

Hals-Nasen-Ohrenklinik und Poliklinik der Technischen Universität München

Klinikum rechts der Isar

( Direktor: Univ. Prof. Dr. W. Arnold )

**Synchrone Bestimmung der visuellen subjektiven Vertikalen (VSV)  
und der Gegenrollung der Augen bei Gesunden und bei Patienten  
mit einseitig peripher-vestibulärem Defizit**

**Frank Eberhardt**

**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. apl. Prof. Dr. Th. Schmidt**

Die Dissertation wurde am 09.06.2000 bei der Technischen Universität München eingereicht  
und durch die Fakultät für Medizin am 08.11.2000 angenommen.

<b>1.Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Funktionelle Anatomie und Pathophysiologie des vestibulären Systems</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Klinische Untersuchungsmethoden des vestibulären Systems</b>	<b>5</b>
<u>1.2.1 Erfassung von Raumorientierungsstörungen</u>	<u>5</u>
1.2.1.1 Schwindelanamnese	5
1.2.1.2 Messung des Vertikaleneindrucks	7
<u>1.2.2 Erfassung oculomotorischer Störungen</u>	<u>9</u>
1.2.2.1 Registriermethoden von Augenbewegungen	9
1.2.2.1.1 Subjektive Erfassung	9
1.2.2.1.2 Elektronystagmographie (ENG)	9
1.2.2.1.3 Videoculographie (VOG)	11
1.2.2.2 Messung der Bogengangsfunktion	11
1.2.2.3 Messung der Otolithenfunktion	12
1.2.2.4 Untersuchung zentral-oculomotorischer Funktionen	16
<b>1.3 Fragestellung</b>	<b>16</b>
<b>2.Methodik</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Bestimmung der visuellen subjektiven Vertikalen (VSV)</b>	<b>18</b>
<u>2.1.1 Gerät zur Bestimmung der VSV</u>	<u>18</u>
<u>2.1.2 Messung der VSV</u>	<u>19</u>
<u>2.1.3 Auswertung der VSV</u>	<u>20</u>
<b>2.2 Bestimmung der Augenposition in der Frontalebene ( Augentorsion )</b>	<b>20</b>
<u>2.2.1 Videokamera</u>	<u>20</u>
<u>2.2.2 Messung der Augenposition in der Frontalebene</u>	<u>21</u>
<u>2.2.3 Auswertung der Augenpositionsmessung</u>	<u>21</u>
<b>2.3 Untersuchungsablauf</b>	<b>24</b>
<b>2.4 Untersuchungsgut</b>	<b>25</b>
<b>2.5 Statistische Bearbeitung</b>	<b>26</b>

<b>3. Ergebnisse</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Die visuellen subjektiven Vertikalen (VSV)</b>	<b>27</b>
<u>3.1.1 Die VSV bei Gesunden</u>	<u>27</u>
<u>3.1.2 Die VSV bei Patienten mit einseitig peripher-vestibulärem Defizit</u>	<u>28</u>
<b>3.2 Die Gegenrollung der Augen</b>	<b>30</b>
<u>3.2.1 Die Gegenrollung der Augen bei Gesunden</u>	<u>30</u>
<u>3.2.2 Die Gegenrollung der Augen bei Patienten mit einseitig peripher-vestibulärem Defizit</u>	<u>31</u>
<b>3.3 Vergleich der VSV-Abweichung mit der Gegenrollung der Augen bei Gesunden und bei Patienten mit einseitig peripher-vestibulärem Defizit</b>	<b>32</b>
<b>3.4 Die VSV-Abweichung und die Gegenrollung der Augen bei Patienten mit einseitig peripher-vestibulärem Defizit in Abhängigkeit von der vestibulären Kompensation</b>	<b>33</b>
<b>4. Diskussion</b>	<b>35</b>
<b>4.1 Die VSV und die Gegenrollung der Augen in verschiedenen Körperpositionen bei gesunden Probanden</b>	<b>35</b>
<b>4.2 Die VSV und die Gegenrollung der Augen bei Patienten mit einseitig peripher-vestibulärem Defizit</b>	<b>37</b>
<b>4.3 Abhängigkeit der VSV und der Gegenrollung der Augen von der vestibulären Kompensation</b>	<b>39</b>
<b>4.4 Klinische Bedeutung der Messung der VSV und der Gegenrollung der Augen</b>	<b>40</b>
<b>5. Zusammenfassung</b>	<b>43</b>
<b>Literatur</b>	<b>44</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>49</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>50</b>
<b>Danksagung</b>	<b>51</b>

## 1. Einleitung

### 1.1 Funktionelle Anatomie und Pathophysiologie des vestibulären Systems

„Das Vestibularorgan ist bekanntlich ein System von Mechanorezeptoren ( Beschleunigungsrezeptoren ), das der Stützmotorik, der Blickmotorik und der Orientierung im Schwerfeld dient“ ( Kornhuber 1966, S. 2150 ).

Diese Formulierung drückt aus, dass das vestibuläre System an der Erfüllung mehrerer Funktionen mitwirkt, aber keine dieser Funktionen von ihm alleine ausgeübt werden kann. Die wichtigsten Partner sind das visuelle und das propriozeptive System.

Das vestibuläre System besteht aus einem bilateral angelegten Rezeptorenapparat, der, im Innenohr gelegen, auf jeder Seite über jeweils fünf Einzelrezeptoren verfügt, einem vestibulären Nerven und mehreren zentralen Schaltkreisen.

Während die drei zueinander senkrecht stehenden Bogengangsrezeptoren für die Erfassung von Drehbeschleunigungen des Kopfes zuständig sind, dienen die beiden Otolithenapparate, die zueinander senkrecht stehenden Utriculus und Sacculus, der Erfassung geradliniger Kopfbeschleunigungen ( siehe Abb.1 ).

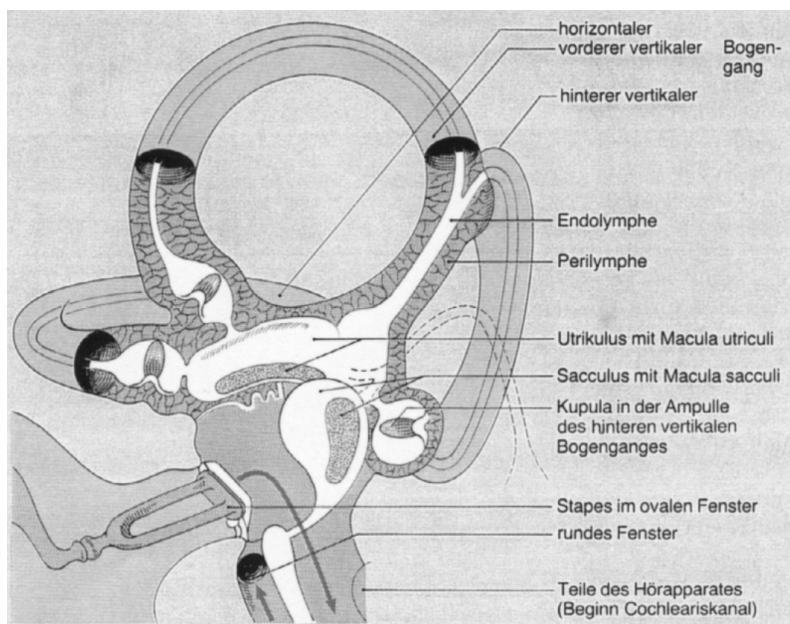


Abb.1: Lage der vestibulären Rezeptoren im Bogengangs- und Otolithenapparat  
( aus Hamann 1994, S.262 )

Die von den Rezeptorzellen aufgenommenen Informationen werden über den Nervus vestibularis zu den im Hirnstamm liegenden Vestibulariskernen weitergeleitet. Dort erfolgt eine erste Integration der vestibulären Informationen untereinander, aber auch deren Verarbeitung mit denen anderer Sinnessystemen.

Nach einem Abgleichvorgang zwischen den Vestibulariskerngebieten beider Seiten überträgt sich das Ergebnis der Integration auf die Effektororgane. Für den Anteil des vestibulären Systems an der bewussten Orientierung im Raum ziehen Fasern zum parieto-temporalen Kortex, für die Anteile an der Blickmotorik zu den Augenmuskelkernen und für den Anteil an der Spinalmotorik zu den  $\alpha$ -Motoneuronen der Rückenmarksvorderhornzellen.

Voraussetzung für das normale Funktionieren des vestibulären Systems ist ein sogenanntes Tonusgleichgewicht zwischen den Vestibulariskerngebieten beider Seiten. Dieses wird hauptsächlich von der Aktivität der bilateral angelegten vestibulären Rezeptorzellen gespeist.

Tritt eine einseitige Funktionseinschränkung am peripher-vestibulären Rezeptorenapparat auf, verschiebt sich das zentrale Tonusgleichgewicht. Die Asymmetrie der neuronalen Aktivität in Höhe der Vestibulariskerne führt zu den typischen Symptomen wie systematischer Schwindel, pathologischer Spontannystagmus und Ataxie.

„Dank eines Systems kommissuraler Nervenfaserverbindungen zwischen den Vestibulariskerngebieten beider Seiten ist eine Neuabgleichung der neuronalen Aktivität mit dem Ziel eines neuen Tonusgleichgewichts und des damit einhergehenden Verschwindens der klinischen Symptome möglich, findet aber spontan nicht immer ausreichend statt. Die therapeutischen Bemühungen, vor allem das Habituationstraining, sind darauf ausgerichtet, eine möglichst weitgehende Kompensation zu erreichen“ ( Hamann 1999, S. 2 ).

Die Diagnostik vestibulärer Störungen, die verschiedene Teilorgane im unterschiedlichen Ausmaß betreffen, sollte möglichst die jeweiligen Einzelleistungen gesondert berücksichtigen.

