommen werden.

Die nervale Faserversorgung der einzelnen Rezeptoren erfolgt über Fasern des Nervus vestibularis. Dieser setzt sich aus zwei Anteilen zusammen, einem inferioren Anteil, der überwiegend Informationen des Sacculus und des hinteren Bogenganges weiterleitet und einem superioren Anteil, der Impulse der beiden anderen Bogengänge und des Utriculus führt (Gacek, 1975)

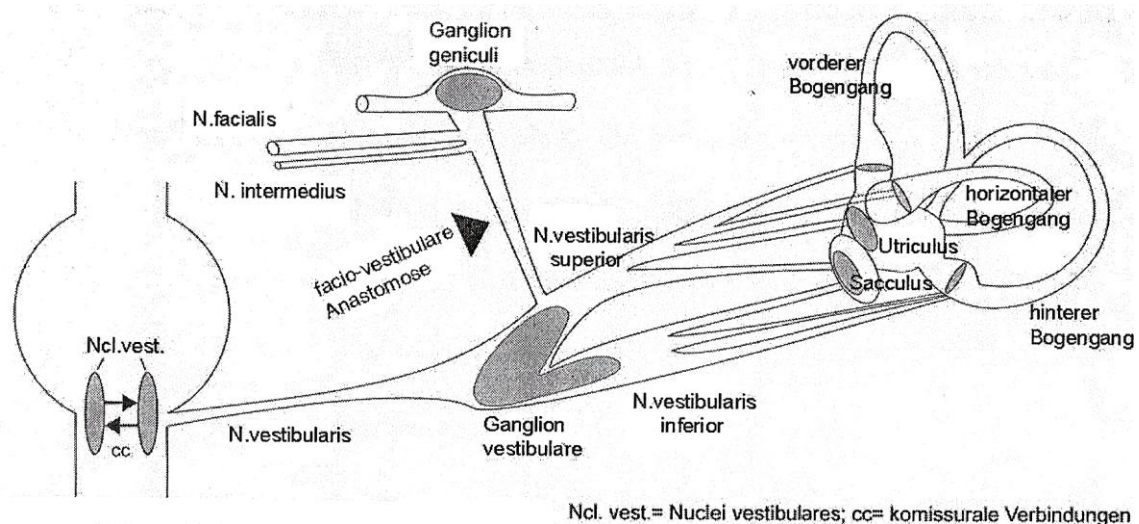


Abbildung 4: Schema der nervalen Faserversorgung; N. vestibularis inferior und superior nach Arbusow et al. in Anlehnung an Gacek; Audiol. Neurootol. 2001; 6; 260

Über den Nervus vestibularis werden die Informationen in den Hirnstamm fortgeleitet und dort in den Vestibulariskernen untereinander verschaltet und verglichen. Die abgehenden Efferenzen ziehen zum parieto-temporalen Kortex, zu den Augenmuskelkernen und zu den α -Motoneuronen der Vorderhornzellen des Rückenmarks.

Voraussetzung für eine normale Funktion des vestibulären Systems ist ein sogenanntes Tonusgleichgewicht zwischen beiden Seiten in Höhe der Vestibulariskerne.

Besteht eine einseitige Unterfunktion oder ein Funktionsausfall, so entsteht ein zentrales Ungleichgewicht, welches die typischen Symptome wie systematischen Schwindel, pathologischen Spontannystagmus und Ataxie

hervorruft.

Im Rahmen der so genannten „vestibulären Kompensation“ kann mit Hilfe eines Systems kommissuraler Nervenfaserverbindungen zwischen den Vestibulariskernen beider Seiten ein Neuabgleich der neuronalen Aktivität mit dem Ziel eines erneuten Tonusgleichgewichts stattfinden, das mit einem Verschwinden der klinischen Symptome einhergehen kann. Diese Kompensation findet spontan aber nicht immer ausreichend statt (unvollständige Kompensation) (Hamann, 1999, S. 2).

1.3. Untersuchungsmethoden des vestibulären Systems

Ziel der vestibulären Funktionsdiagnostik ist es, die Funktionen des vestibulären Systems insgesamt und auch einzelner Untereinheiten zu ermitteln, um so eine Aussage über Art und Schwere des Defizits sowie über dessen genaue Lokalisation machen zu können

1.3.1. Anamnese

Da der Begriff „Schwindel“ nur unscharf definiert ist, bedarf es bei der Schwindelanamnese einer gezielten Symptomerhebung zur genauen Differenzierung der Art des Schwindels. Dabei hat sich eine von Frenzel vorgeschlagene Einteilung bewährt, die zwischen systematischem und unsystematischem Schwindel unterscheidet. Systematische Schwindelformen, die in der Regel bei vestibulären Störungen auftreten, gehen mit einem Dislokationsgefühl wie Drehen, Schwanken oder Liftgefühl einher.

Der unsystematische Schwindel wird dagegen meist durch unklare Gefühle wie Benommenheit, Taumel oder Verwirrtheit beschrieben. Hier kann eine vestibuläre Ursache meist ausgeschlossen werden (Frenzel, 1982)

Im Weiteren ist eine zeitliche Beschreibung des systematischen Schwindels von großer Bedeutung, da hiermit in Abhängigkeit von Dauer und Häufigkeit des Schwindels weitere Rückschlüsse auf die Ursache geschlossen werden können.

Beim benignen Lagerungsschwindel (BPPV) dauern beispielsweise die Beschwerden nur wenige Sekunden an und werden immer durch bestimmte Bewegungen ausgelöst.

Auch parallel zum Schwindel auftretende Symptome sind bei der Anamnese gezielt zu erfragen. So geht der Schwindel beim Morbus Menière

typischerweise mit Tinnitus und Schwerhörigkeit einher und zeigt ein anfallsartiges Auftreten über Minuten bis Stunden.

Für die Kleinhirnbrückenwinkeltumore gibt es keine typische Schwindelanamnese. Obwohl es sich um Tumore des Gleichgewichtsorganes handelt, führen Schwindelbeschwerden den Patienten eher selten zum Arzt, da die zentral-vestibuläre Kompensation lange mit dem langsamen Tumorwachstum Schritt halten kann. Im Vordergrund der Beschwerden steht hier dagegen meist eine einseitige Schallempfindungsschwerhörigkeit oder einseitiger Tinnitus.

Letztlich gehört zur Schwindelanamnese auch eine Quantifizierung der Schwindelstärke, was sich aber auf Grund der interindividuellen Wahrnehmungsunterschiede der verschiedenen Patienten meist als sehr unzuverlässig erweist. Hier kann versucht werden, durch subjektive Bewertungsskalen eine individuelle Quantifizierung zu erhalten, die zumindest eine Verlaufsbeurteilung erlaubt.

1.3.2. Okulomotorik

Bestehen Funktionsdefizite im Bereich des vestibulären Systems, so zeigen sich auch Störungen der Blickmotorik, am deutlichsten als pathologischer Spontannystagmus.

Unter Nystagmus versteht man rhythmische Augenbewegungen, die aus einer langsamen und einer schnellen Komponente bestehen (Hamann, 2001). Letztere gibt die Richtung des Nystagmus an. Der Nystagmus kann bei einer Irritation als Reiznystagmus in das kranke Ohr oder aber als Ausfallnystagmus in das gesunde Ohr schlagen.

Man kann einen latenten Spontannystagmus mit Hilfe von Lagerungen oder Kopfschütteln provozieren. In der Diagnostik kommt hier in erster Linie die Frenzel-Brille zum Einsatz, um einen pathologischen Spontannystagmus nachzuweisen. Durch die Frenzel-Brille wird eine Fixierung der Umgebung

unmöglich gemacht und somit die visuelle Fixationssuppression eines vestibulären Nystagmus aufgehoben und dieser damit demaskiert.

Ein experimenteller Nystagmus lässt sich auch durch typische rotatorische Reizung um die Vertikalachse des Kopfes oder aber auch durch optokinetische Reizungen auslösen. In der Diagnostik spielt weiterhin die unphysiologische galvanische oder thermische Reizung eine Rolle zur näheren Differenzierung vestibulärer Störungen.

Während die thermische Reizung eine seitengetrennte Beurteilung des peripheren vestibulären Organs (Bogengang) erlaubt (Scherer H., Helling K., 2001), spiegelt die galvanische Reizung mehr die Funktion des vestibulären Nerven wider.

1.3.2.1. Bogengangstests

1.3.2.1.1. Thermische Prüfung

Die Untersuchung der Bogengangsfunktion erfolgt in der klinischen Routine ausschließlich über eine Registrierung der Augenbewegungen. Dabei werden sowohl spontan vorhandene oder provozierbare Nystagmen als auch die durch experimentelle Prüfungen hervorgerufenen, pathologisch veränderten, Reaktionen der Blickmotorik als möglicher Indikator für ein vestibuläres Ungleichgewicht beurteilt.

Die einzige Methode, mit der der Bogengangsapparat, genauer der horizontale Bogengang, seitengetrennt untersucht werden kann, ist die thermische Prüfung. Durch entsprechende Lagerung des Kopfes wird versucht, den horizontalen Bogengang möglichst isoliert thermisch zu erregen. Dies geschieht über eine Spülung des äußeren Gehörgangs mit Wasser, die Applikation von Luft dagegen liefert wesentlich ungenauere Ergebnisse. Der so induzierte Temperaturgradient und der damit verknüpfte Wärmestrom leiten letztlich eine Endolymphströmung im Bogengang ein, und damit wird eine Cupulaablenkung hervorgerufen (Scherer und Helling, 2001).

Die bei diesem Vorgang ausgelösten Augenbewegungen kann man unter der

Frenzel-Brille, mit Hilfe der Elektronystagmographie (ENG) oder auch mit der Videookulographie (VOG) registrieren.

Bei der Drehung des Kopfes um seine Mittelachse werden beide Bogengangsorgane synchron erregt. Durch entsprechende Kopfpositionierung versucht man auch hier, nur die horizontalen Bogengänge zu erregen.

Die Reaktion der Augen spiegelt bei der rotatorischen Prüfung das Ergebnis einer beidseitigen Stimulation nach ihrer zentralen Verarbeitung wieder.

Beurteilt werden die perrotatorischen und postrotatorischen Nystagmen jeweils bei einer Rechts- und Linksdrehung.

Bedingt durch die anatomische Lage der beiden vertikalen Bogengänge ist es außerordentlich schwierig, diese selektiv zu reizen. Nur durch die aufwendige Konstruktion eines kardanisch aufgehängten Drehstuhls ist es möglich, eine selektive Reizung durchzuführen.

1.3.2.1.2. Otolithentests

Bis vor wenigen Jahren war es üblich, das Ergebnis der thermischen Prüfung auf die Funktion des gesamten Vestibularapparates zu übertragen, obwohl bei der thermischen Prüfung tatsächlich nur der horizontale Bogengang stimuliert wird.

Die Entwicklung der letzten Jahre dagegen brachte nunmehr auch spezifische Tests für die Funktionsbestimmung des Otolithenapparates hervor.

Utriculustests

Der Utriculus dient der Erfassung linearer Kopfbewegungen. Er ist so im Kopf gelagert, dass beim aufrecht sitzenden Menschen bevorzugt Bewegungen in der Horizontalebene gemessen werden. Der angreifende Vektor wird daher durch Translationsbewegungen in der Horizontalebene, aber auch durch Neigungen des Kopfes zur Seite verändert. Dies führt zu einem an der Augenposition ablesbaren Phänomen, der Gegenrollung der Augen (OCR – ocular counterrolling). Bei Seitwärtsneigung des Kopfes um die Rollachse treten kompensatorische Augenverrollungen zur Gegenseite auf. Sie erreichen 10-15

Winkelgrad, wenn der Kopf zwischen 60 und 90 Grad gekippt wird (Diamond und Markham, 1979).

Seit Einführung videookulographischer Methoden auch für Augenbewegungen um die Sehachse, also Torsionen, ist es prinzipiell möglich, dieses Phänomen in der klinischen Routine zu messen. Noch sind die Geräte zur Erfassung der Torsionen aber nicht so ausgereift, als dass diese Methode für die Alltagsroutine empfohlen werden kann.

Im Bereich der bewussten Orientierung setzt sich die Utriculusfunktion in die Empfindung der Vertikalität um. Messbar wird dieses Phänomen durch die Bestimmung der visuellen, subjektiven Vertikalen (VSV). Im Rahmen der klinischen Untersuchung erhält der Patient die Instruktion, im dunklen Raum eine Leuchtlinie senkrecht zu stellen. Zahlreich klinische Untersuchungen haben gezeigt, dass in der Akutphase vestibulärer Läsionen Abweichungen der VSV von bis zur 20 Winkelgrad auftreten können, die im Verlauf von wenigen Wochen durch Kompensationsmechanismen zu Normalwerten zurückfinden (Bonkowsky und Hamann, 1987).

Dass auch die zentralen Abschnitte der Otolithenbahnen an der VSV-Bestimmung teilnehmen, belegen die Untersuchungen von Dieterich und Brandt. Sie beobachteten erhebliche VSV-Abweichungen bei Läsionen im Hirnstamm, Thalamus und Kortex (Brandt und Dieterich, 1994)

Zusammenfassend kann man feststellen, dass die relativ einfache Methode der VSV-Bestimmung nach heutiger Ansicht die Funktion des Utriculus (Böhmer und Mast, 1999), aber auch die Funktion der zentralen Otolithenbahn (Brandt und Dieterich, 1994) widerspiegelt.