## **1.2 Klinische Untersuchungsmethoden des vestibulären Systems**

Die Funktionsdiagnostik des vestibulären Systems hat die Aufgabe, die einzelnen Teilleistungen der verschiedenen Abschnitte des vestibulären Systems zu messen, um eine Beurteilung der Funktionseinschränkungen und eine Lokalisation der Läsion zu ermöglichen.

### 1.2.1 Erfassung von Raumorientierungsstörungen

---

Die Erfassung von Raumorientierungsstörungen umfasst die qualitative Analyse der Beschwerden ( Schwindelanamnese ), ihre Klassifikation nach zeitlichen Kriterien und die Messung bestimmter Phänomene der visuellen Orientierung, an denen das vestibuläre System maßgeblich beteiligt ist.

#### 1.2.1.1 Schwindelanamnese

Mehr noch als bei anderen Erkrankungen weist eine ausführliche Anamnese den Weg zur Diagnose von vestibulären Störungen. Das Hauptproblem der Befragung der Patienten besteht darin, den globalen Begriff „Schwindel“ so zu differenzieren, dass er bestimmten Störungen des vestibulären Systems zuzuordnen ist. Gemäß den Vorschlägen von Frenzel erfolgt bei der qualitativen Schwindelanamnese zunächst eine grobe Unterteilung in systematischen und unsystematischen Schwindel ( Scherer 1997 ).

Der systematische Schwindel umfasst alle Schwindelformen, die mit einem Dislokationsgefühl, also mit Scheinbewegungen, einhergehen.

Alle anderen Schwindelformen werden unter dem Begriff „unsystematischer Schwindel“ zusammengefasst. Diese Unterteilung erlaubt eine erste Differenzierung insofern, als einem systematischen Schwindel eine Störung im peripheren oder zentralen vestibulären System zugeordnet werden kann,

während beim unsystematischen Schwindel die Ursache der Störung außerhalb des vestibulären Systems zu suchen ist ( siehe Abb.2 ).

Ist erst einmal ein systematischer Schwindel festgestellt, so gelangt man durch Anwendung zeitlicher Kriterien schon zu einer weitgehenden Festlegung auf Krankheitsbilder. So ist für eine akut aufgetretene, einseitig peripher-vestibuläre Störung ein heftig einsetzender Schwindel über Tage mit langsamen Abklingen typisch, für die Menièresche Erkrankung das Auftreten von Schwindelanfällen, die Minuten bis Stunden anhalten, und für den gutartigen Lagerungsschwindel sind es kurze Attacken im Bereich von Sekunden, die immer an Kopfbewegungen gekoppelt sind.

Eine Quantifizierung dieser Beschwerden ist außerordentlich schwierig, wäre mit visuellen Analogskalen möglich, hat aber selbst keine diagnostische, sondern nur für Verlaufs- und Therapiekontrollen Bedeutung.

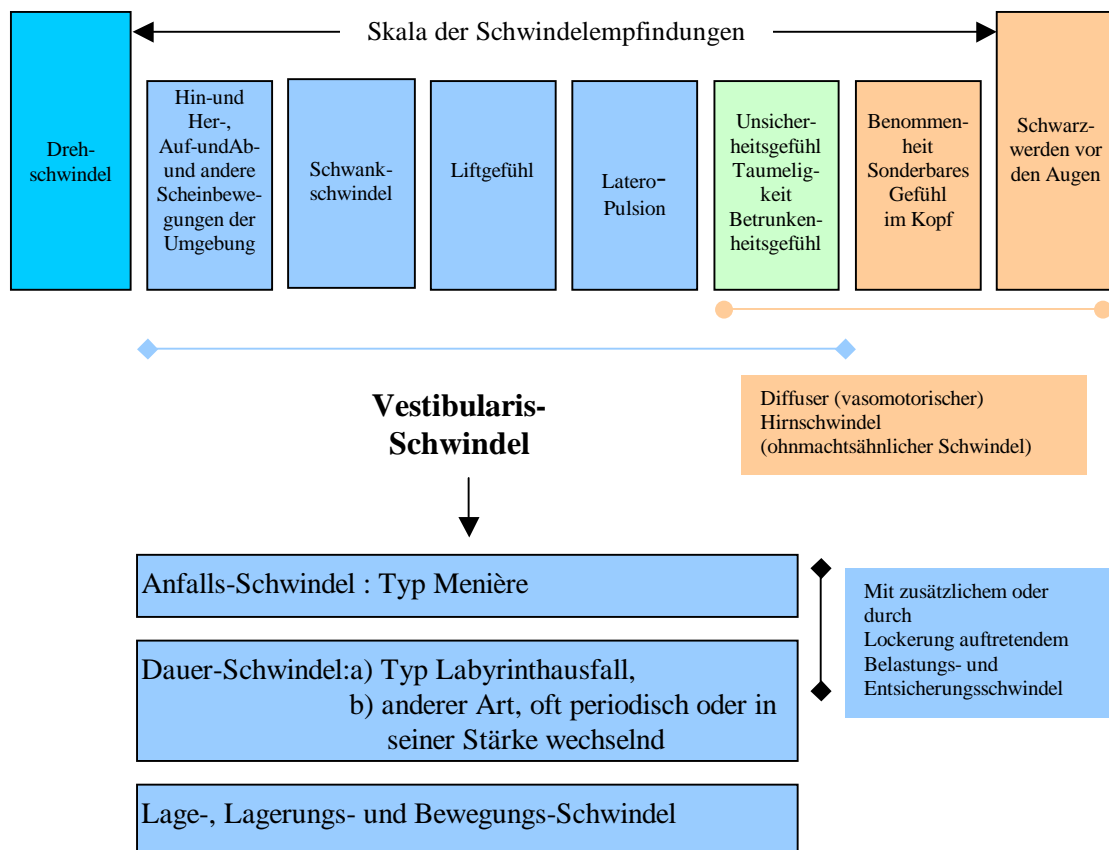


Abb.2: Schwindelschema ( nach Frenzel aus: Arch. Ohr-, Nas-, u. Kehl. 177 (1961), S. 533 )

### 1.2.1.2 Messung des Vertikaleneindrucks

Der Vertikaleneindruck ist einer der Hauptparameter der Orientierung des Menschen, der sich vor allem auf das visuelle System stützt. Am Zustandekommen des Vertikaleneindrucks sind verschiedene Sinnessysteme, wie das visuelle und das vestibuläre beteiligt, aber auch angeborene Mechanismen werden vermutet (Mittelstaedt 1983).

Der Vertikaleneindruck kann auf verschiedene Weisen gemessen werden, entweder als visuelle subjektive Vertikale (VSV) oder auch als haptische subjektive Vertikale, kurz HSV (Bauer 1999).

Bei der korrekten Messung der VSV sollte dem Probanden/Patienten nur eine visuelle Information über die einzustellende Leuchtlinie zur Verfügung stehen. Dies wird am besten dadurch erreicht, dass man die Leuchtlinie über eine Fernbedienung drehen lässt.

Die Einstellung der sogenannten haptischen subjektiven Vertikale erfolgt unter Benutzung propriozeptiver und arthrokinetischer Informationen über einen Handgriff (Bauer 1999). Dieses Verfahren hat sich aber in Vergleichsuntersuchungen zur VSV als unscharf herausgestellt (Bauer 1999).

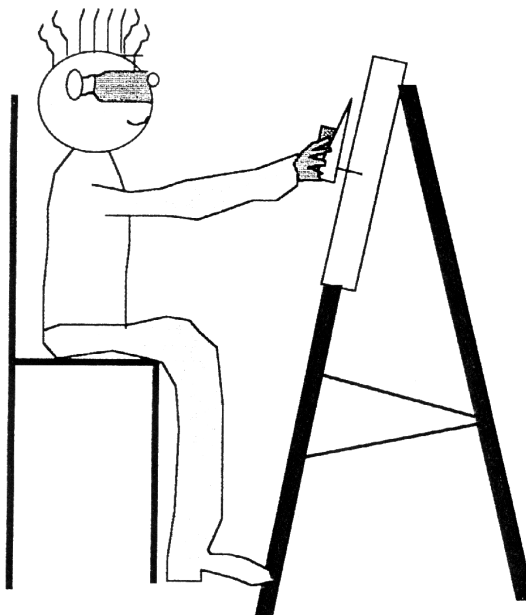


Abb.3: Schematischer Versuchsaufbau HSV im Sitzen ( aus Bauer 1999, S.20 )



Für klinisch-experimentelle und rein klinische Untersuchungen wird im allgemeinen die VSV eingesetzt ( Friedmann 1970; Dieterich und Brandt 1993; Metzler 1989 ).

Schon seit einigen Jahrzehnten ist bekannt, dass gesunde Probanden die VSV mit sehr großer Genauigkeit einstellen können ( Friedmann 1970 ). Die Abweichungen bei Messungen im Sitzen überschreiten zwei Winkelgrade nicht. Untersuchungen von Schöne ( 1962 ) und auch von Mittelstaedt ( 1983 ) ergaben, dass in unterschiedlichen Lagen des Kopfes im Raum, also durch Änderung des an den Rezeptor angreifenden Gravitationsvektors, systematische Abweichungen der VSV auftreten. Daraus ließ sich schließen, dass an der Einstellung des Vertikaleneindrucks das Otolithensystem maßgeblich beteiligt sein muss. Es lag nahe, an Patienten mit peripher-vestibulären Erkrankungen zu untersuchen, ob sich die VSV verändert.

Es war Friedmann, der erstmals zeigen konnte, dass bei Patienten mit peripher-vestibulären Läsionen pathologische Abweichungen der VSV auftreten. Er fand heraus, dass bei Patienten nach einseitiger Labyrinthektomie eine pathologische Einstellung der VSV von bis zu  $20^\circ$  zu finden ist, die sich jedoch nach Wochen wieder normalisiert. Er erkannte zudem, dass VSV-Abweichungen typisch bei Schäden im Hirnstamm und bei Tumoren des Kleinhirnbrückenwinkels sind.