1.3.3. Vestibulospinale Haltungsreaktionen

1.3.3.1. Subjektive Tests

Die klassischen vestibulo-spinalen Prüfungen, wie der Romberg-Stehversuch oder der Unterberger–Tretversuch, unterliegen sehr stark subjektiven Einflüssen durch den Patienten und liefern häufig nur eingeschränkte Aussagen, da bei der Haltungsreaktion auch nicht vestibuläre Kompensationsmechanismen vestibuläre Schäden überdecken können.

Technisch aufwendigere Verfahren mittels EMG oder Posturographie liefern dagegen einen objektiven Zugang zu vestibulären Störungen, die darüber hinaus eine Differentialdiagnostik des vestibulären Systems ermöglichen.

1.3.3.2. Sacculustest (Vestibulär evozierte myogene Potentiale – VEMP)

Der Sacculus ist mit seinen Sinneszellen im Kopf so gelagert, dass er bevorzugt Kopfbewegungen in vertikaler Richtung aufnehmen kann. Eine spezifische Untersuchung des Organs ist theoretisch mit einem fahrstuhlähnlichen Gerät möglich, in der Klinik aber praktisch nicht umsetzbar.

Alternativ steht seit nunmehr rund 12 Jahren eine Methode zur Verfügung, die als selektiver Sacculustest angesehen wird – die vestibulär evozierten myogenen Potentiale – auch VEMP genannt.

Bei der Entwicklung der Methode stand anfangs die Beobachtung, dass sich durch laute Clickreize, die über den äußeren Gehörgang auf ein Ohr gegeben wurden, über dem Musculus sternocleidomastoideus zwei Potentialkomplexe auslösen ließen. Schon auf Grund einfacher klinischer Beobachtungen ließ sich auf die Quelle der beiden Potentialkomplexe schließen.

Der frühe Wellenzug P13 - N23 (nach den Latenzen und der Polarität benannt) war bei Patienten nach selektiver Neurektomie des Nervus vestibularis bei erhaltener Hörfunktion nicht mehr ableitbar (Colebatch et al. 1992), der späte

Wellenkomplex N34-P44 aber vorhanden. Dagegen fehlte das späte Doppelpotential bei Ertaubten, während der erste Wellenkomplex erhalten geblieben war. Nachdem die vestibuläre Natur des Wellenkomplexes P13-N23 erkannt worden war, gelang es, den Sacculus als eigentlichen Auslöser dieses frühen Potentials zu identifizieren (Halmagyi und Colebatch 1995). Mit Hilfe von Meerrettichperoxidase als Tracer konnte gezeigt werden, dass es der Sacculus ist, der für die Auslösung des P13-N23 Potentials verantwortlich ist (Murofushi und Curthoys 1997).

Es gilt heute als allgemein anerkannt, dass der Sacculus die Quelle für den ersten Potentialkomplex (P13-N23) und die Cochlea für den späten Potentialkomplex (N 34-P44) darstellt.

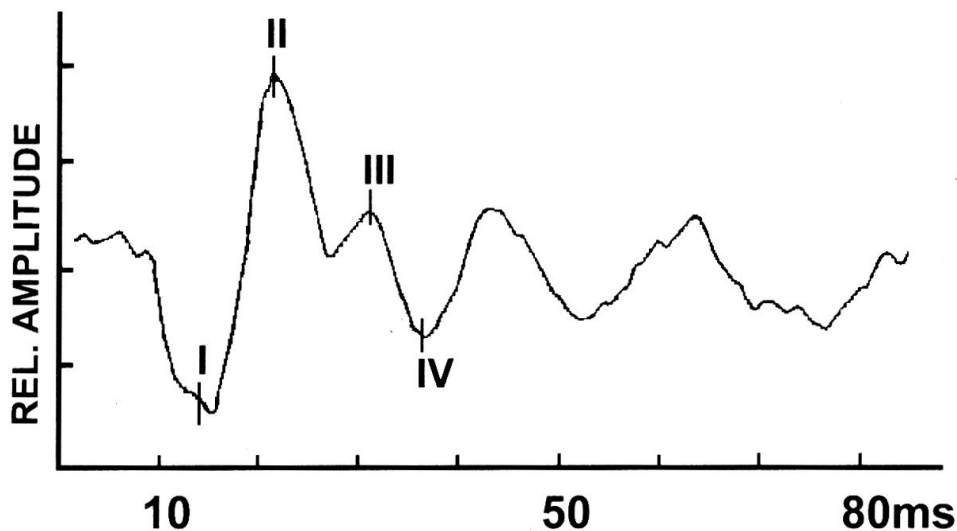


Abb. 5: VEMP-Originalableitung, I;II (p13, n23) – Sacculärer Komplex, III, IV (n34, p44) – cochleärer Komplex

Bereits 1995 gelang es Murofushi et al., beim Meerschweinchen am Vestibularnerven evozierte Antworten auf Clickreize hoher Intensität (60-80dB)

nachzuweisen. Die Clicks führen zu einer Erregung des ipsilateralen Sacculus, die eine reflektorische Muskelantwort in der Halsmuskulatur auslöst (Ferber-Viart et al., 1998, Wu et al. 1999), die besonders gut am Musculus sternocleidomastoideus der gleichen Seite ableitbar ist. Dieser Reflex wird den „vestibulo-colic (sacculo-cervical) Reflexen“ zugeordnet und stellt wohl ein phylogenetisches Relikt dar (Schor et al. 1992). Obwohl eine physiologische Bedeutung des Reflexes für den heutigen Menschen nicht mehr erkennbar ist, erlaubt die Messung der VEMP eine selektive Beurteilung der ipsilateralen Sacculusfunktion.

Mit dieser Methode können nun bestimmte Fragen zur Topodiagnostik bei verschiedenen vestibulären Erkrankungen beantwortet werden.

Beim Morbus Menière kann z. B. geprüft werden, inwieweit der Sacculus in das Geschehen mit einbezogen ist.

Bei der Neuritis vestibularis kann geprüft werden, ob der inferiore Ast des Nerven ausgespart wurde, oder ob er in die Entzündung mit einbezogen ist. Auch bei der Früherkennung von Kleinhirnbrückenwinkeltumoren, hier insbesondere bei Vestibularisschwannomen, ist die Ableitung der VEMP möglicherweise von Bedeutung, da durch eine Beeinträchtigung der unteren Anteile des Nervus Vestibularis durch den Tumor eine Veränderung der Potentiale zu erwarten ist.

Ganz allgemein kann die Ableitung der VEMP Aufschluss darüber geben, ob unklare Schwindelbeschwerden, die bei den sonst üblichen Untersuchungen keine pathologischen Befunde ergeben, eventuell auf eine isolierte Sacculusfunktionsstörung zurückzuführen sind. Letzteres kann gerade bei Gutachten eine erhebliche Bedeutung haben.

Verschiedene Faktoren zeigen die Grenzen der VEMP-Ableitungen auf. Da eine Schalleitungsschwerhörigkeit die Schallenergiezufuhr zum Innenohr reduziert und damit natürlich auch zum Sacculus, lassen sich je nach Ausprägung der Schalleitungsschwerhörigkeit trotz intakter Sacculusfunktion keine VEMP ableiten, da offensichtlich die Reizschwelle nicht erreicht wird.

Weiterhin scheint nach Beobachtungen von Ochi und Ohashi (2003) die VEMP-

Ableitung mit zunehmendem Alter zumindest erschwert zu sein, wobei es sich dabei aber vor allem um eine Zunahme der Schwellreizstärke handelt und nicht um einen kompletten Ausfall der VEMP. Mit der Wahl einer entsprechend hohen Reizstärke (wie bei den vorliegenden Messungen mit der Reizstärke von 120 dB erfolgt) sollte dieses Problem bei der Untersuchung weitgehend zu vernachlässigen sein.

1.3.4. Zentral-vestibuläre Tests

Neben der Abklärung der peripheren vestibulären Funktionen ist es natürlich auch wichtig, die zentralen Bahnen zu untersuchen, um an ihnen gelegene Läsionen, z. B. im Rahmen eines Schlaganfallgeschehens, aufzudecken.

Der wichtigste Test, um die zentral-vestibuläre Funktion zu prüfen, ist der rotatorische Test. Hierbei wird der Patient um die Körperachse gedreht. Dabei werden beide Vestibularapparate synchron erregt und das Ergebnis der zentralen Integration wird an den Augenbewegungen als rotatorisch ausgelöster Nystagmus sichtbar.

Bei Gesunden treten bei Rechts- und Linksdrehungen symmetrische Reaktionen auf. Bei akuten, nicht kompensierten peripher-vestibulären Schäden, aber auch bei Läsionen im Vestibulariskerngebiet werden die Reaktionen im Seitenvergleich asymmetrisch. Mit Fortschreiten der zentral-vestibulären Kompensationsvorgänge stellen sich dann aber im Verlauf im Allgemeinen wieder symmetrische Antworten ein. Somit kann über die rotatorische Prüfung eine Abschätzung der zentralen Kompensationsleistung bei vestibulären Schädigungen erfolgen (Westhofen, 2001).

Andere zentral-vestibuläre Test prüfen okulomotorische Leistungen, an denen das vestibuläre System mit beteiligt ist.

Bei der Pendelblickfolge (eye-tracking-test) wird z. B. geprüft, ob langsame Folgebewegungen glatt durchgeführt werden können oder ob sie sakkadiert sind.

Während gesunde Probanden, aber auch Patienten mit einer peripher-vestibulären Läsion Blickzielgeschwindigkeiten bis zu 20 Grad/Sekunde glatt ausführen können, ist dies Patienten mit zentral-vestibulären Läsionen nicht möglich – die Augenfolgebewegung erscheinen sakkadiert. (Hamann, 2001).

Das System der schnellen Blickfolgebewegungen wird durch Auslösung des optokinetischen Nystagmus (OKN) geprüft. In diesem Test wird durch das Vorbeiführen sich schnell bewegendere Streifenmuster vor den Augen ein optokinetischer Nystagmus reflektorisch ausgelöst.

Der Seitenvergleich der okulomotorischen Reaktionen und die Analyse des Folgerhythmus gestatten Hinweise auf zentral-vestibuläre Störungen (Hamann, 2001).

1.4. Fragestellung

Die vorliegende Arbeit will anhand der retrospektiven Auswertung von 1075 in der HNO-Klinik des Klinikums rechts der Isar erhobener VEMP-Ableitungen und einer Analyse der Literaturdaten eine Bewertung bezüglich der Aussagekraft und des Indikationsspektrums der „Vestibulär evozierten myogenen Potentiale – VEMP - geben.

2. Methodik

2.1. Patientenkollektiv

Von 2001 bis 2004 wurden an der HNO-Klinik des Klinikums rechts der Isar zu den unterschiedlichsten Fragestellungen insgesamt 1075 VEMP-Untersuchungen durchgeführt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die gespeicherten Untersuchungen retrospektiv nochmals entsprechend dem unten näher ausgeführten Algorithmus ausgewertet. Die Patienten wurden auf Grund ihrer Diagnosen in folgende Gruppen unterteilt:

1. Normalpersonen
2. Neuritis vestibularis
3. M. Menière
4. BPPV
5. Kleinhirnbrückenwinkeltumore
6. isolierte Sacculusstörungen
7. verschiedene Krankheitsbilder
8. Schwindel unklarer Genese
9. Gutachten

In Gruppe 7 wurden die Krankheitsbilder Tinnitus, Otosklerose, Z. n. Lärmtrauma, Neurofibromatose, MS, Meningitis, Mastoiditis, Meningeom, Labyrinthfistel, Subduralhämatom, Hörsturz und Kleinhirnatrophie zusammengefasst.

Auf Grund der einfach blind, also zunächst ohne Kenntnis der Diagnosen, durchgeführten Auswertung war die subjektive Beeinflussung der Ergebnisse weitestgehend ausgeschlossen.

2.2. Apparative Voraussetzungen

Für die Durchführung der Messungen wurden zur Reizerzeugung ein Clickgenerator und ein Kopfhörer benutzt, bei denen Reizstärke (Schalldruckpegel) und die Reizfolgefrequenz variabel einstellbar sind.

Um die Vestibulär Evozierten Myogenen Potentiale vom (rechten und linken) Musculus sternocleidomastoideus abzuleiten, wurde die Software Neuroscreen der Firma Jaeger/Toennies und die Ableitelektroden (AG/AGCI) der Firma Hörniß und Zeisberg verwendet.

Die Auswertung und Dokumentation erfolgte über einen Ausdruck.

2.3. Untersuchungsablauf

Vor der Untersuchung wurden die Patienten HNO-ärztlich untersucht, wobei Pathologien im Bereich des Gehörganges oder des Trommelfells ausgeschlossen wurden.

Nach Aufklärung des Patienten über den Untersuchungsablauf, die auch Instruktionen über die zur Ableitung der VEMP notwendige Kopfhaltung mit Druck gegen die Untersucherhand beinhaltete, erfolgte das Anbringen der Ableitelektroden.

Die vorgesehenen Hautstellen wurden zur Verringerung des Hautwiderstandes zunächst entfettet und mit einem abrasiven Hautgel konditioniert und die Elektroden im Anschluss dann wie folgt platziert:

- eine Elektrode als Erdung zentral auf der Stirn des Patienten
- auf jeder Seite eine Elektrode unter dem Mastoid (dem Ursprung des M. sternocleidomastoideus (positiv)
- auf jeder Seite eine Elektrode über dem Ansatz des Ableitmuskels (negativ) kurz oberhalb der Clavikula.

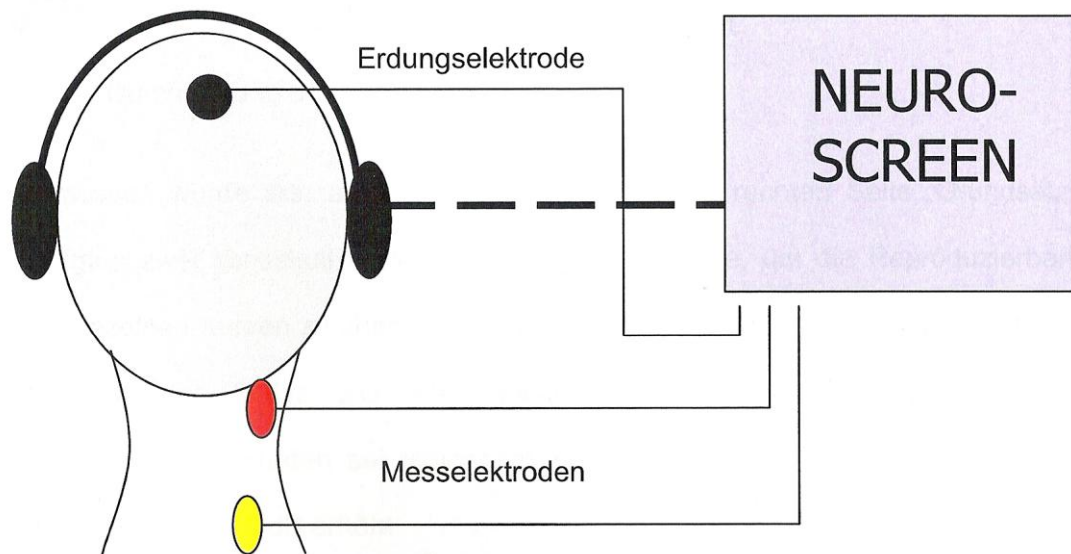


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Elektrodenposition

Um optimale Ableitbedingungen sicherzustellen, erfolgte vor der eigentlichen Potentialmessung eine Impedanzmessung der Elektroden.

Außerdem wurde der Patient nach dem Aufsetzen der Kopfhörer gebeten, seinen Kopf um 90 Grad zur Seite zu drehen und diesen mit gleich bleibendem Druck gegen die Hand des Untersuchers zu drücken, was einen möglichst konstant hohen Muskeltonus im ipsilateralen Ableitmuskel während der Messung gewährleisten sollte.

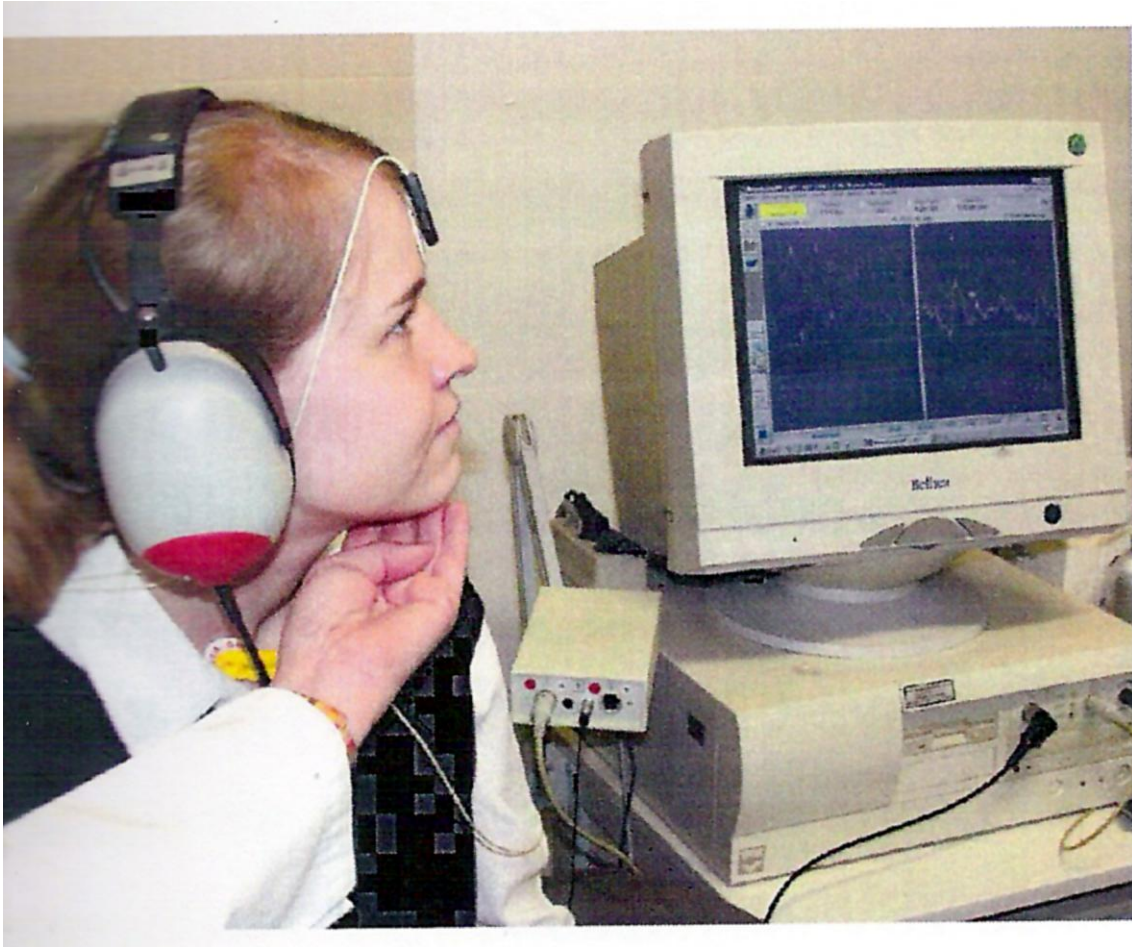


Abbildung 7: Originalbild mit Druck gegen die Untersucherhand

Gemessen wurde seitentrennt zuerst auf der linken, dann auf der rechten Seite. Pro Seite erhielt der Patient zwei mal 256 Klickreize von 0.1 ms Dauer mit einer Intensität von 120 dB (SPL) sowie einer Reizfolgefrequenz von 3 Hz. Die Messung wurde jeweils zweimal durchgeführt, um die Reproduzierbarkeit der Potentiale beurteilen zu können.

Nach automatischer Mittelung der jeweils 256 Einzelsignale ließ sich abschätzen, ob eine typische Reizantwort vorlag.

Im Anschluss an die eigentliche Messung wurde ab Untersuchungsnummer 400 mit dem entsprechenden Teilprogramm von Neuroscreen auch das Spontan-EMG des Musculus sternocleidomastoideus mitregistriert, um eventuell

vorhandene Unterschiede im Spontan-Muskeltonus, die auf das Ergebnis einen erheblichen Einfluss haben können, zu erfassen.

Die komplette Durchführung einer beidseitigen VEMP-Messung dauert ca. 30 Minuten.

2.4. Auswertung

Bei der Auswertung der Aufzeichnungen wurde als erstes überprüft, ob ein typischer Potentialkomplex nachgewiesen werden konnte. Im Anschluss erfolgte ein Seitenvergleich der Amplituden.

Im Sinne der Reproduzierbarkeit wurde erwartet, dass sich die Potentialfolge auch bei der zweiten Messung auf der gleichen Seite in ähnlicher Weise reproduzieren ließ.

Für die Beurteilung der Potentialform war das Vorhandensein der typischen Abfolge von zwei Wellenkomplexen, insgesamt aus vier Einzelwellen bestehend, mit den entsprechenden zu erwartenden Latenzzeiten ausschlaggebend.

Bei einer typischen Reizantwort lagen die Maxima des ersten, vestibulär ausgelösten, Wellenkomplexes bei 13 und 23ms (p13, n23) und des zweiten, cochleär ausgelösten, Wellenkomplexes bei 34 und 44ms (n34, p44).

Für die weitere Auswertung wurde ausschließlich die Amplitude des ersten Wellenkomplexes (p13, n23), der der Sacculusreizung zuzuordnen ist, berücksichtigt. Das Fehlen oder die verminderte Ausbildung dieses Potentials konnten als Ausfall oder als eingeschränkte Funktion des Sacculus gewertet werden. Ein signifikanter Seitenunterschied wurde auf Grund der hohen Variabilität erst bei einer Seitendifferenz von größer als 50% zwischen den Amplituden im Seitenvergleich gewertet.

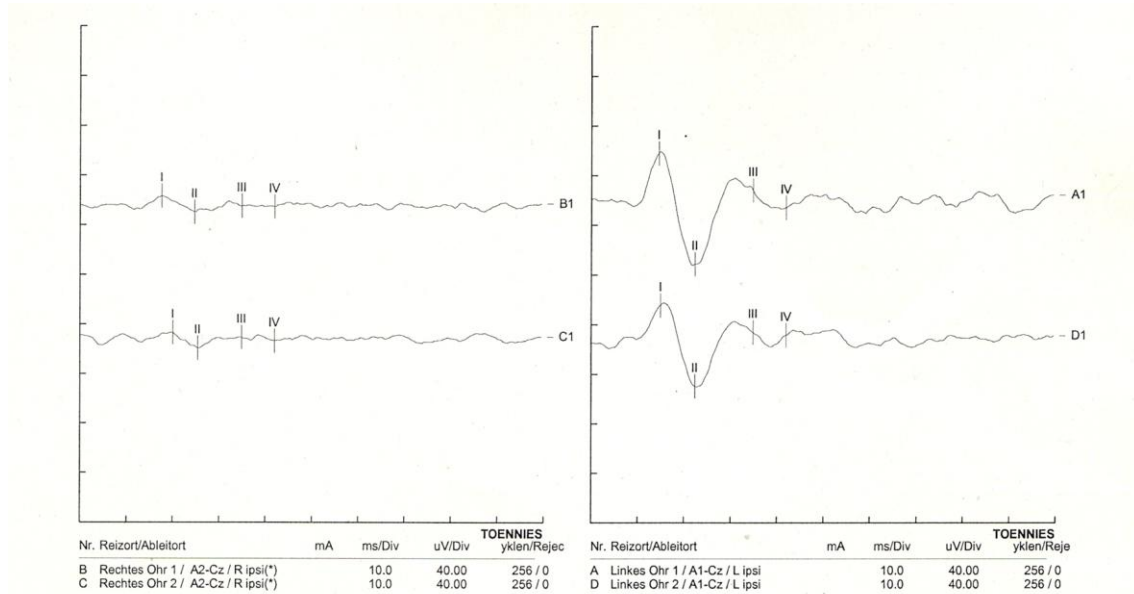


Abbildung 8: Originalableitung mit signifikantem Potentialunterschied

Der Amplitudenvergleich hatte allerdings nur bei den Patienten einen klaren Aussagewert, bei denen auch das Spontan-EMG beider Seiten als annähernd gleich zu werten war.

Bei einem Unterschied des Muskeltonus von mehr als 50% zwischen den Seiten war nur eine eingeschränkte Aussage möglich.

2.5. Anmerkungen zur Statistik

Die erhobenen Daten wurden der Fragestellung entsprechend nur den Methoden der deskriptiven Statistik unterworfen, da eine weiterführende statistische Auswertung keinerlei Einfluss auf die zu erwartenden Ergebnisse (Indikationsempfehlungen) gehabt hätte.

3. Ergebnisse

3.1. *Untersuchungskollektiv*

Von 2001 bis 2004 wurden in der HNO-Klinik des Klinikums rechts der Isar insgesamt 1075 Untersuchungen durchgeführt. Von diesen waren auf Grund unvollständiger Datenerfassung nur 1026 retrospektiv auswertbar.

Anhand der geprüften Unterlagen ließ sich letztlich 867 Aufzeichnungen eine definitive Diagnose aus dem HNO-Fachgebiet zuordnen, anhand derer die Einteilung in 9 Gruppen erfolgte.

Die restlichen 159 Patienten wurden auf Grund unvollständiger Datensätze nicht in die Untersuchung einbezogen.

1. Normalpersonen	67
2. Neuritis vestibularis	252
3. M. Menière	220
4. BPPV	68
5. Kleinhirnbrückenwinkeltumore	116
6. isolierte Sacculusschäden	7
7. Verschiedene Krankheitsbilder	56
8. Schwindel verschiedener Genese	57
9. Gutachten	24

Die endgültige Auswertung der Daten erfolgte dann getrennt für jede Gruppe.

3.2. Gruppe 1 – Normalpersonen

Von den 67 Normalpersonen waren bei 59 Probanden seitengleiche Potentiale nachzuweisen, bei 6 Probanden war seitengleich kein Potential nachweisbar. Lediglich 2 Probanden wiesen eindeutig seitenunterschiedliche Potentiale auf, die auch nicht über einen unterschiedlichen Muskeltonus zu erklären waren.