Das sich Störungen der zentralen Bahnen des Otolithenapparates auch auf den Vertikaleneindruck auswirken können, wurde auch in ausführlichen Arbeiten von Dieterich und Brandt nachgewiesen. Sie zeigten, dass bei definierten Läsionen im Hirnstamm, Thalamus und auch im Kortex, länger anhaltende Verkippungen der VSV zu beobachten waren ( Brandt und Dieterich 1994 ).

Aufgrund dieser Untersuchung ist allerdings nicht völlig auszuschließen, dass auch eine pathologisch veränderte Ruheaktivität der Bogengangsrezeptoren zu einer Verschiebung des Vertikaleneindrucks führt.

Daraus ergibt sich, dass die VSV keinesfalls vom Otolithenapparat alleine abhängt, dieser Test also nicht als selektiv für die periphere Otolithenfunktion angesehen werden kann. Zur weiteren Abklärung dieser Frage bietet es sich an, die Ergebnisse von spezifischen Otolithentests mit der Einstellung der VSV zu vergleichen.

## 1.2.2 Erfassung oculomotorischer Störungen

---

### 1.2.2.1 Registriermethoden von Augenbewegungen

#### 1.2.2.1.1 Subjektive Erfassung

Die subjektive Erfassung von Augenbewegungen über die direkte Beobachtung der Augen oder die Palpation des Bulbus durch die Augenlider verdient im Zusammenhang mit wissenschaftlichen Fragestellungen nur noch historisches Interesse. Der Hauptgrund, warum diese Methoden für wissenschaftliche Arbeiten nicht mehr eingesetzt werden, besteht darin, dass eine exakte Quantifizierung nicht möglich ist.

#### 1.2.2.1.2 Elektronystagmographie ( ENG )

Ein gebräuchliches und noch sehr verbreitetes Verfahren zur Aufzeichnung von Augenbewegungen stellt die Elektrooculographie ( EOG ), für die Anwendung in der Vestibularisdiagnostik auch als Elektronystagmographie ( ENG ) bezeichnet, dar. Durch Registrierung der bei Augenbewegungen stattfindenden Spannungsschwankungen, die auf den Dipoleigenschaften des Bulbus beruhen, ist es möglich, nach vorausgegangener Eichung, spontane und evozierte Augenbewegungen quantitativ zu erfassen ( siehe Abb.4 ).

Der Vorteil besteht in einer reproduzierbaren, quantitativen Auswertung spontaner und experimentell erzeugter Augenbewegungen auch bei geschlossenen Augen und in der Registrierung schneller Augenbewegungen sog. Saccaden ( Hamann 1991 ).

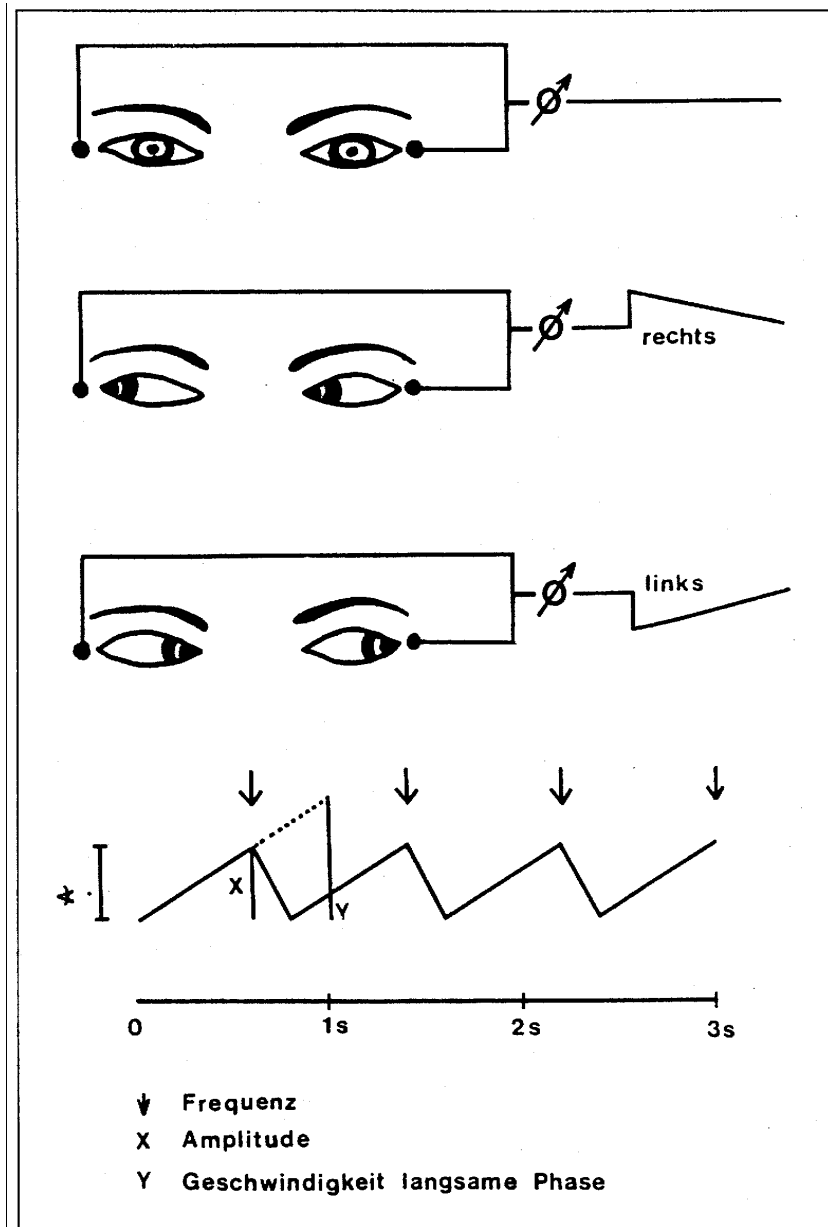


Abb.4 Schematische Darstellung der Elektronystagographie (oberer Teil) und der Auswertmethode (unterer Teil), ( aus Hamann 1991, S.31 )

Als Nachteil muss die Gefahr der Artefakteinstreuung durch das Stromnetz („Brumm“), die Nichterfassung von Augenbewegungen in der Torsionsebene, die relativ schwierige Handhabung der Methode und nicht zuletzt der Kostenfaktor angesehen werden. Dennoch ist die ENG die gegenwärtig noch am meisten verbreitete Methode zur Registrierung der Augenbewegungen ( Hamann 1991 ).

### 1.2.2.1.3 Videoculographie (VOG)

Einen Fortschritt in der Erfassung von Augenbewegungen stellt die Videoculographie dar. Die Entwicklung neuer und preisgünstiger Chips für Videokameras einerseits und Fortschritte in der angewandten Weltraumforschung andererseits, haben zur Entwicklung auch mittlerweile preisgünstiger Systeme geführt, die in manchen Ländern klinisch schon weit verbreitet sind. Es ist absehbar, dass die Videoculographie die ENG, ausgenommen bei speziellen Fragestellungen, in naher Zukunft verdrängen wird.

Neben den von der ENG bekannten Möglichkeiten zur quantifizierbaren Dokumentation von Augenbewegungen ergibt sich für die VOG eine Überlegenheit dank der leichten Handhabung und der Möglichkeit, auch Augenbewegungen in der Frontalebene ( also Torsionsbewegungen ) zu registrieren.

Mit computergestützten Auswertprogrammen ist eine schnelle Beurteilung im klinischen Alltag möglich.

Als Nachteil muss gewertet werden, dass die Registrierung nur mit geöffneten Augen möglich ist, und schnelle Augenbewegungen ( Saccaden ) nicht erfasst werden können.

### 1.2.2.2 Messung der Bogengangsfunktion

Im Rahmen der allgemein üblichen Vestibularisdiagnostik wird hauptsächlich die Funktion des Bogengangsystems geprüft ( Scherer 1997 ).

Bei der thermischen Reizung, der einzigen Methode zur seitentrennten Beurteilung des Rezeptorenapparates, wird der Kopf des Patienten in die Position gebracht, die eine optimale Stimulation des horizontalen Bogenganges mit seinen Rezeptoren ermöglicht.

Vielerorts wird das Ergebnis der thermischen Prüfung des horizontalen Bogenganges - genau genommen nicht zu Recht - auf die Funktionen des gesamten Vestibularapparates einer Seite extrapoliert.

Eine besondere Methode ist die Untersuchung auf eine möglicherweise vorhandene Canalolithiasis in einem der hinteren Bogengänge.

Dazu wird der zu untersuchende Bogengang in die Drehebene eingestellt und dann die Lagerung gezielt durchgeführt.

Die selektive Stimulation des vorderen vertikalen und des horizontalen Bogenganges zum Nachweis einer Canalolithiasis ist nur mit hohem apparativem Aufwand möglich.

### 1.2.2.3 Messung der Otolithenfunktion

Ziel der Otolithentests ist es, selektiv eine Aussage über die Funktion von Utriculus und Sacculus zu erhalten. Aufgrund der vielfachen Verschaltungen von Fasern vestibulärer Rezeptoren untereinander im Sinne einer Konvergenz ist es schwierig, Tests zu entwickeln, die über die Otolithenfunktion allein Auskunft geben.

Als Spontanzeichen nach isolierten Otolithenläsionen tritt eine vertikale Schielstellung der Augen auf ( skew deviation, Abb.5 ), die durch ein Tieferstehen des Bulbus auf der Läsionsseite und ein Anheben auf der kontralateralen Seite gekennzeichnet ist ( Halmagyi et al. 1979 ).