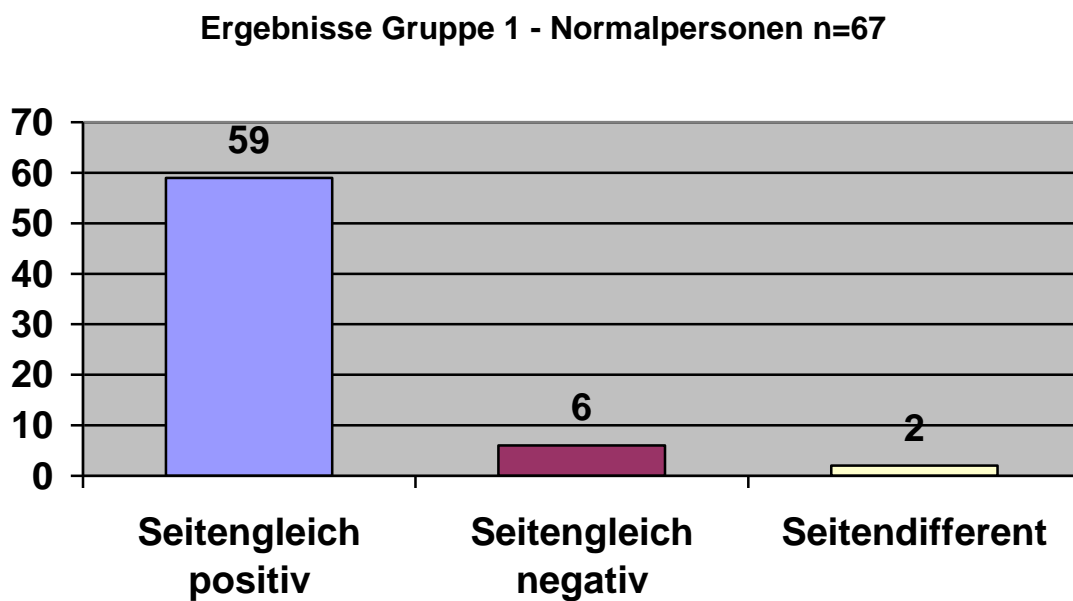


Abbildung 9: Diagramm Ergebnisse Normalpersonen

3.3. Gruppe 2 - Neuropathia vestibularis

Von den 252 Patienten hatten 159 (63,1%) keinen Seitenunterschied bei den Potentialen. Bei den restlichen 93 Patienten (36,9%) waren seitendifferente Potentiale festzustellen, die sich bei 80 Patienten (86%) mit einem kleineren Potential und bei 13 Patienten (14 %) mit einem größeren Potential auf der betroffenen Seite manifestierten.

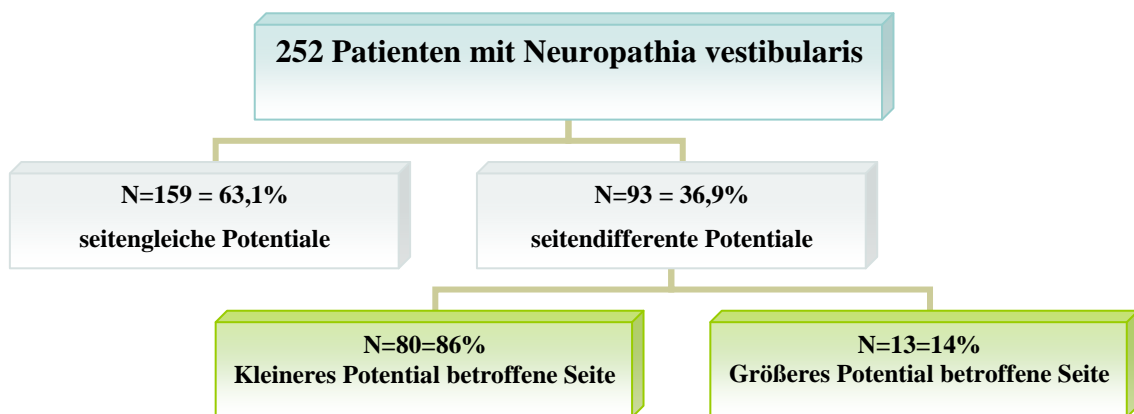


Abbildung 10: Diagramm Ergebnisse Neuropathia vestibularis

3.4. Gruppe 3 - M. Menière

Die Menière-Gruppe wurde nochmals unterteilt in 1. beidseitigen M. Menière und 2. einseitigen M. Menière

Zu 1. von 30 Patienten mit einem beidseitigen M. Menière waren bei 15 seitengleich positive und bei 7 seitengleich fehlende Potentiale festzustellen. Bei 8 Patienten waren die Potentiale seitendifferent.

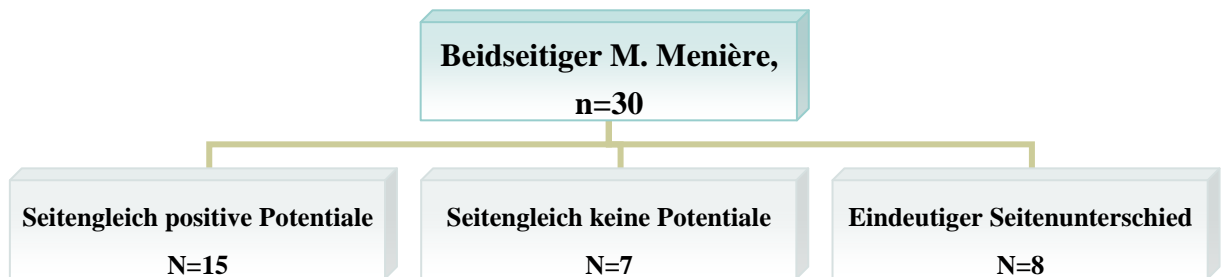


Abbildung 11: Diagramm Ergebnisse beidseitiger M. Meniere

Zu 2. Von 190 Patienten mit einseitigem M. Menière waren bei 103 (54,2%) seitengleiche Potentiale festzustellen. Bei 24 (12,6%) kam es zu einer Vergrößerung der Potentiale auf der betroffenen Seite und bei 63 (33,2%) zu einer Verkleinerung der Potentiale auf der betroffenen Seite.

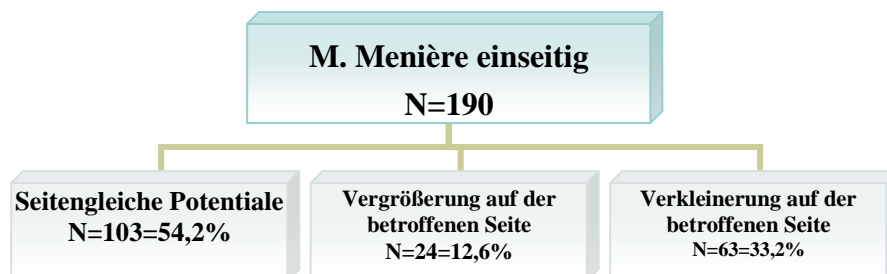


Abbildung 12: Diagramm Ergebnisse M. Menière einseitig

3.5. Gruppe 4 - *Benigner paroxysmaler Lagerungsschwindel (BPPV)*

Von 68 Patienten waren bei 26 eindeutig seitendifferente Potentiale zu erheben.
Bei den übrigen 42 war keine Seitendifferenz vorhanden.

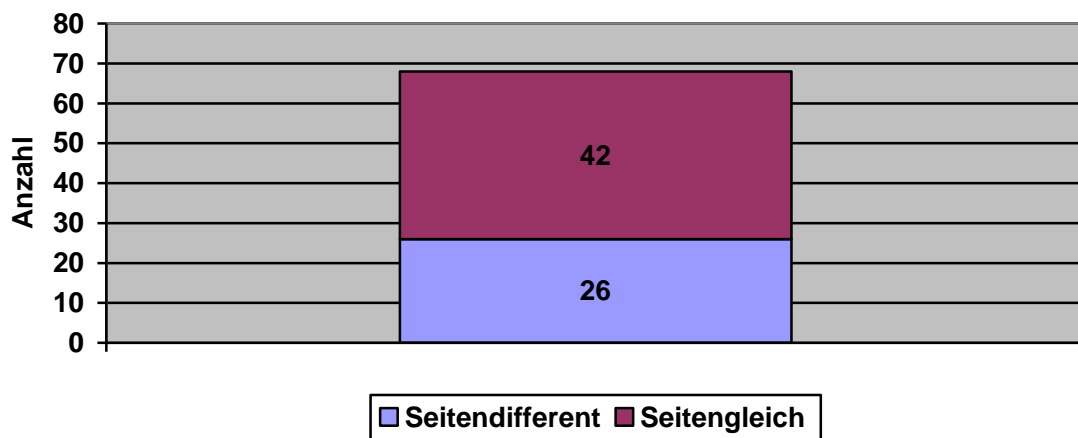


Abbildung 13: Diagramm Ergebnisse BPPV

3.6. Gruppe 5 – Kleinhirnbrückenwinkeltumore

Insgesamt waren in dieser Gruppe 116 Patienten, von denen

- a) 105 einen einseitigen Tumornachweis hatten, die restlichen
- b) 11 hatten einen beidseitigen Tumornachweis.

Diese Gruppen wurden getrennt ausgewertet.

Zu a:

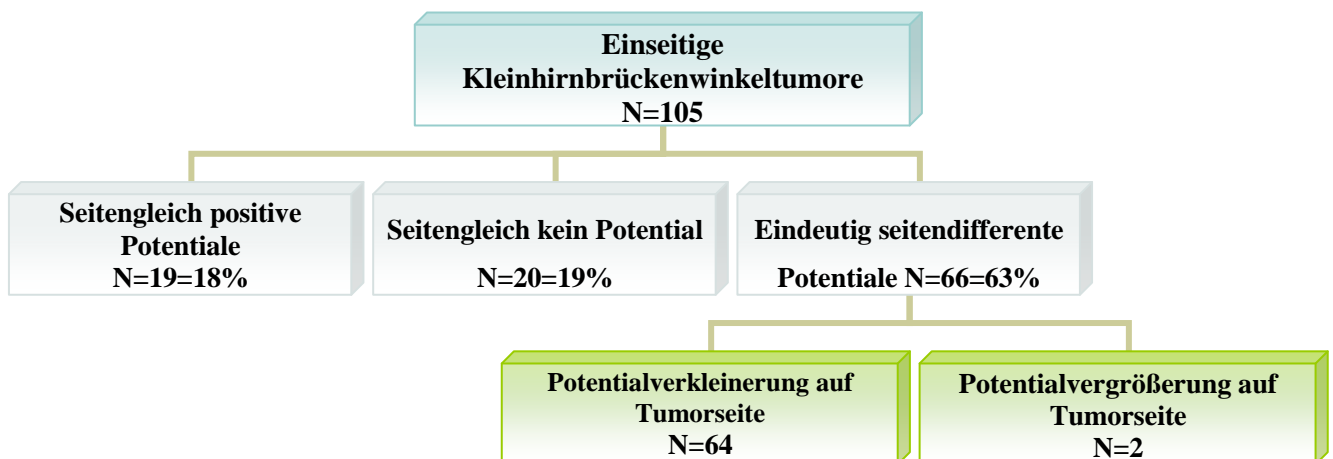


Abbildung 14: Diagramm Ergebnisse einseitige Kleinhirnbrückenwinkeltumore

Zu b: Von den 11 Patienten mit beidseitigem Tumornachweis zeigten 9 beidseits einen Ausfall der Potentiale. Bei den restlichen beiden handelte es sich um Patienten mit Zustand nach Therapie der Schwannome – hier waren eindeutig seitendifferente Potentiale zu erheben.

3.7. Gruppe 6 – isolierte Sacculusstörungen

In diese Gruppe fielen ursprünglich nur 7 Probanden, von denen bei 4 seitengleiche und bei 3 seitengleich negative Potentiale zu erheben waren. Eine der Schädigung zuordenbare Seitendifferenz ergab sich in keinem Fall.

3.8. Gruppe 7 – Verschiedene Krankheitsbilder

In dieser Gruppe wurden Krankheitsbilder zusammengefasst, die sich in keine der anderen Gruppen einordnen ließen und bei denen primär kein spezieller Verdacht auf eine Läsion des Sacculus oder des inferioren Vestibularnervenastes besteht. Von den 56 in diese Gruppe fallenden Patienten konnten bei 15 eindeutig seitendifferente Potentiale nachgewiesen werden.

Ergebnisse bei verschiedenen Krankheitsbildern
(Gruppe 7, n=56)

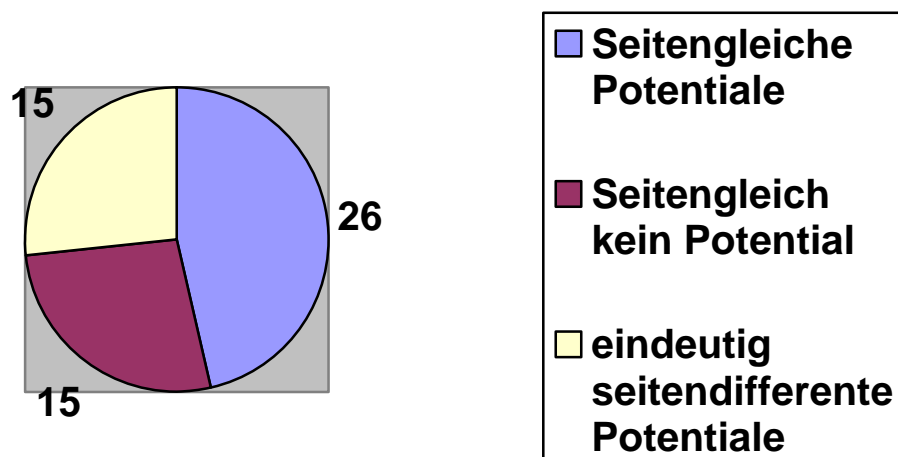


Abbildung 15: Diagramm Ergebnisse Gruppe 7 – verschiedene Krankheitsbilder

3.9. Gruppe 8 – Schwindel unklarer Genese

In diese Gruppe fielen 57 Patienten, von denen 22 eindeutig seitendifferente Potentiale aufwiesen.

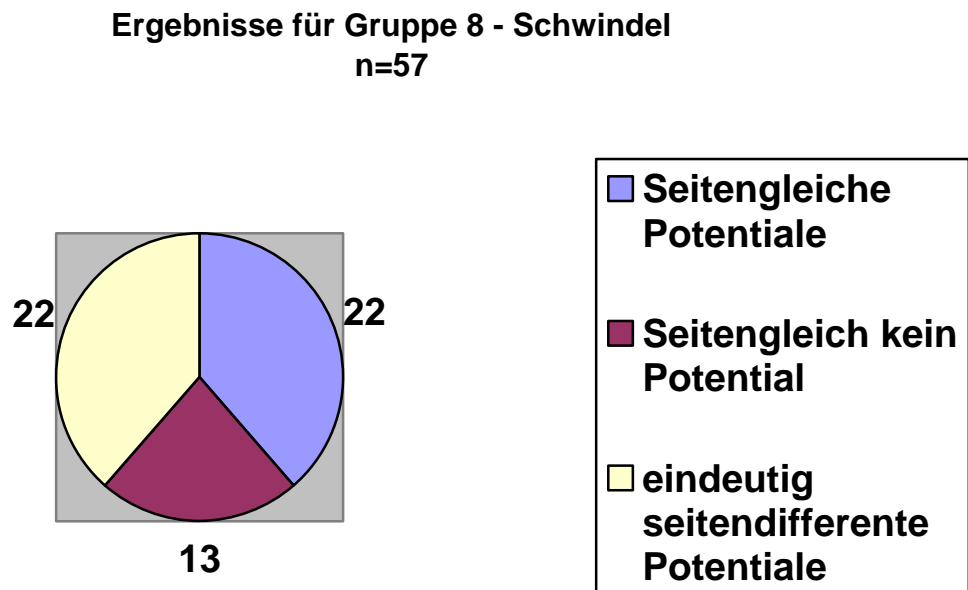


Abbildung 16: Diagramm Ergebnisse Gruppe 8 - Schwindel

3.10. Gruppe 9 – Gutachten

Insgesamt fielen in diese Gruppe 24 Patienten, von denen 9 eine eindeutige Seitendifferenz aufwiesen.

Ergebnisse für Gruppe 9 - Gutachten

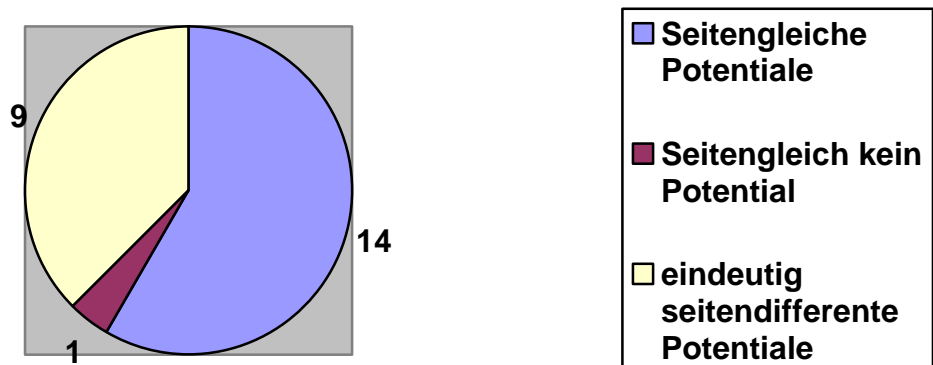


Abbildung 17: Diagramm Ergebnisse Gruppe 9 – Gutachten

4. Diskussion

4.1. Messmethode

In der vorliegenden Studie wurden die VEMP in der Form ausgewertet, dass nur das Vorhandensein und die Größe der Potentiale im Seitenvergleich bewertet wurden.

Verschiedene Autorengruppen (Alpini et al. 2005; Murofushi et al. 2001) haben bei den VEMP auch noch die Latenzzeit und die Schwellenlautstärke bestimmt, was die Verwendung der VEMP bei weiteren Krankheitsbildern gestatten würde. Mögliche Anwendungsgebiete wären hier zum Beispiel bestimmte Formen der Bogengangfisteln oder Erweiterungen des Saccus endolymphaticus, beides sehr seltene Krankheitsbilder, aber auch häufigere Erkrankungen, wie zum Beispiel die MS, die mit einer generellen Verlangsamung der Nervenleitgeschwindigkeit in den betroffenen Nerven und damit einer Latenzzeitverlängerung einhergeht.

Erst seit 1988 ist das Krankheitsbild der „Dehiszenz des oberen Bogenganges“ von Minor und Mitarbeitern definiert worden. Mehrere Autoren berichten in Einzelfallbeobachtungen, dass beim Fehlen der knöchernen Abgrenzung vom oberen Bogengang zur mittleren Schädelgrube ipsilateral VEMP mit überhöhter Amplitude bzw. bei einer niedrigeren Reizschwelle auszulösen waren (Brantberg et al. 1999, Streubel et al. 2001).

Interessanterweise wird auch beim Tullioophänomen, dem durch hohe Schallintensitäten ausgelösten Nystagmus, von einer Potentialvergrößerung der VEMP berichtet (Colebatch et al. 1994).

Von Scheykholeslami et al. (2004) konnte in per hochauflösender Computertomographie gesicherten Fällen eines „weiten vestibulären Aquäducks“ erhöhte Potentialamplituden bzw. erniedrigte Reizschwellen nachgewiesen werden.

Bei einer Schwellenwertbestimmung für die VEMP-Auslösung muss ein seitengleicher Muskeltonus vorausgesetzt werden, was prinzipiell über ein Biofeedbackverfahren möglich ist und auch von mehreren Autoren

(Sheykholeslami et al. 2004, Tsutsumi et al. 2001) durchgeführt wurde, aber im normalen Klinikalltag nicht realistisch ist. Hier liegt auch eine erhebliche Fehlerquelle bei der Ableitung der VEMP, da ein ausreichend hoher Muskeltonus für verwertbare Potentiale Voraussetzung ist (Abb. 18).

Bei den in dieser Studie ausgewerteten Messungen ist erst ab der 400-sten Untersuchung routinemäßig der Muskeltonus mit registriert worden, da in der Anfangszeit der erhebliche Einfluss des Muskeltonus noch nicht erkannt worden war. Vor allem die Ergebnisse der ersten 400 Messungen sind unter diesem Gesichtspunkt mit Vorbehalt zu betrachten.

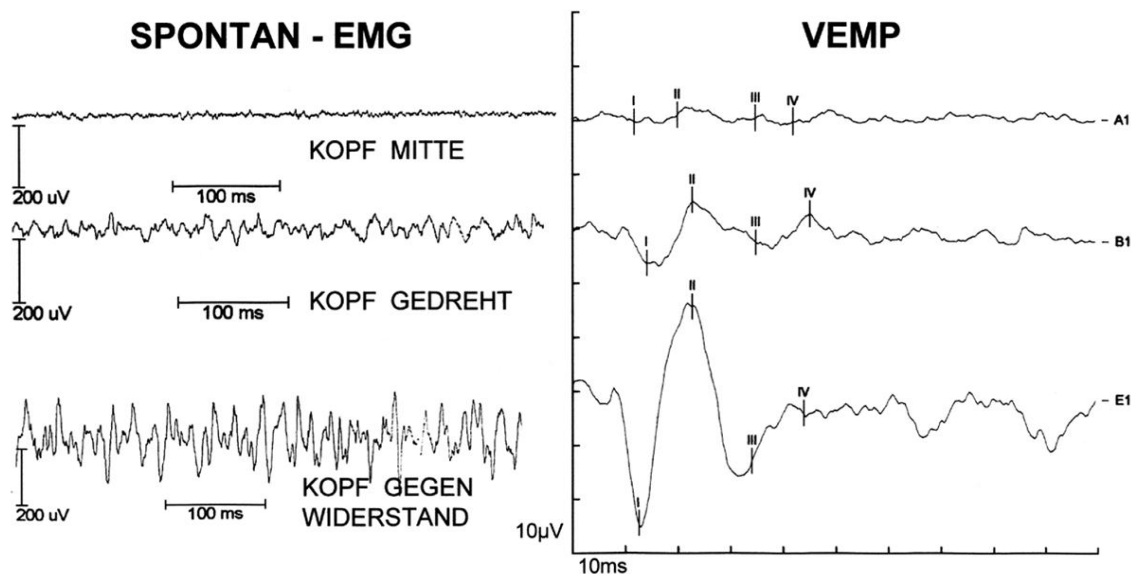


Abbildung 18: Einfluss des Muskeltonus auf die VEMP bei einer Versuchsperson (aus Hamann, Haarfeldt 2006)

In der Literatur wird das Ansteigen der für das Auslösen der VEMP notwendigen Reizschwelle im Altersgang beschrieben (Ochi K., Ohashi T. 2003).

Die in den ausgewerteten Untersuchungen benutzten Reizstärken von 120 dB (SPL) lagen weit über der normalen Schwellenreizstärke von ca. 90 dB (SPL), was das altersbedingte Ansteigen der Reizschwelle zumindest teilweise kompensieren dürfte.

Letztlich kann aber eine deutliche Schalleitungsschwerhörigkeit die Schallenergiezufuhr zum Innenohr und damit auch zum Sacculus reduzieren, was je nach Ausprägung der Schalleitungsschwerhörigkeit trotz intakter Sacculusfunktion zu einem Verschwinden der VEMP führen kann. In diesem Fall wird dann offensichtlich die für das Erreichen der Reizschwelle notwendige Energie nicht mehr erreicht.

Manche Autoren setzen für die Reizung tieffrequente Burst-Reize (500Hz, 1000Hz) an Stelle von Clickreizen ein (Ushio et al. 2001, Wu et al. 1999, Cheng et al. 2003), was teilweise zu verbesserten Ergebnissen führte. In einer in der HNO-Klinik des Klinikums rechts der Isar durchgeführten Vergleichsstudie konnte keine Überlegenheit für die eine oder andere Methode festgestellt werden (Hamann, Vabulaite, 2005).

4. 2. Untergruppenauswertung

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass, wie bei anderen Funktionsprüfungen des vestibulären Systems auch, mit der vorliegenden Methode allein keine Diagnosestellung möglich ist.

Vielmehr müssen die Ergebnisse im Zusammenhang mit anderen Befunden, vor allem auch mit der Anamnese und den Ergebnissen der anderen vestibulären Prüfmethode interpretiert werden.

Da die Ableitung der VEMP eine Funktionseinschätzung des ipsilateralen Sacculus und seiner Bahn ermöglicht, gestatten die Ergebnisse eine Aussage darüber, inwieweit der Sacculus und/oder der Nervus vestibularis inferior in das Krankheitsgeschehen einbezogen sind.

4.2.1. Normalpersonen

Bei den Normalpersonen konnte bei 88% ein seitengleiches Potential ausgelöst werden, was ungefähr mit den anderen Arbeitsgruppen übereinstimmt. Die gleichzeitig negativen bzw. seitendifferenten Befunde sind über die Fehlermöglichkeiten der Methode, wie zum Beispiel kein genügender oder primär bereits seitendifferenter Muskeltonus und höheres Alter mit entsprechender Schalleitungsschwerhörigkeit, gut zu erklären.

4.2.2. Neuritis vestibularis

Die Neuritis vestibularis stellt eines der häufigsten Krankheitsbilder unter den Schwindelerkrankungen dar. Es handelt sich um ein monosymptomatisches Krankheitsbild, dessen Ursache in einer viralen Entzündung des Vestibularnerven gesehen wird (Arbusow et al. 1999).

Aufgrund verschiedener Befunde wird angenommen, daß sie in vielen Fällen den inferioren Ast des Nervus vestibularis ausspart (Fetter und Dichgans 1996). Das würde bedeuten, dass sacculusevozierte Antworten, die ja überwiegend über den Nervus vestibularis inferior geleitet werden, noch ableitbar sind, auch wenn in der thermischen Prüfung eine Funktionsminderung des horizontalen Bogenganges, der vom oberen Vestibularnerven versorgt wird, nachgewiesen wurde.

In der Literatur fanden sich in einem kleinen Kollektiv von Chen et al. 2000 bei 7 von 8 Patienten normale VEMP, in den Kollektiven von De Waele und Tran Ba Huy bei 2/3 der Patienten.

In unserem Patientengut fanden sich bei 159 von 252 Patienten (63,1%) seitengleiche Potentiale.

Von den nicht seitengleichen Potentialen zeigten 86% eine Verringerung bzw. einen Potentialausfall auf der betroffenen Seite.

Bei den restlichen Patienten war ein größeres Potential auf der betroffenen Seite feststellbar, ein Befund, der sich aus dem Pathomechanismus heraus nicht erklären lässt. Auffallend dabei war aber, dass die meisten dieser Befunde aus der Anfangszeit der Messungen stammte und demzufolge keine Aufzeichnungen bezüglich des spontanen Muskeltonus vorlagen. Es muss somit davon ausgegangen werden, dass ein Großteil dieser Befunde auf Grund eines seitendifferenten Muskeltonus zustande gekommen ist.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass bei der Neuritis vestibularis in einer Mehrheit der Fälle der Nervus vestibularis inferior nicht beteiligt ist.