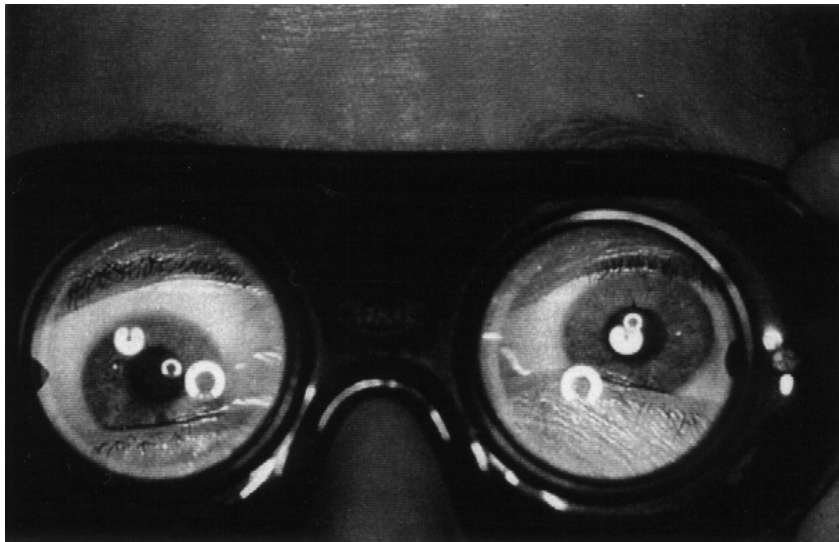


Abb.5: Skew deviation bei einem Patienten nach Utriculusläsion durch Otoskleroseoperation  
( aus Hamann 1998, S.49 )

Kritisch muss angemerkt werden, dass die vertikale Schielstellung auch im Rahmen einer durch zentrale Läsionen verursachten „ocular-tilt reaction“ ( Brandt und Dieterich 1987 ) zu beobachten ist, also kein Symptom einer reinen Otolithenstörung darstellt.

Der subjektive Vertikaleneindruck hängt nach allgemein gültiger Ansicht maßgeblich von der Funktion der Otolithenapparate ab ( Mittelstaedt 1983 ). Eine ausführliche Darstellung der Methode erfolgte unter 1.2.1.2 . Hier sei nur wiederholt, dass es in vielen Fällen einer Otolithenstörung zu einer Verkippung des Vertikaleneindrucks kommt.

Auch dieses Phänomen ist nicht ausschließlich von der Otolithenfunktion abhängig, da sich auch Bogengang- und Hirnstammläsionen, Thalamus- und sogar kortikale Läsionen, also in den zentralen Bahnen der Otolithenapparate, als Verkippung des Vertikaleneindrucks manifestieren können ( Brandt und Dieterich 1994 ).

Unter bestimmten Modifikationen lassen sich auch durch die rotatorische Prüfung Informationen über die Funktion der Otolithenapparate gewinnen (z. B. OVAR, siehe S. 14 )

Bei der Frage, wie die otolithäre Information zu einer Verschiebung des Vertikaleneindrucks führt, wäre es denkbar, dass ein von der gestörten Otolithenfunktion erzeugtes, pathologisches Innervationsmuster, die äußeren Augenmuskeln so beeinflusst, dass es zu einer Verrollung des Bulbus in der Frontalebene kommt, die mit der Verkippung des Vertikaleneindrucks korreliert.

In einer Untersuchung an Patienten mit nachgewiesener, einseitig peripher-vestibulärer Läsion und pathologischer Abweichung der binoculär bestimmten VSV ergab sich jedoch keine Korrelation zur pathologischen Verrollung des Bulbus, wie sie mittels Augenhintergrundphotographie dokumentiert worden war ( Hamann und Schmidt 1998 ).

Daraus lässt sich schließen, dass es nicht zu einer direkten Übertragung einer vestibulären Läsion auf die statische Augenposition kommt, die sich an der Abweichung der binoculär bestimmten VSV ablesen ließe.

Die übliche rotatorische Prüfung ist so angelegt, dass die vertikal stehende Drehachse zwischen beide Vestibularapparate gelegt wird,

damit für die Bogengangszereptoren eine additive Reizung erfolgt, sich dagegen Beschleunigungsvektoren für die otolithären Sinneszellen aufheben.

Bringt man durch Kippung der Drehachse die Vestibularapparate in eine zur Vertikalachse asymmetrische Lage ( OVAR = off-vertical axis rotation ), so kommt es nach etwa 20 sec konstanter Drehgeschwindigkeit, wenn also die Bogengangserregung abgeklungen ist, zu einem Nystagmus. Dieser kann nur dadurch erklärt werden, dass der nunmehr rotierende Gravitationsvektor diesen hervorruft. Dieser sehr aufwendige und daher klinisch selten angewandte Test gestattet es tatsächlich, selektiv die Funktion des Otolithensystems zu beurteilen ( Darlot, Toupet und Denise 1997 ).

Von Wetzig und Mitarbeitern wurde 1990 für die selektive einseitige Stimulation der Otolithenapparate vorgeschlagen, den Sitz eines Drehstuhls lateral so zu verschieben, dass die Drehachse durch den Otolithenapparat einer Seite geht. Die bei konstanten Drehreizen auftretenden Augenbewegungen sind auf den Otolithenapparat der anderen Seite zurückzuführen.

Schon seit Jahrzehnten ist bekannt, dass bei Seitwärtslagerung des Kopfes eine kompensatorische Gegenrollung der Augen auftritt, jedoch in einem quantitativ schwächeren Ausmaß als die Abweichung der VSV ( Kanzaki und Ouchi 1978; Schöne 1962 ).

Die in längerer Seitwärtslage bestehenbleibende Gegenrollung der Augen kann, da die Bogengangserregung abgeklungen ist, ausschließlich auf den Otolithenreiz zurückgeführt werden. Noch bis vor kurzem standen einer routinemäßigen Anwendung dieser Methode unzureichende technische Möglichkeiten entgegen. Durch den Einsatz moderner Videoculographiegeräte, die auch eine Messung und Auswertung der torsionalen Augenbewegungen ermöglichen, wird die Augentorsionsmessung verstärkt eingesetzt werden. ( siehe auch 1.4. ).

Grundlegende Arbeiten stammen von Diamond und Markham, die zunächst einmal zeigen konnten, dass an Gesunden das Phänomen der Gegenrollung der Augen symmetrisch, auch unter dynamischen Bedingungen auftritt. Dagegen kam es zu einer starken Asymmetrie der Gegenrollung bei Patienten mit einseitig peripher-vestibulärem Defizit ( Diamond und Markham 1981; Krejcova et al. 1971 ).

Erst in jüngster Zeit ist eine Methodik vorgeschlagen worden, die als selektiver Sacculustest angesehen wird ( Colebatch et al. 1994 ).

Nach Clickreizen hoher Intensität lassen sich im Summen-EMG des Musculus sternocleidomastoideus ipsilateral zwei Potentialkomplexe registrieren, von denen der eine auf die cochleäre Reizung zurückzuführen ist, der andere jedoch auch nach komplettem, cochleärem Funktionsausfall weiterhin ableitbar ist.

In Tierexperimenten gelang es nachzuweisen, dass der Wellenkomplex mit einer Latenz p13-n23 ms ( siehe Abb.6 ) von der Funktion des ipsilateralen Sacculus abhängt ( Colebatch et al. 1994; Murofushi und Curthoys 1997 ).

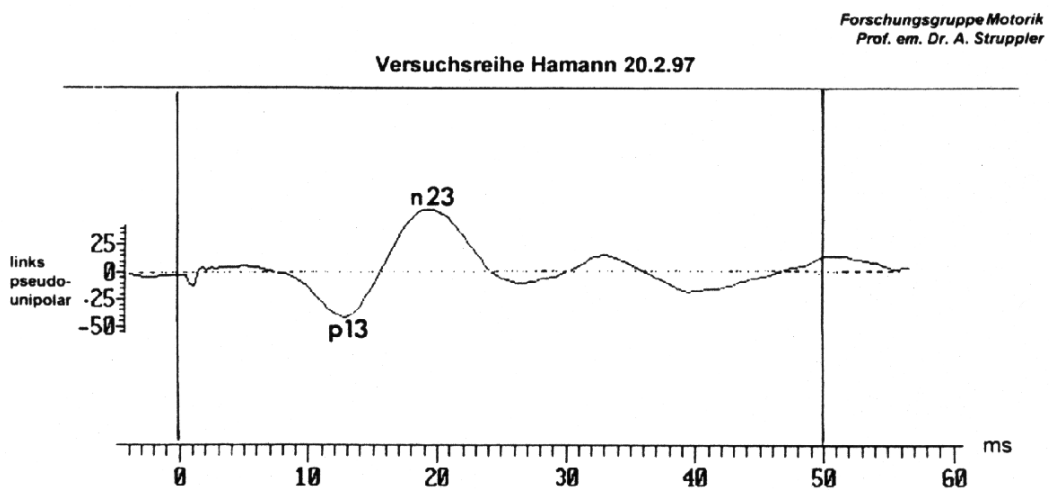


Abb.6: EMG- Ableitung vom M. sternocleidomastoideus nach ipsilateraler Klickreizung bei einer Versuchsperson. Das gekennzeichnete Potential entspricht der Antwort auf Sacculusreizung ( aus Hamann 1998, S.55 )

Von den zahlreichen als Otolithentests bezeichneten Untersuchungsverfahren, sind bei gegenwärtigem Kenntnisstand nur die off-vertikal axis rotation (OVAR), die Lateralverschiebung des Drehsitzes, die Gegenrollung der Augen und die klickevozierten Sacculuspotentiale, als spezifische Otolithentests anzusehen.



#### 1.2.2.4 Untersuchung zentral-oculomotorischer Funktionen

Zur Beurteilung zentral-vestibulärer Leistungen gelangt man, wenn bei beidseitiger Stimulation der Rezeptoren das Ergebnis der zentral-nervösen Verarbeitung gemessen wird. Der wichtigste Test für die klinische Diagnostik zentral-vestibulärer Läsionen ist die rotatorische Prüfung. Der Patient wird dabei um seine Körperachse gedreht und die Nystagmusreaktion, sei es bei per- oder postrotatorischer Beschleunigung oder bei Pendelreiz, registriert. Sie gibt das Ergebnis der neuronalen Reaktion der Vestibulariskerne auf Reizung beider peripherer Vestibularapparate wieder.