Wenn eine Beteiligung des Nervus vestibularis inferior besteht, kann über die VEMP-Messung mit knapp 90%-iger Genauigkeit eine Seitenlokalisierung der Nervenschädigung erfolgen.

4.2.3. Morbus Menière

Für den M. Menière, der gekennzeichnet ist durch das anfallsweise Auftreten von Schwindelanfällen, meist Drehschwindel, Schwerhörigkeit, Ohrgeräuschen und Ohrdruck, gilt als pathologisch-anatomisches Substrat ein Endolymphhydrops. Dieser wird nach heutiger Auffassung durch eine Störung der Endolymphrückresorption im Saccus endolymphaticus (Hamann und Arnold, 1999) hervorgerufen. Die wechselnde Symptomatik bei der Menièreschen Erkrankung deutet darauf hin, dass der Endolymphhydrops unterschiedlich lokalisiert und damit auch im Sacculus vorhanden sein kann. Klinisch müsste er sich dann als Schwindel mit Scheinbewegungen in vertikaler Richtung bemerkbar machen.

Die Ableitung der VEMP gibt die Möglichkeit festzustellen, ob der Sacculus in das Krankheitsgeschehen mit einbezogen ist oder nicht.

In einer Studie von Hamann und Goedsche 2005 waren in 36% der Fälle seitengleiche Antworten zu verzeichnen, bei 57% ausgefallene oder erniedrigte Antworten und in 7% der Fälle vergrößerte Antworten.

Bei den in dieser Arbeit ausgewerteten 190 Patienten mit einem einseitigen M. Menière konnten bei 54.2% der Fälle seitengleiche Potentiale erhoben werden, bei 33.2% der Fälle kam es zu einer Potentialverkleinerung auf der betroffenen Seite und in 12.6% der Fälle zu einer Potentialvergrößerung auf der betroffenen Seite.

Diese drei Antwortmuster beim M. Menière lassen sich vom Mechanismus her gut erklären.

Im beschwerdefreien Intervall ist mit seitengleichen normalen Potentialen zu rechnen. Ist die Erkrankung bereits fortgeschritten und hat zu einer bleibenden Läsion am Sacculusepithel geführt, kommt es zu fehlenden oder deutlich verringerten Potentialamplituden der VEMP.

Interessanterweise sind in einigen Fällen auf der erkrankten Seite deutlich größere VEMP ableitbar als auf der gesunden Seite. Dieser Befund lässt sich dadurch erklären, dass durch den Endolymphhydrops die Endolymphmembran

näher an das ovale Fenster gedrückt wird und damit die Schalldruckübertragung verbessert wird. Die Vergrößerung der VEMP auf der erkrankten Seite ist also als Äquivalent für den Endolymphhydrops aufzufassen.



Abbildung 19: Räumliche Beziehung zwischen Gehörknöchelchen (Stapes) und Sacculus bei Endolymphhydrops (Hamann K.F., Haarfeldt 2006, S. 421)

Ähnliche Daten wurden auch von Young et al. 2002 bei einem kleineren Kollektiv berichtet.

In einem Kollektiv von 12 Patienten, bei denen von Kuo et al. (2005) die VEMP im Menière-Anfall gemessen wurden, konnten nur in 7 Fällen verringerte Potentiale gemessen werden, ansonsten waren die Potentiale mit seitengleicher Amplitude ableitbar.

Ipsilateral vergrößerte Amplituden fanden sich in dieser Studie nicht – offensichtlich hatte sich zum Zeitpunkt der Untersuchung der Endolymphhydrops bereits entleert.

Auch in Verbindung mit dem Glycerol-Test, bei dem geprüft wird, ob durch die stark hydrophile Wirkung des Glycerols über den osmotischen Effekt eine Flüssigkeitsverschiebung und damit eine Verringerung des Endolymphhydrops erreicht wird, wurden die VEMP bei der Diagnostik der Menièreschen Erkrankung eingesetzt (Shojaku et al. 2001, Magliulo et al. 2004).

Als eine Sonderform der Menièreschen Erkrankung werden die Tumarkinschen Otolithen Krisen angesehen, die sich eben nicht durch Drehschwindelanfälle bemerkbar machen, sondern durch Anfälle vertikaler Scheinbewegungen, die als „Drop-Attacks“ bezeichnet werden. Auch diese relativ seltene Form des M. Menière lässt sich über die selektive Beurteilung der Sacculusfunktion mittels der VEMP diagnostizieren.

Insgesamt gesehen steht mit den VEMP eine Methode zur Verfügung, die gerade beim M. Menière eine genauere Beurteilung der Beteiligung des Sacculus zulässt – in einigen Fällen können sogar Befunde erhoben werden, die als Hydropsäquivalent aufgefasst werden können.

4.2.4. Gutartiger paroxysmaler Lagerungsschwindel (BPPV)

Der gutartige Lagerungsschwindel ist ein heute gut verstandenes Krankheitsbild, das klinisch durch kurze, im Sekundenbereich liegende, Drehschwindelattacken im Zusammenhang mit Kopfbewegungen gekennzeichnet ist. Ursächlich wird eine Canalolithiasis angenommen, das Vorliegen von freien Otolithen in einem der Bogengänge, meist im hinteren vertikalen Bogengang.

Es handelt sich also um eine mechanische Störung, nicht um eine nervale Störung in einem der Otolithenapparate. Der Verlust der Otolithen am Rezeptor ist relativ betrachtet, wahrscheinlich so gering, dass eine funktionelle Störung

des Otolithenapparates selbst nicht nachweisbar ist.

In Anbetracht des Mechanismus wäre beim BPPV durch eine Ableitung der VEMP eigentlich keine Zusatzinformation zu erwarten, vielmehr sollten die Ergebnisse im Bereich der Normalpersonen liegen.

Umso erstaunlicher ist das in der vorliegenden Auswertung erhobene Ergebnis von immerhin einem Drittel eindeutig seitendifferenter, also pathologischer VEMP-Befunde.

Dieser Befund lässt sich aus dem pathophysiologischen Mechanismus heraus nicht erklären, vielmehr liegt die Vermutung nahe, dass bei einem Teil der Patienten eine Kombination aus isolierter Sacculusstörung und BPPV vorliegt. Möglicherweise könnte der Verlust der Otolithen im Sacculus doch so erheblich sein, dass es zu funktionellen Störungen kommt, die dann über die VEMP nachweisbar werden.

Da auch die empfohlene Therapieform (Lagerungstraining beim BPPV und Trampolinspringen bei den Sacculusstörungen) unterschiedlich ist, wäre in Anbetracht der vorliegenden Ergebnisse zumindest beim therapieresistenten BPPV die Durchführung einer VEMP-Ableitung zu empfehlen, um eine zusätzlich vorliegende Sacculusstörung zu sichern und der entsprechenden Therapie zuführen zu können.

Ein Sonderfall beim BPPV ist die Kombination von Neuritis vestibularis und Canalolithiasis derselben Seite – das Lindsay-Hemenway-Syndrom, bei dem die Ableitung der VEMP bei der Diagnosestellung auf jeden Fall zu empfehlen ist.

6.2.5. Kleinhirnbrückenwinkeltumore

Kleinhirnbrückenwinkeltumore sind meist gutartige Tumore des Vestibularnerven, die ihren Ursprung im inneren Gehörgang haben und sich bei progredientem Wachstum in den Kleinhirnbrückenwinkel ausdehnen.



Abbildung 20: MRT-Darstellung eines kleinen Kleinhirnbrückenwinkeltumors im rechten inneren Gehörgang

Klinisch fallen die Kleinhirnbrückenwinkeltumore weniger durch Schwindelbeschwerden als durch eine einseitige Schallempfindungsschwerhörigkeit auf, da die zentral-vestibuläre Kompensation im Allgemeinen mit dem Tumorwachstum schritthält. Die Schallempfindungsschwerhörigkeit lässt sich durch Ableitung der Hirnstammpotentiale als retrocochleär identifizieren.

Bei einer Seitendifferenz der Knochenleitungskurve im Tonschwellenaudiogramm ist eine Vestibularisprüfung obligat.

Ausgangspunkt des Tumorwachstums ist nicht zwangsläufig der Stamm des

Vestibularnerven, vielmehr muss damit gerechnet werden, dass der Tumor entweder vom superioren Ast des Vestibularnerven oder vom inferioren Ast ausgeht.

Über den unterschiedlichen Ursprung lässt sich auch erklären, dass nicht selten bei einem im Kernspin nachgewiesenen Kleinhirnbrückenwinkeltumor die thermische Prüfung allein keinen pathologischen Befund erbringt. Da die thermische Prüfung den horizontalen Bogengang reizt, dessen Information über den oberen Vestibularnerven geleitet wird, deutet eine in diesem Fall seitengleiche thermische Erregbarkeit darauf hin, dass der obere Nervenast vom Tumor nicht erfasst ist.

Durch die Einführung der VEMP besteht nun die Möglichkeit, selektiv den inferioren Ast des Vestibularnerven, über den die Sacculusinformationen geleitet werden, zu prüfen.

In einer an der HNO-Klinik des Klinikums rechts der Isar durchgeführten Studie zeigte sich, dass in 7 von 60 Fällen ein Vestibularisschwannom auf Grund der thermischen Prüfung allein nicht erkannt worden wäre (Hunold, 2004).

In der vorliegenden Arbeit wurden insgesamt 116 Patienten mit ein- und beidseitigen Vestibularisschwannomen eingeschlossen. Nur bei 19 Probanden (16%) zeigten sich unauffällige VEMP-Potentiale, bei den übrigen zeigten sich zu 97% zur Seitenlokalisation passende VEMP-Abschwächungen bzw. Ausfälle.

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Murofushi und Mitarbeiter (1998), die in 80% der Probanden fehlende oder reduzierte VEMP auf der Tumorseite feststellten.

Zusammenfassend betrachtet, liegt in der Ableitung der VEMP für die Diagnostik der Vestibularisschwannome eine wichtige Einsatzmöglichkeit, da sich ein Vestibularisschwannom des inferioren Vestibularisastes, welches durch die thermische Prüfung allein übersehen werden würde, durch einen pathologischen VEMP-Befund bemerkbar machen müsste.

4.2.6. Isolierte Sacculusläsionen

Diese Gruppe schien in der vorliegenden Auswertung eher unterrepräsentiert und die VEMP-Ergebnisse ließen in keinem Fall eine Seitenzuordnung zu. Vermutlicherweise liegen die realen Zahlen für diese Störung aber höher, auf Grund der nicht durchgeführten Prüfung der Sacculusfunktion in der Routinediagnostik wird aber die Diagnose nicht gestellt.

Dafür sprechen unsere Befunde der Gruppe „unklarer Schwindel“, in der sich bei 22 von 57 Patienten retrospektiv über die eindeutig seitendifferente VEMP eine isolierte Sacculusstörung als Auslöser der Schwindelbeschwerden nachweisen ließ (siehe Abschnitt 4.2.8.)

4.2.7. Verschiedene Krankheitsbilder

An einer HNO-Klinik mit überregionaler Schwindelambulanz wird die Ableitung der VEMP auch bei Krankheitsbildern eingesetzt, für die zunächst kein spezieller Verdacht auf eine Läsion des Sacculus oder des inferioren Vestibularnerven besteht.

In unserem Kollektiv fand sich im Gegensatz zu den normalen Kontrollpersonen (88% seitengleiche Potentiale) nur in 46% seitengleiche, positive Potentiale und in immerhin 27% eindeutig seitendifferente Potentiale. Dieses Ergebnis spricht für eine relativ häufige Mitbeteiligung des inferioren Vestibularnerven bzw. des Sacculus bei den verschiedenen Krankheitsbildern.

Bei Innenohrstörungen wie Hörsturz, Taubheit oder Tinnitus unklarer Ursache erscheint die Ableitung der VEMP daher ebenso wie die übrigen Vestibularisprüfungen sinnvoll, um eine bis dahin nicht erkannte Beteiligung des Vestibularapparates zu erkennen.

In diesen Fällen ist zwar nicht mit den cochleären Potentialen (N34, P44) zu rechnen, der sacculogene Wellenkomplex (P13, N23) sollte aber beurteilbar

sein. Nicht zuletzt unter dem Gesichtspunkt, ein Vestibularisschwannom nicht zu übersehen, ist auch bei Innenohrerkrankungen eine VEMP-Untersuchung sinnvoll.

Relativ wenige Erfahrungen liegen bis jetzt für Hirnstammerkrankungen vor, die aber teilweise auch eine Beurteilung der VEMP unter Einbeziehung der Latenzzeiten bzw. der Schwellenwerte erfordern.

So trägt die Messung der VEMP dazu bei, dass Ausmaß von Hirnstamminfarkten (Chen und Young, 2003) oder einer Hirnstammblutung (Itoh et al 2001) abzugrenzen. Auch in der Diagnostik der Multiplen Sklerose ist der Einsatz der VEMP angezeigt, wobei hier vor allem die Latenzzeiten von Interesse sein dürften. In einer Studie von Alpini et al (2005) waren die VEMP in 14 von 19 Fällen in Bezug auf die Latenzen pathologisch verändert. Gleiche Beobachtungen stammen auch von Murofushi et al. (2001).

4.2.8. Unklarer Schwindel

In den Schwindelsprechstunden von HNO-Kliniken und Praxen sind oft Patienten mit unklarem Schwindel zu finden, bei denen häufig auf Grund der völlig normalen Untersuchungsbefunde der Verdacht auf eine psychogene Ursache besteht.

Im vorliegenden Patientenkollektiv von 57 Patienten mit unklarem Schwindel ließen sich bei immerhin 22 Patienten eindeutig seitendifferente Potentiale als Hinweis auf eine Läsion des Sacculus bzw. des inferioren Vestibularnerven nachweisen. Dieser Anteil ist gegenüber dem Kollektiv der Normalpersonen, bei denen sich nur in 3% eindeutig seitendifferente Potentiale nachweisen ließen, deutlich erhöht.

Über die zusätzliche Prüfung der Sacculusfunktion ließ sich somit retrospektiv für einen erheblichen Anteil der Fälle eine Erklärung für den „unklaren Schwindel“ in Form einer isolierten Sacculusstörung finden.

Gerade in den Fällen, bei denen die Routineuntersuchungen des vestibulären Systems einschließlich der thermischen Prüfungen keinen Hinweis auf einen pathologischen Prozess ergeben haben, also dann ein phobischer Schwindel

vermutet wird, sollten VEMP-Ableitungen erfolgen, um nicht ein Sacculusdefizit als Ursache für die geklagten Schwindelbeschwerden, die häufig als Fallneigung beschrieben werden, zu übersehen.

4.2.9. Gutachten

Da es bei Gutachten um meist sehr komplizierte Sachverhalte geht, die teilweise erhebliche finanzielle Konsequenzen für den Patienten bzw. beteiligte Parteien nach sich ziehen, muss bei einer neurootologischen Begutachtung die VEMP-Ableitung eingesetzt werden, um beurteilen zu können, ob im Rahmen posttraumatischer Veränderungen auch Schädigungen am Sacculus bzw. inferioren Vestibularisast vorliegen. Die anderen zur Verfügung stehenden Untersuchungsmethoden liefern bei der Beurteilung dieser Fragestellung keine klaren Aussagen.

Beim erfassten Patientengut von 24 Gutachten zeigte sich bei 9 Patienten eine eindeutige Seitendifferenz der VEMP-Potentiale, ein Anteil, der sich auch bei dieser Gruppe deutlich von den Normalpersonen unterscheidet. Mit der sonst üblichen Routinediagnostik wäre die bei diesen Patienten vorliegende Schädigung des Sacculus übersehen worden.

4.3. Stellenwert der VEMP-Ableitungen für die neurootologische Diagnostik

Die Erfahrung mit der Ableitung vestibulär evozierter myogener Potentiale bei verschiedenen Krankheitsbildern zeigt, dass immer dann, wenn mit einer Beteiligung des Sacculus oder des inferioren Astes des Nervus Vestibularis zu rechnen ist, diese Untersuchungsmethode eingesetzt werden sollte.

Nicht nur, dass man feststellen kann, ob bei der Neuritis vestibularis oder dem M. Menière eine Beteiligung des Sacculus vorliegt, es lassen sich dann auch therapeutische Konsequenzen aus der nachgewiesenen Störung ableiten.

Als spezifisches Training bei Sacculusschäden steht ein gezieltes Habituationstraining für die Sacculusfunktion in Form von Trampolinspringen zur Verfügung.

Große Bedeutung hat die Ableitung der VEMP bei der Suche nach einem Kleinhirnbrückenwinkeltumor, denn Tumore, die isoliert den inferioren Ast des Vestibularnerven betreffen, können nur mit den VEMP ohne Zuhilfenahme teurer technischer Untersuchungen wie dem MRT einigermaßen sicher erkannt werden.

Anhand der vorliegenden Auswertung lässt sich auch für den BPPV die Indikation für die VEMP-Untersuchungen ableiten, da in unserem Kollektiv immerhin gut ein Drittel der Patienten einen pathologischen VEMP-Befund hatte, was für einen erheblichen Anteil von Patienten mit einer Sacculusschädigung zusätzlich zum ursprünglich diagnostizierten BPPV spricht.

Hervorzuheben ist außerdem die Bedeutung der VEMP im Rahmen der neurootologischen Begutachtung. Bei der Klärung, ob posttraumatische Läsionen im peripher vestibulären Apparat aufgetreten sind, müssen VEMP

abgeleitet werden, um sicher beurteilen zu können, ob am Sacculus oder seinen afferenten Nervenfasern Schädigungen vorliegen oder nicht, was für die Betroffenen teils erhebliche finanzielle Bedeutung haben dürfte.

Nicht zuletzt sollte in Fällen von so genanntem unklarem Schwindel auf die VEMP zurückgegriffen werden, um nicht leichtfertig bzw. vorschnell die Diagnose eines phobischen Schwindels zu stellen, der in Wirklichkeit eine organische Ursache in Form einer anders nicht erkennbaren Sacculusläsion hat und für den demzufolge auch eine Therapie zur Verfügung stehen würde.

5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie sollte der Stellenwert der Vestibulär evozierten myogenen Potentiale (VEMP), einer 1992 durch Colebatch und Halmagyi eingeführten Untersuchungsmethode, die die selektive Beurteilung des Sacculus ermöglicht, in der neurootologischen Diagnostik untersucht werden.

Zu diesem Zweck wurden retrospektiv 1075 im Zeitraum von 2001-2004 an der HNO-Klinik des Klinikums rechts der Isar durchgeführte VEMP-Untersuchungen ausgewertet.

Für 867 Patienten waren vollständige Datensätze vorhanden, die eine komplette retrospektive Auswertung und Diagnosenzuordnung in 9 Gruppen ermöglichte, die sich wie folgt aufgliederten:

- 67 Normalpersonen
- 252 Neuritis vestibularis
- 220 M. Menière
- 68 BPPV
- 116 Kleinhirnbrückenwinkeltumore
- 7 isolierte Sacculusschäden
- 56 verschiedene Krankheitsbilder
- 57 Schwindel verschiedener Genese
- 24 Gutachten

Anhand der Auswertung in den einzelnen Gruppen und in Zusammenschau mit der internationalen Literatur konnte der Stellenwert der Methode für die einzelnen Krankheitsbilder herausgearbeitet werden.

Hierbei zeigte sich, dass immer dann, wenn mit einer Beteiligung des Sacculus oder des inferioren Astes des Nervus vestibularis zu rechnen ist, die VEMP-Ableitungen eingesetzt werden sollten.

So lässt sich feststellen, ob bei der Neuritis vestibularis oder dem M. Menière eine Beteiligung des Sacculus vorliegt und die betroffenen Patienten können dann auch einer therapeutischen Intervention in Form von Trampolinspringen zugeführt werden.

Große Bedeutung hat die Ableitung der VEMP auch bei der Suche nach Kleinhirnbrückenwinkeltumoren, da Tumore, die isoliert den inferioren Ast des Vestibularnerven betreffen, nur mit den VEMP ohne Zuhilfenahme wesentlich teurerer technischer Untersuchungsmethoden, wie dem MRT, einigermaßen sicher erkannt werden können.

In der vorliegenden Studie ließ sich überraschenderweise auch für die Patienten mit BPPV die Indikation für VEMP-Untersuchungen ableiten, da sich bei immerhin gut einem Drittel der Patienten ein pathologischer VEMP-Befund erheben ließ, was für das zusätzliche Vorliegen einer Sacculusschädigung spricht.

Anhand der vorliegenden Daten konnte auch für die neurootologische Begutachtung die Bedeutung der VEMP gesichert werden. Bei der Klärung, ob posttraumatische Läsionen im peripher vestibulären Apparat aufgetreten sind, müssen VEMP abgeleitet werden, um sicher beurteilen zu können, ob am Sacculus oder seinen afferenten Nervenfasern Schädigungen vorliegen oder nicht.

Nicht zuletzt konnte durch die Studie gezeigt werden, dass auch in Fällen von so genanntem „unklarem Schwindel“ auf die VEMP zurückgegriffen werden sollte, um nicht vorschnell die Diagnose eines phobischen Schwindels zu stellen, der in Wirklichkeit eine organische Ursache in Form einer anders nicht erkennbaren Sacculusläsion hat und für den demzufolge auch eine spezifische Therapie in Form von Trampolinspringen zur Verfügung stehen würde.

6. Literaturverzeichnis

1. Akin FW., Murnane OD., Vestibular Evoked Myogenic Potentials: preliminary report, Journal Am Acad Audiol, 2001, 12, 445-452,
2. Alpini D., Pugnetti L., Caputo D., Cesarani A., Vestibular evoked myogenic Potentials in multiple sclerosis: a comparison between onset and definite cases, Int. Tinnitus J., 2005, 11(1), 48-51,
3. Arbusow V., Schulz P., Strupp M., Dieterich M., von Reinhardtstlettner A., Rauch E., Brandt T., Distribution of herpes simplex virus type 1 in human geniculate and vestibular ganglia: implications for vestibular neuritis, Ann Neurol., 1999, Sep; 46(3);416-419,
4. Arbusow V., Thiel D., Strupp M., Mascolo A., Brandt T., HSV-1 not only in human vestibular ganglia but also in the vestibular labyrinth, Audiol Neurootol 2001, Sept.-Oct., 6(5), S. 259-262,
5. Bankowsky V., Hamann K.-F., Der Versuch einer Quantifizierung der zentral-vestibulären Kompensation mit Hilfe der subjektiven visuellen Vertikalen, Arch Oto Rhino Laryngol Suppl II, 1987, S. 113-114,
6. Böhmer A., Mast F., Assessing Otolith Function by the subjective visual vertical, Ann NY Acad Sci, 1999, 871, 221-230,
7. Brandt T., Dieterich M., Vestibular syndromes in the roll plane: topographic diagnosis from brainstem to cortex, Ann Neurol, 1994, 33, 337-347,
8. Brantberg K., Bergenius J., Tribukat A., Vestibular-Evoked Myogenic Potentials in Patients with Dehiscence of the Superior Semicircular Canal, Acta Otolaryngol, 1999, 110, 633-640,

9. Brantberg K., Bergenius J., Mendel L., Symptoms, findings and treatment in patients with dehiscence of superior semicircular canal, *Acta Otolaryngol*, 2001, 121, 68-75,
10. Bricout-Berthout A., Caston J., Responses of Afferent and Efferent Neurons to Auditory Inputs in the Vestibular Nerve of the Frog, *Comp Physiol*, 1982, 147, 305-312,
11. Chen C-W., Young Y-H., Wu C-H., Vestibular Neuritis: three-dimensional Videonystagmography and vestibular evoked myogenic potential results, *Acta Otolaryngol*, 2000, 120, 845-848,
12. Chen C-W., Young Y-H., Vestibular evoked myogenic potentials in brainstem stroke, *The Laryngoscope*, 2003, 113, 990-993,
13. Cheng P-W., Murofusch T., The effect of plateau time on vestibular evoked Myogenic potentials triggered by tone bursts, *Acta Otolaryngol*, 2001, 121, 935-938,
14. Cheng P-W., Murofusch T., The effect of rise/fall time on vestibular evoked myogenic potential triggered by tone bursts, *Acta Otolaryngol*, 2001, 121, 696-699,
15. Cheng P-W., Huang T-W., Young Y-H., The Influence of clicks versus short tone bursts on the vestibular evoked myogenic potentials, *Ear Hear*, 2003, 24, 195-197,
16. Colebatch JG., Halmagyi GM., Vestibular evoked potentials in human neck muscles before and after unilateral vestibular deafferentation, *Neurology*, 1992, 42, 1635-1636,
17. Colebatch JG, Day BL, Bronstein AM, Davies RA, Gresty MA, Luxon LM, Rothwell JC., Vestibular hypersensitivity to clicks is characteristic of the Tullio phenomenon. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1998 Nov;65(5):670-8.