Andere Untersuchungen, wie die Auslösung des optokinetischen Nystagmus oder die Pendelblickfolge, stellen vorwiegend oculomotorische Tests dar. Diese können, teilweise an das störungsfreie Funktionieren des vestibulären Systems geknüpft, für die Gesamtbeurteilung der vestibulären Funktion bei einer kompletten Diagnostik bei Schwindelbeschwerden zusätzlich herangezogen werden.

### 1.3 Fragestellung

In der vorliegenden Arbeit soll auf folgende Fragen Antwort gegeben werden.

1. Lassen sich für Probanden und Patienten mit einseitig peripher-vestibulärem Defizit die aus der Literatur bekannten Abweichungen der VSV in konstanten Körperpositionen bestätigen ?
2. Lassen sich für Probanden und Patienten die aus der Literatur bekannten Abweichungen der frontalen Augenposition in konstanten Körperpositionen bestätigen ?
3. Bestehen bei Probanden direkte Abhängigkeiten zwischen der VSV und der Augenposition in der Frontalebene in konstanten Körperpositionen ?
4. Bestehen bei Patienten mit einseitig peripher-vestibulärem Defizit direkte Abhängigkeiten zwischen der VSV und der Augenposition in der Frontalebene in konstanten Körperpositionen ?
5. Ist die pathologisch auftretende Asymmetrie der Gegenrollung der Augen eine spezifische Reaktion des erkrankten Otolithenapparates ?
6. Unterliegen die Phänomene der VSV und der Gegenrollung der Augen bei Patienten mit einseitig peripher-vestibulärem Defizit Kompensationsvorgängen ?
7. Wie ist die klinische Wertigkeit der VSV und der Gegenrollung der Augen einzuschätzen ?

## 2. Methodik

### 2.1 Bestimmung der visuellen subjektiven Vertikalen ( VSV )

#### 2.1.1 Gerät zur Bestimmung der VSV

---

Das Gerät zur Bestimmung der visuellen subjektiven Vertikalen (VSV) bestand aus einer schwarzen, kreisförmigen Scheibe mit einem Durchmesser von 30 cm, die durch einen Motor mittels Fernsteuerung in der Frontalebene gedreht werden konnte. Die durch den Mittelpunkt gehende, gelb fluoreszierende Linie stellte das einzustellende Blickziel dar ( siehe Abb. 7 ). Sie konnte sowohl vom Untersucher als auch vom Patienten/Probanden mittels getrennter Kabelfernbedienung nach links und rechts um ihren Mittelpunkt gedreht werden.

Die Scheibe war bezüglich der Höhe, die während der Untersuchung individuell auf Augenhöhe arretiert wurde, an einer Verschiebestange verstellbar. An ihrer Spitze war eine Wasserwaage montiert. Diese erlaubte zusammen mit dem Dreipunktfuß eine konstante vertikale Stellung des Apparates zum Erdboden.

Auf der Rückseite der Scheibe befand sich zum Ablesen der Linienposition ein Winkelmesser mit Gradeinteilung.

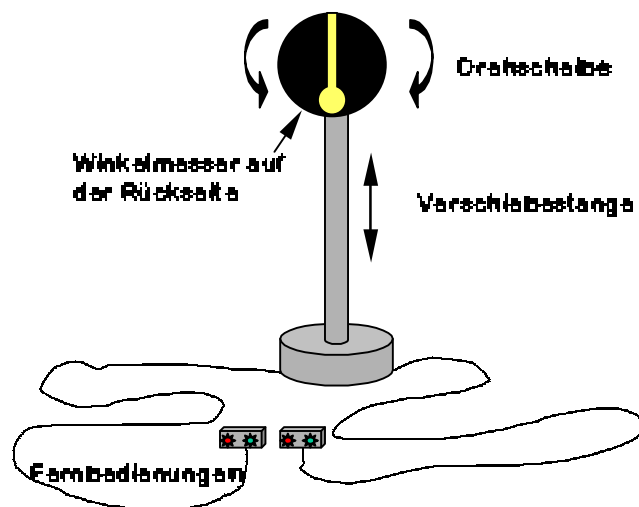


Abb. 7: Gerät zur Messung der visuellen subjektiven Vertikalen ( VSV )

### 2.1.2 Messung der VSV

---

Zur Bestimmung der VSV saß der Proband aufrecht in 1 m Entfernung vor der Drehscheibe, die jeweils auf Kopfhöhe eingestellt wurde. Die zu untersuchende Person mußte im total abgedunkelten Raum ( ENG- Labor ) im Sitzen, in Links- und Rechtsseitenlage (  $90^\circ$ , siehe 2.3 ), jeweils fünfmal die fluoreszierende Linie aus einer vorher randomisiert eingestellten Position, in die für sie subjektiv vertikal erscheinende Position bringen ( siehe Abb. 8 ).

Nach jeder Einstellung wurde die Stellung der Linie am Winkelmesser abgelesen und danach die Linie neu positioniert, wobei der Proband die Augen schließen musste, um jeglichen Räumlichkeitseindruck zu meiden.

Die Werte wurden in das Untersuchungsprotokoll eingetragen.

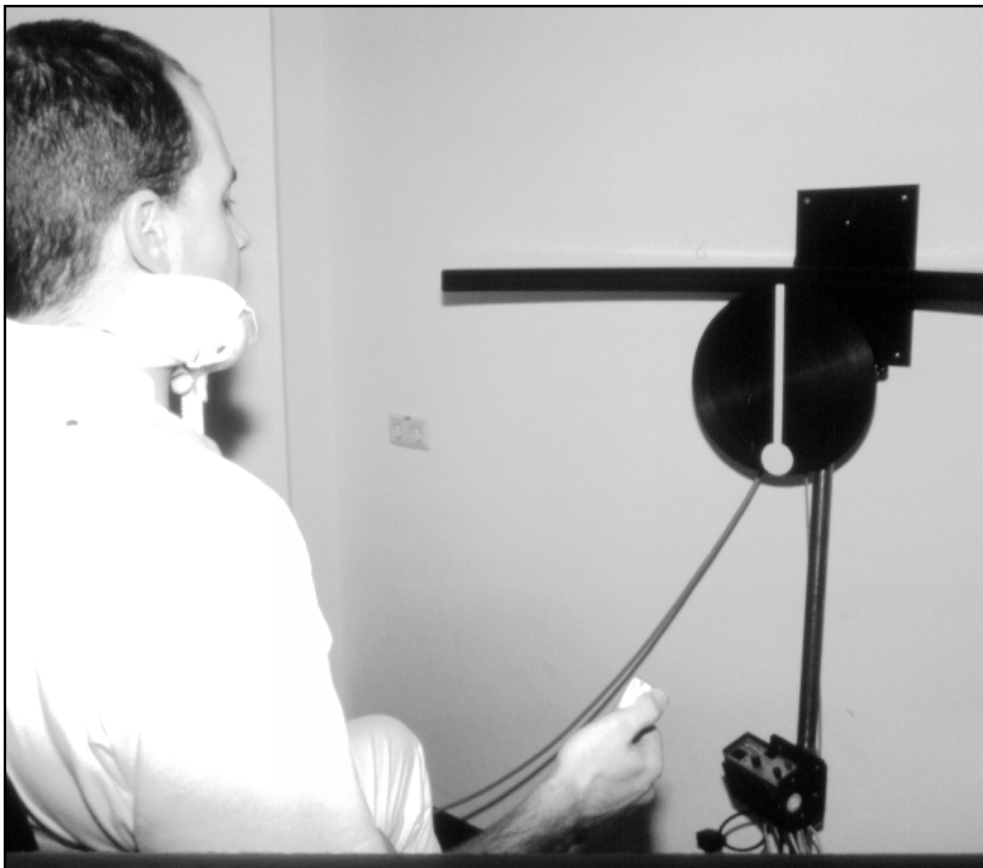


Abb. 8: Versuchsanordnung Messung der VSV im Sitzen

### 2.1.3 Auswertung der VSV

---

Die Messergebnisse wurden schriftlich in ganzen Gradzahlen, mit Vorzeichen versehen, dokumentiert. Negativ bedeutete hierbei eine Drehung aus der Senkrechten ( $0^\circ$ ) nach links, positiv nach rechts.

Für jede der drei Körperpositionen wurde der Mittelwert aus den fünf Messwerten bestimmt, und dieser mit der ersten Dezimalstelle dokumentiert.

## **2.2 Bestimmung der Augenposition in der Frontalebene ( Augentorsion )**

### 2.2.1 Videokamera

---

Zur Messung der Augenposition in der Frontalebene benutzten wir ein Videokamerasystem, eine Leihgabe der Firma Kayser-Threde. Das Gerät bestand aus einer taucherbrillenähnlichen Apparatur, auf der vor dem linken Auge eine infrarotlichtempfindliche Kamera incl. dreier Leuchtdioden montiert war. Das rechte Auge blieb frei ( Abb.9 ).



Abb.9: Videobrille der Firma Kayser-Threde

Die Brille war an einem Halteapparat fixiert, der selbst sowohl in der Sagittalebene als auch in der Koronarebene, eine individuelle Einstellung auf den Kopf ermöglichte. Der Sitz der Kamera ließ sich über Rändelschrauben in vertikaler und horizontaler Richtung zentrieren.

Mit der Registriereinheit, dem Hauptstück des High-8 Videorecorder, war die Videobrille durch ein Kabel verbunden.

Die Apparate standen während des Versuchs hinter der zu untersuchenden Person, um mögliche Lichteinstreuungen auszuschließen.

### 2.2.2 Messung der Augenposition in der Frontalebene

---

Vor Beginn der eigentlichen Messung zentrierte man die Kamera so, dass das Auge auf dem Videokontrollschirm mittig und die Lidachse horizontal abgebildet wurde.

In jeder der drei Körperpositionen ( siehe 2.3 ) wurde der Bulbus mindestens eine Minute lang gefilmt.

Der Untersuchungsraum war, bis auf einen vor dem Probanden/Patienten in Augenhöhe angebrachten Leuchtpunkt, den er mit dem rechten Auge fixieren sollte, dunkel. Dadurch erhielt man später eine ruhige Augenposition auf dem Bildschirm, ohne dass die Augenrollung dadurch im Sinne einer Adaptation beeinflusst wird ( Yashiro et al. 1996; Krejcova et al. 1971 ). Der Abstand zwischen den einzelnen Messungen betrug mindestens drei Minuten.

### 2.2.3 Auswertung der Augenpositionsmessung

---

Die Auswertung des Videobandes erfolgte an einem Fernschirmschirm mittels einer durchsichtigen, mit parallelen Linien versehenen Trägerfolie und einem darauf befestigten Winkelmesser ( siehe Abb. 10 ). Er bestand aus einer DIN A 4 Folie, auf der ein Zentrierkreuz durch den Mittelpunkt angebracht war. An diesem waren zwei runde Folien drehbar befestigt. Die erste war mit einer 360°- Einteilung versehen, die zweite lediglich mit einem Pfeil.

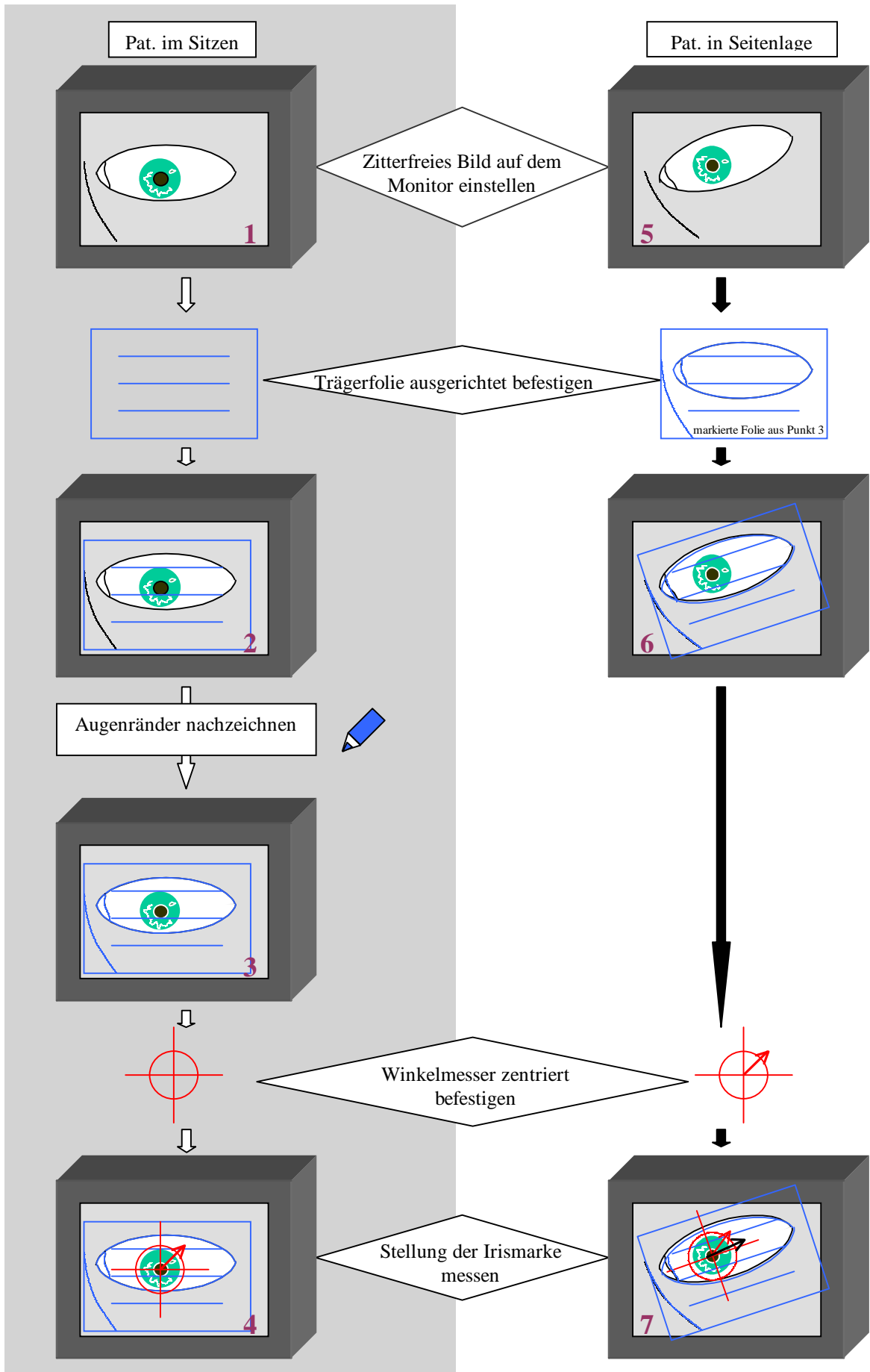


Abb. 10: Auswertung der Augenpositionsmessung

Für die Messung des Rotationswinkels musste zunächst die Augenposition im Sitzen bestimmt werden. Dazu suchte man sich auf dem Videoband eine geeignete Stelle, auf der deutlich Markierungen auf der Iris erkennbar waren, und hielt sie im Standbild fest. Die Trägerfolie wurde mit ihren Linien parallel zur Lidachse auf dem Bildschirm angebracht. Da die Lidspalte die einzige Bezugsebene zum Bulbus ist, wurden die Ränder auf der Folie nachgezeichnet ( siehe Abb.10 ).

Der Winkelmesser wurde nun so auf dem Träger befestigt, dass sein Mittelpunkt im Zentrum der Pupille und das Zentrierkreuz parallel bzw. horizontal zu den Linien der Trägerfolie zu liegen kam.

Nun wurde die Position einer besonders auffälligen Markierung über den Winkelmesser ermittelt. Dazu diente der Pfeil der zweiten runden Folie.

Die Messung der Augenpositionen in den Seitenlagen erfolgte in Relation zu der Position im Sitzen jeweils nach demselben Schema. Nach der Einstellung des Standbildes in Seitenlage wurde die Trägerfolie wieder ausgerichtet, der Winkelmesser zentriert und parallel befestigt und so die Position der Irismarke ermittelt. Die Messung erfolgte in Rechts- und Linksseitenlage in gleicher Weise.

Die Abweichung der Irismarke im Vergleich der seitlichen Positionen zur sitzenden Position wurde in ganzen Graden mit entsprechendem Vorzeichen notiert. Dabei erhielt eine Verrollung des Bulbus im Uhrzeigersinn bezogen auf den Patienten ein positives Vorzeichen und eine Verrollung zur anderen Seite ein negatives Vorzeichen.

Um den Messfehler zu minimieren, wurde jede Messung dreimal in jeder Position durchgeführt, der Mittelwert notiert.

Die Auswertung erforderte pro Patient mindestens eine Stunde.



## 2.3 Untersuchungsablauf

Vor Beginn der eigentlichen Untersuchung erfolgte eine Aufklärung über den Ablauf der Messungen. Dann wurde dem Probanden/Patienten ein Halsbrustkorsett angelegt, das eine gleichbleibende Stellung des Kopfes zum Rumpf garantierte und die Einflüsse der Afferenzen aus der HWS ( Muskel-, Gelenks-, Sehnenrezeptoren ) minimierte. Der Patient bekam dann die Videobrille aufgesetzt und angepasst.

Im Sitzen wurde zur genauen Einstellung des Kopfes die Horizontalposition der Schädeldecke mit Hilfe einer Wasserwaage überprüft.

Darauf folgte die Registrierung der torsionalen Augenposition im abgedunkelten Raum für mindestens eine Minute. ( siehe Abb. 11 ).



Abb.11 : Messung der Augenposition im Sitzen

Anschließend wurde der Patient in die Linksseitenlage gebracht. Die waagerechte Position des Schädels wurde über eine Wasserwaage, die auf dem Schläfenbein aufgelegt wurde, kontrolliert. Danach erfolgte, mit einem Mindestabstand von drei Minuten zur vorhergehenden Messung, die Videoregistrierung der Augenposition. In die Rechtsseitenlage ( 90° ) brachte man den Patienten über die sitzende Position. Registriert wurde auf gleiche Weise.

Nach Ende der Videoregistrierung wurde die Brille abgenommen und anschließend durch den Patienten die VSV- Einstellungen ausgeführt.

Es sollte noch einmal hervorgehoben werden, dass alle Umlagerungen jeweils in der Frontalebene stattfanden.

Ein Untersuchungsdurchgang dauerte 45-60 Minuten.

## **2.4 Untersuchungsgut**

Die Gruppe der Probanden umfasste 20 Personen, welche die folgenden Einschlusskriterien erfüllen mussten:

1. Fehlen von Schwindelbeschwerden oder bekannten Innenohrschäden,
2. Abweichung der VSV im Sitzen kleiner als zwei  $\frac{1}{4}^\circ$ ,
3. Kein Spontannystagmus.

Das Alter der 9 Frauen und 11 Männer lag zwischen 23 und 57 Jahren.

Die Messwerte sind in Tabelle 2 ( siehe 3.1.1 ) aufgelistet.

Die Gruppe der Patienten bestand gleichfalls aus 20 Personen. Das Alter der Personen lag zwischen 21 und 83 Jahren. Alle Patienten hatten ein linksseitig peripher-vestibuläres Defizit, das durch eine ausführliche neurootologische Diagnostik, einschließlich ENG, nachgewiesen worden war.