18. Colebatch JG., Rothwell JC., Bronstein A., Ludman H., Click-evoked vestibular activation in the tullio phenomenon, *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 1994, 57, 1538-1540,
19. Colebatch JG., Halmagyi GM., Skuse NF., Myogenic potentials generated by a click-evoked vestibulocollic reflex, *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 1994, 57, 190-197,
20. Diamond S.G., Markham C.H., Simpson N. E., Curthoys I.S., Binocular counterrolling in humans during dynamic rotation, *Acta Otolaryngol.* 1979, 87, 490-498,
21. Ferber-Viart C., Soulier N., Dureuil C., Duclaux R., Cochleovestibular Afferent pathways of trapezius muscle responses to clicks in human, *Acta Otolaryngol*, 1998, 118, 6-10,
22. Fetter M., Dichgans J., Vestibular neuritis spares the inferior division of the vestibular nerve, *Brain*, 1996, 119, 755-763,
23. Frenzel H. ,1982, Vestibularschwindel in: Spontan- und Provokationsnystagmen, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, S.13-14
24. Gacek RR., The innervation of the vestibular labyrinth, *Vestib Syst Acad Press NY*, 1975, 21-29,
25. Goedsche D., Beteiligung des Sacculus beim Morbus Menière - Eine VEMP Studie, Inaug. Dissertation TU München, 2005,
26. Halmagyi GM., Colebatch JG., Vestibular Evoked Myogenic Potentials in the Sternomastoid Muscle are not of Lateral canal Origin, *Acta Otolaryngol*, 1995, 520, 1-3,
27. Hamann K.-F., 1987, in *Training gegen Schwindel*, , Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, S. 15

28. Hamann K.-F. in Naumann H.H., Helms J., Herberhold C., Kastenbauer E. (Herausgeber), Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis in 3 Bänden. Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York, 1994, S. 260-297, S. 262 für Abb. 2
29. Hamann KF., Differentialdiagnose zwischen Erkrankungen der Bogengänge und des Otolithenapparates, In Stoll (Herausgeber) Differentialdiagnose Schwindel, 1998, 49-55,
30. Hamann KF., Arnold W., Menières Disease, Otorhinolaryngol, 1999, 55, 137-168,
31. Hamann K.-F., Pathophysiologie, typische Beschwerden und okulomotorische Symptome, 1999, in "Grundlagen für die Begutachtung von Schwindelerscheinungen", Med Sach 95, No 6, S.2-3,
32. Hamann K.-F., 2001, Optokinetische Prüfungen in „Vestibuläre Untersuchungsmethoden“, Westhofen M. (Hrsg.), PVV Science Publications, Ratingen, S. 100-103
33. Hamann KF., Vabulaite E., Vestibulär evozierte myogene Potentiale im Vergleich von Clickreizen und Burst-reizen, HNO Inform, 2005, 84, 14,
34. Hamann KF., Haarfeldt R., Vestibulär evozierte myogene Potentiale, HNO, 2006, 54; 415-428,
35. Hunold A., Stellenwert der vestibulär evozierten myogenen Potentiale in der neurootologischen Diagnostik am Beispiel von Kleinhirnbrückenwinkeltumoren, Inaug. Dissertation TU München, 2005,
36. Itoh A., Kim YS., Yoshioka K., Clinical study of vestibular evoked myogenic potentials and auditory brainstem responses in patients with brainstem lesions, Acta Otolaryngol, 2001, Suppl. 545, 116-119,

37. Kornhuber H. H. Physiologie und Klinik des zentralvestibulären Systems, in: Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Berendes, Link, Zollner (Hrsg.), Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York, S. 2150-2351,
38. Kuo SW., Yang TH., Young Y-H., Changes in Vestibular Evoked Myogenic Potentials After Menière Attacks, *Annals of Otol Rhinol Laryngol*, 2005, 114, 717-721,
39. Liao YS., Young Y-H., Vestibular Evoked Myogenic Potentials in Basilar Artery Migraine, *The Laryngoscope*, 2004, 114, 1305-1309,
40. Magliulo G., Cuiuli G., Gagliardi M., Vestibular Evoked Myogenic Potentials and glycerol testing, *The Laryngoscope*, 2004, 114, 338-343,
41. Masafumi N., Matsuzaki M., Murofushi T., Vestibular evoked myogenic potentials in ipsilateral delayed endolymphatic hydrops, *ORL*, 2002, 64, 424-428,
42. Matsuzaki M., Murofushi T., Vestibular evoked myogenic potentials in Patients with idiopathic bilateral vestibulopathy, *ORL*, 2001, 63, 349-352,
43. Minor LB., Solomon D., Zinreich JS., Zee DS., Sound-and/or pressure-induced vertigo due to bone dehiscence of the superior semicircular canal, *Otolaryngol head neck surg*, 1988, 124, 249-258,
44. Morawiec-Bajda A., Gryczynski M., Earlier and later components of vestibular evoked myogenic potentials used to make diagnose of menieres disease, *Otolaryngol Pol.* 2000;54(6):691-6,
45. Murofushi T., Curthoys IS., Topples AN., Responses of Guinea Pig primary vestibular neurons to clicks, *Exp Brain Res*, 1995, 103, 174-178,
46. Murofushi T., Curthoys IS., Physiological Anatomical Study of Click-Sensitive Primary Vestibular Afferents in the Guinea Pig, *Acta Otolaryngol*, 1997, 117, 66-72,

47. Murofushi T., Matsuzaki M., Mizuno M, Vestibular Evoked Myogenic Potentials in patients with acoustic neuromas, Arch Otolaryngol head Neck surg., 1998, 124, 509-512,
48. Murofushi T., Shimizu K, Takegoshi H., Cheng PW., Diagnostic Value of prolonged latencies in the vestibular evoked myogenic potential, Arch Otolaryngol head Neck surg. , 2001, 127, 1069-1072,
49. Neil P., Todd MA., Cody F., Banks JR., A saccular origin of frequency tuning in myogenic vestibular evoked potentials: implications for human responses to loud sounds, Hearing research , 2000, 141, 180-188,
50. Ochi K., Ohashi T., Sound-Evoked Myogenic Potentials and Responses with 3-ms Latency in Auditory Brainstem Response, The Laryngoscope, 2001, 111, 1818-1821,
51. Ochi K., Ohashi T., Nishino N., Variance of vestibular evoked myogenic potentials, The Laryngoscope, 2001, 111, 522-527,
52. Ochi K., Ohashi T., Recovery of vestibular evoked myogenic potential: relationship to other neural disorders in two patients with acute sensorineural hearing loss, ORL, 2002, 64, 346-351,
53. Ochi K., Ohashi T., Kinoshita M., Acoustic tensor tympani response and vestibular evoked myogenic potential, The Laryngoscope, 2002, 112, 2225-2229,
54. Ochi K., Ohashi T., Age-related changes in the vestibular-evoked myogenic potentials, Otolaryngol head neck surg, 2003, 129, 655-659,
55. Ozeki H., Matsuzaki M., Murofushi M., Vestibular evoked Myogenic potentials in patients with bilateral profound hearing loss, ORL, 1999, 61, 80-83,
56. Probst R., Grevers G., Iro H., 2000, in Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York, S. 272-273

57. Scherer H., Helling K., Thermische Prüfungen in vestiulären Untersuchungsmethoden, PVV Science Publication Ratingen, 2001, S.63-69,
58. Schor RH., Wilson VJ., Yates BJ., Vestibulocollic neurons and the vestibulocollic reflex, Japan scientific societies press, 1992, , 69-77,
59. Seo T., Yoshida K., Shibano A., Sakagami M., A possible case of saccular endolymphatic hydrops, ORL, 1999, 61(4), 215-218,
60. Sheykholeslami K., Schmerber S., Kermany MH., Kaga K., Vestibular evoked myogenic potentials in three patients with large vestibular aqueduct, Hearing research, 2004, 190, 161-168,
61. Sheykholeslami K., Kaga K., Megerian CA., Arnold JE., Vestibular evoked myogenic potentials in infancy and early childhood, Laryngoscope, 2005, 115, 1440-1444,
62. Shojaku H., Takemori S. , Kobayashi K., Watanabe Y., Clinical usefulness of glycerol vestibular evoked myogenic potentials: preliminary report, Acta Otolaryngol, 2001, Suppl. 545, 65-68,
63. Streubel SO., Cremer PD., Carey JP., Vestibular-evoked myogenic potentials in diagnosis of superior canal dehiscence syndrome, Acta Otolaryngol, 2001, Suppl. 545, 41-49,
64. Suzuki M., Kitajima N., Ushio M., Shintani M., Changes in the Tullio Phenomenon and the Fistula Sign in the Course of Endolymphatic Hydrops, ORL, 2003, 65, 125-128,
65. Takegoshi H., Murofushi T., Vestibular Evoked Myogenic Potentials in Patients with Spinocerebellar Degeneration, Acta Otolaryngol, 2000, 120, 821-824,
66. Tribukait A., Brantberg K., Bergenius J., Function of Semicircular Canals, Utricles and Sacculus in Deaf Children, Acta Otolaryngol, 2004, 124, 41-48,

67. Tsutsumi T., Tsunoda A., Komatsuzaki A., Prediction of the nerves of origin of vestibular schwannoms with vestibular evoked myogenic potentials, *Am J Otol*, 2000, 21(5), 712-715,
68. Tsutsumi T., Komatsuzaki A., Noguchi Y., Tokano H., Postoperative vestibular evoked myogenic potentials in cases with vestibular schwannomas, *Acta Otolaryngol*, 2001, 121, 490-493,
69. Ushio M., Matsuzaki M., Takegoshi H., Murofushi T., Click- and short tone burst-evoked myogenic potentials in cerebellopontine angle tumors, *Acta Otolaryngol*, 2001, Suppl. 545, 133-135,
70. Westhofen M., Rotatorische Tests, 2001, in Westhofen M. (Hrsg.): *Vestibuläre Untersuchungsmethoden*, PVV Science Publications, Ratingen, S. 70-83,
71. Wilson VJ., Peterson BW., *Vestibular and Reticular projections to the neck*, Oxford University Press, 1988, , 129-140,
72. Wu Ch., Young Y-H., Murofushi T., Tone burst-evoked myogenic potentials in human neck flexor and extensor, *Acta Otolaryngol*, 1999, 119, 741-744,
73. Yavor RA., Murofushi T., Halmagyi GM., Absent vestibular evoked myogenic potentials in vestibular neuritis, an indicator of inferior vestibular nerve involvement, *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 1996 Aug;122(8):845-8.
74. Yokota J., Ito Y., Sakata E., Click-evoked myogenic potentials in normal subjects and patients with vestibular lesions, *Brain and nerve*, 2000 Aug;52(8):691-9
75. Young YH., Huang T-W., Cheng PW., Vestibular evoked myogenic potentials in delayed endolymphatic hydrops, *The Laryngoskope*, 2002, 112, 1623-1626,

76. Young YH., Wu CH., Augmentation of vestibular evoked myogenic potentials: an indication for distended saccular hydrops, *The Laryngoskope*, 2002, 112, 509-512,
77. Zenner H. P. Physiologie des Gleichgewichtsorgans, 1997, in Schmidt/Thews (Hrsg.) *Physiologie des Menschen*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, S.254,

7. Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** Darstellung der Hauptafferenzen und Efferenzen der Vestibulariskerne (aus: Hamann, K.-F.: Training gegen Schwindel, Springer, Berlin-Heidelberg 1987, S. 15.)
- Abbildung 2:** Lage der vestibulären Rezeptoren im Bogengangssystem und Otolithenapparat (aus Hamann 1994; S. 262)
- Abbildung 3:** Schematische Darstellung des Verhaltens des Rezeptorpotentials bei Auslenkung der Stereozilien (Schmidt/Thews, Physiologie des Menschen, 1997, S. 254)
- Abbildung 4:** Schema der nervalen Faserversorgung; N. vestibularis inferior und superior nach Arbusow et al. in Anlehnung an Gacek; Audiol. Neurotol. 2001; 6; 260
- Abbildung. 5:** VEMP-Originalableitung, I;II (p13, n23) – Sacculärer Komplex, III, IV (n34, p44) – cochleärer Komplex
- Abbildung 6:** Schematische Darstellung der Elektrodenposition
- Abbildung 7:** Originalbild mit Druck gegen die Untersucherhand
- Abbildung 8:** Originalableitung mit signifikantem Potentialunterschied
- Abbildung 9:** Diagramm Ergebnisse Normalpersonen
- Abbildung 10:** Diagramm Ergebnisse Neuropathia vestibularis
- Abbildung 11:** Diagramm Ergebnisse beidseitiger M. Menière

- Abbildung 12:** Diagramm Ergebnisse M. Menière einseitig
- Abbildung 13:** Diagramm Ergebnisse BPPV
- Abbildung 14:** Diagramm Ergebnisse einseitiges Vestibularisschwannom
- Abbildung 15:** Diagramm Ergebnisse Gruppe 7 – verschiedene Krankheitsbilder
- Abbildung 16:** Diagramm Ergebnisse Gruppe 8 - Schwindel
- Abbildung 17:** Diagramm Ergebnisse Gruppe 9 - Gutachten
- Abbildung 18:** Einfluss des Muskeltonus auf die VEMP (aus Hamann, Haarfeldt, 2006, S. 419)
- Abbildung 19:** Räumliche Beziehung zwischen Gehörknöchelchen (Stapes) und Sacculus bei Endolymphhydrops (Hamann, Haarfeldt, 2006, S. 421)
- Abbildung 20:** MRT-Darstellung eines kleinen Vestibularisschwannoms im rechten inneren Gehörgang (Hamann, Haarfeldt, 2006, S. 422)

8. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt:

Herrn Professor Dr. K.-F. Hamann für die Überlassung des Themas und für die hervorragende Betreuung und die außergewöhnliche Geduld, die es mir als „externem“ Mitarbeiter ermöglichten, neben meiner normalen beruflichen Tätigkeit diese Arbeit zum Abschluss zu bringen.

Die zahlreichen Hilfestellungen bei der Einarbeitung in das Thema und das zur Verfügung stellen umfangreichen Quellenmaterials und von aktueller Forschungsliteratur haben mir bei der Erstellung der Arbeit sehr geholfen.

Herrn Professor Dr. med. W. Arnold für die Möglichkeit, die für diese Dissertation benötigten Untersuchungsergebnisse an der von ihm geleiteten Klinik und Poliklinik für Hals- Nasen- und Ohren-Krankheiten zu erheben.

Frau Ingrid Eigmann und Frau Regina Lorenz für die außerordentlich herzliche und hilfsbereite Aufnahme in das Team um Professor Hamann

Herrn Stobrawe (Foto-Labor der HNO-Abteilung, TU München) für die Unterstützung bei der Erstellung der Abbildungen

Herrn Ehrenfried Brandner für die Vermittlung des Kontaktes zu Prof. Dr. H. von Chüden

Herrn Prof. Dr. H. von Chüden für die Vermittlung des Kontaktes zu Prof. Dr. K.-F. Hamann

Meiner Familie für die fortwährende moralische Unterstützung bei der Erstellung der Arbeit