Die einzelnen Krankheitsbilder sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

Krankheitsbilder	Patient Nr.
Neuropathia vestibularis	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,18,19,20
Morbus Menière	17

Tabelle 1: Krankheitsbilder der Patienten

Da der Zeitraum zwischen dem Akutereignis der vestibulären Erkrankung und dem Untersuchungszeitpunkt unterschiedlich lang war, wurde versucht, den Grad der vestibulären Kompensation anhand des Vorhandenseins oder Fehlens eines SPN und anhand rotatorischer Tests festzulegen.

Die Messwerte sind in Tabelle 3 ( siehe 3.1.2 ) aufgelistet. Der „Kompensationsstand“ der Patienten, aufgeteilt in „kompensiert“ und „nicht kompensiert“, ist gesondert vermerkt.

## 2.5 Statistische Bearbeitung

Die Bearbeitung der Daten erfolgte unter der Berechnung der Mittelwerte und Standardabweichungen. Zur Ermittlung der Signifikanzen wurden die Tests nach Wilcoxon und Mann-Whitney benutzt.

Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgte in Boxplots.

Die Errechnung der Statistik erfolgte unter Beratung und Mithilfe des Institutes für medizinischen Epidemiologie und Statistik der Technischen Universität München.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Die visuellen subjektiven Vertikalen ( VSV )

##### 3.1.1 Die VSV bei Gesunden

Die Abweichungen der VSV im Sitzen lagen bei den gesunden Probanden im Bereich der bekannten Normwerte (  $\pm 2^\circ$ , Friedmann 1970 ). Sie lagen im Mittel bei 0,08 Winkelgrad ( siehe Tabelle 2 ).

Proband	VSV im Sitzen	VSV in LiLa	Gegenr. der A. in LiLa	VSV in ReLa	Gegenr. der A. in ReLa	Diff. der VSV	Diff. der Gegenr.
1	1,0	+15,2	5	17,6	+6	2,4	+1
2	0,6	+18,2	6	14,4	+5	+3,8	1
3	+0,6	+20,0	6	17,4	+5	+2,6	1
4	0,2	+29,4	5	16,0	+4	+13,4	1
5	0,2	+10,4	8	6,2	+7	+4,2	+1
6	0,4	+30,6	6	29,2	+7	+1,4	+1
7	0,2	+15,0	6	14,2	+8	+0,8	+2
8	0,8	+21,4	6	25,8	+9	4,4	3
9	0,2	+16,8	7	8,4	+6	+8,4	+1
10	+0,8	+35,6	7	32,4	+8	+3,2	+1
11	0,0	+24,8	13	22,6	+10	+2,2	3
12	+2,0	+22,4	6	18,0	+8	+4,4	+2
13	1,4	+26,4	4	22,4	+2	+4	2
14	0,0	+32,0	5	10,6	+6	+21,4	+1
15	0,4	+20,2	9	19,2	+4	+1	5
16	1,6	+18,0	4	17,4	+5	4,4	+1
17	+1,0	+20,4	9	18,0	+9	+2,4	0
18	+0,4	+12,8	11	15,0	+9	2,2	2
19	+0,4	+21,2	7	15,2	+7	+6	0
20	+0,2	+23,6	4	21,8	+5	+1,8	+1
<b>Mittelw.</b>	<b>0,08</b>	<b>+21,47</b>	<b>6,70</b>	<b>18,09</b>	<b>+6,50</b>	<b>+3,38</b>	<b>0,30</b>
<b>St. ab</b>	<b>0,83</b>	<b>6,83</b>	<b>2,34</b>	<b>6,43</b>	<b>2,06</b>	<b>5,92</b>	<b>1,89</b>

Tabelle 2: Messwerte der Probanden

Auch die Abweichungen der VSV in Seitenlage ergaben Werte, die für die Rechts- wie für die Linkslage den bekannten Normwerten entsprechen ( vgl. Tabelle 2; Metzler 1989; Schöne 1962 ). Ausnahmen bezüglich der Seite der Abweichungen in Relation zur Körperlage traten nie auf. Die Mittelwerte der in den Seitenlagen gemessenen VSV-Abweichungen ergaben zwar mit einer Differenz von  $3,38^\circ$  einen statistisch signifikanten Seitenunterschied (  $p=0,021$  ), der jedoch angesichts einer Standardabweichung von  $5,92^\circ$  keine klinische Signifikanz hat ( siehe Abb.12 ).

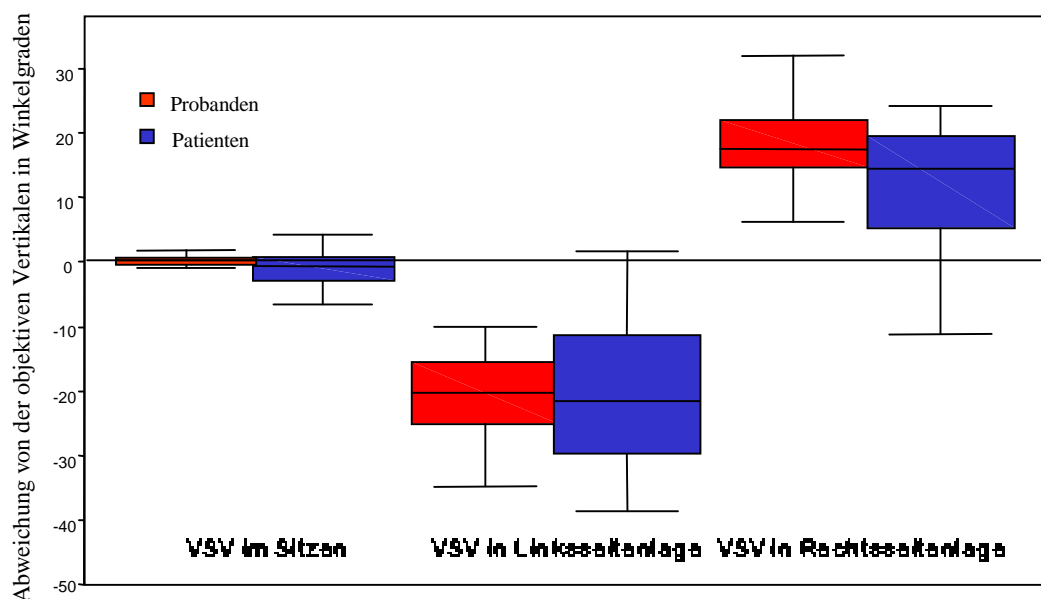


Abb. 12: VSV-Abweichung in drei Körperpositionen bei Probanden und Patienten

### 3.1.2 Die VSV bei Patienten mit einseitig peripher-vestibulärem Defizit

Bei Patienten mit einseitig peripher-vestibulärem Defizit auf der linken Seite fand sich in 9 von 20 Fällen eine pathologische Abweichung der VSV im Sitzen ( siehe Tabelle 3 ).

Die Mittelwerte der VSV-Abweichungen in Rechts- und Linksseitenlage ( $90^\circ$ ) zeigten signifikante Unterschiede, die bei Betrachtung der Werte der einzelnen Patienten häufig noch ausgeprägter waren. Dies trifft vor allem für die Patienten zu, die bereits im Sitzen pathologische Ausgangswerte besaßen ( siehe Abb.12 ). Die größere Abweichung war immer zur Läsionsseite gerichtet.

Patient	VSV im Sitzen	VSV in LiLa	Gegenw. der A. in LiLa	VSV in ReLa	Gegenw. der A. in ReLa	Diff. der VSV	Diff. der Gegenw.	Komp. Stadium
1	+2,6	+7,80	3	+11,2	+8	+19	+5	n.komp.
2	+2,4	1,80	3	+7,2	+5	+5,4	+2	n.komp.
3	1,4	+32,40	6	19,8	+7	+12	+1	komp.
4	+12,0	+10,00	+2	+0,6	+9	+10,6	+11	n.komp.
5	0,8	+12,00	+4	8,0	+11	+4	+15	komp.
6	+6,6	+16,20	+2	+0,4	+12	+16,6	+14	n.komp.
7	+0,8	+32,60	3	23,2	+9	+9,4	+6	n.komp.
8	+3,2	+5,80	2	17,2	+10	11,4	+8	komp.
9	+4,6	+27,80	5	14,0	4	+13,8	9	n.komp.
10	+1,4	+28,40	6	24,2	+2	+4,2	4	komp.
11	+0,4	+31,60	5	23,4	+10	+8,2	+5	n.komp.
12	0,4	+28,40	5	20,6	+10	+7,8	+5	n.komp.
13	4,0	+38,60	+7	18,2	+5	+20,4	+13	n.komp.
14	1,4	+10,60	7	13,2	+11	2,8	+4	n.komp.
15	+0,8	+24,00	7	9,8	+9	+14,4	+2	n.komp.
16	+5,2	+22,00	+1	19,6	+9	+2,4	+10	komp.
17	+0,8	+19,60	2	17,2	+5	+2,4	+3	komp.
18	3,2	+19,60	2	11,8	+6	+7,8	+4	n.komp.
19	+1,2	+31,00	+2	15,0	+5	+16	+7	n.komp.
20	0,2	+20,80	11	2,8	+8	+18	3	komp.
Mittelw.	+1,53	+20,87	2,45	11,92	7,35	+8,91	+4,95	
Stab	3,61	10,80	4,37	10,34	3,72	7,91	6,07	

Tabelle 3: Messwerte der Patienten

Der Vergleich der VSV-Abweichung in Linkslage zwischen den Probanden und den Patienten zeigte keinen signifikanten Unterschied (  $p = 0,989$  ), während die Differenz in Rechtsseitenlage mit  $6,17^\circ$  und einem  $p$  von  $0,102$  nahe dem Signifikanzniveau liegt ( siehe Abb. 12 ).

Betrachtet man die Mittelwerte der Differenz ( Linkslage - Rechtslage ), so stellt man einen statistisch signifikanten Unterschied (  $p = 0,005$  ) zwischen den beiden Untersuchungsgruppen fest ( siehe Abb.13 ).

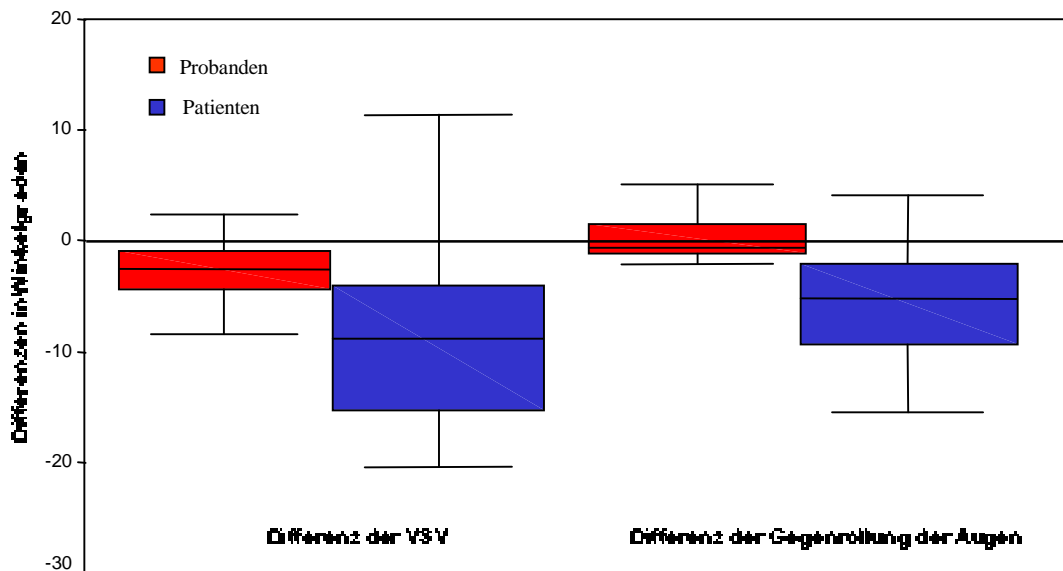


Abb.13: Differenz der VSV-Abweichung und der Gegenrollung der Augen

### 3.2 Die Gegenrollung der Augen

#### 3.2.1 Die Gegenrollung der Augen bei Gesunden

Die Gegenrollung der Augen ergab bei Gesunden mit  $2-13^\circ$  Werte, die im Normbereich lagen ( Diamond und Markham 1981; Schöne 1962 ). Dies gilt sowohl für die individuellen als auch für die Mittelwerte ( siehe Abb.14 ).

Die Seitendifferenzen der Mittelwerte lagen, wenn man die Torsionsrichtung außer Acht lässt, unter  $0,3^\circ$  und waren damit nicht signifikant (  $p = 0,788$  ).

Die Seitendifferenzen der Einzelwerte waren, von einer Ausnahme abgesehen, nie größer als  $3^\circ$  ( siehe Tabelle 2 ).

### 3.2.2 Die Gegenrollung der Augen bei Patienten mit einseitig peripher-vestibulärem Defizit

Bei Patienten, die alle ein links peripher-vestibuläres Defizit links aufwiesen, fand sich bei Seitenlage auf der Läsionsseite überwiegend eine Gegenrollung im Uhrzeigersinn der Augen mit geringeren Drehwinkeln als bei Probanden, allerdings wiesen sechs der zwanzig Patienten Drehwinkelabweichungen entgegen dem Uhrzeigersinn auf.

Lagen die Patienten auf der intakten Seite, so traten, von einer Ausnahme abgesehen, im Vergleich zur Gegenseite sehr viel größere Winkelabweichungen entgegen dem Uhrzeigersinn auf ( siehe Abb.14 ).

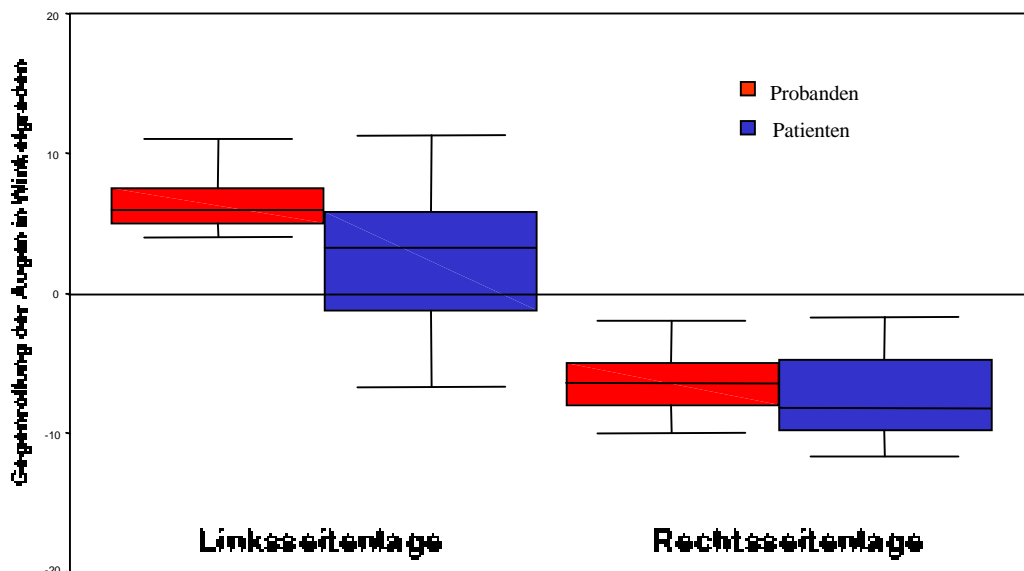


Abb.14: Gegenrollung der Augen bei Probanden und Patienten

Dies gilt sowohl für die Mittelwerte, als auch für die Einzelwerte. Die Asymmetrien waren in Einzelfällen stark ausgeprägt ( siehe Tabelle 3 ). Der Unterschied zwischen der Gegenrollung der Augen in Rechts- und Linksseitenlage in der Gruppe der Patienten zeigte mit  $p=0,003$  einen statistisch signifikanten Seitenunterschied, wenn man die Torsionsrichtung außer Acht lässt ( siehe Abb.14 ).



Beim Vergleich der Mittelwerte in Linkslage ergab sich bei den Patienten eine signifikant geringere Gegenrollung der Augen als bei den Probanden (  $p = 0,001$  ). Der Unterschied der Mittelwerte in Rechtsseitenlage zwischen Patienten und Probanden lag mit einem  $p$  von  $0,121$  knapp außerhalb des Signifikanzniveaus mit  $p < 0,05$ .

Betrachtet man die Werte der Differenz der Gegenrollung der Augen ( Linkslage–Rechtslage ), so ist die Abweichung mit  $p < 0,000$  deutlich signifikant.

### **3.3 Vergleich der VSV-Abweichung mit der Gegenrollung der Augen bei Gesunden und bei Patienten mit einseitig peripher-vestibulärem Defizit**

Der Vergleich der Werte der VSV mit der Gegenrollung der Augen zwischen beiden Seitlagen zeigte, dass die Differenzen der VSV bei Probanden über  $10^\circ$  starke Abweichungen aufwiesen, während die Differenzen der Abweichungen der Gegenrollwinkel geringer waren und nur in einem Fall  $5^\circ$ , in allen anderen Fällen nie mehr als  $3^\circ$  erreichten. Allerdings waren im Vergleich der Mittelwerte des Kollektivs die Unterschiede in Rechts- sowie Linksseitenlage nur für die VSV statistisch signifikant.

In der Patientengruppe zeigte sowohl die VSV wie auch die Gegenrollung der Augen erhebliche Asymmetrien im Vergleich von Rechts- und Linksseitenlage.

Auch für die Patienten waren die Unterschiede der VSV quantitativ ( bezogen auf die Winkelabweichung ) größer als für die Gegenrollung der Augen. Allerdings war hier die Streuung im Vergleich zur Probandengruppe größer ( siehe Tabelle 2 + 3, Abb. 14 ), was die Betrachtung der Einzelwerte ausweist.

### **3.4 Die VSV-Abweichung und die Gegenrollung der Augen bei Patienten mit einseitig peripher-vestibulärem Defizit in Abhängigkeit von der vestibulären Kompensation**

Anhand der Kriterien Spontannystagmus und Ergebnis der rotatorischen Prüfung war festgelegt worden, inwieweit die vestibuläre Störung „kompensiert“ war oder nicht ( vgl. 2.4 ).

Für die Bestimmung der VSV ließ sich generell keine klare Abhängigkeit vom Kompensationsgrad erkennen. Bei den „nicht kompensierten“ Patienten zeigten sich teilweise nur geringe Seitendifferenzen, in anderen Fällen wiederum sehr starke Unterschiede ( siehe Tabelle 3 ).

Gleiches gilt für die kompensierten Patienten. Bei der Betrachtung der Mittelwerte ergab sich nur tendenziell eine geringere Differenz der Gegenrollwinkel der Augen.

Die Seitendifferenzen der Rollwinkel zeigten ein etwas einheitlicheres Muster. Hier fanden sich, von Ausnahmen abgesehen, die stärkeren Seitendifferenzen meist bei den nicht kompensierten Fällen. Die kompensierten Patienten hatten, bis auf eine Ausnahme, geringere Seitendifferenzen.

Bei der individuellen Betrachtung zeigt sich, dass in mehreren Fällen starke Unterschiede zwischen den Seitendifferenzen der VSV, sowie der Gegenrollung der Augen bestanden ( siehe Tabellen 2 + 3 ).

Bei der Aufteilung der Patientengruppe in eine als kompensiert und eine als nicht kompensiert angesehene Gruppe, gab es sowohl für die VSV-Abweichung in Rechts- und Linksseitenlage als auch für die Gegenrollung der Augen keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Der Patient, der zweimal im Abstand von 10 Tagen gemessen worden war, hatte zwar nach unseren Kriterien noch nicht kompensiert, wies aber sowohl bei der Seitendifferenz der VSV, wie auch bei der Gegenrollung der Augen bei der Messung 10 Tage später, geringere Werte bzw. Asymmetrien auf (siehe Abb.15).

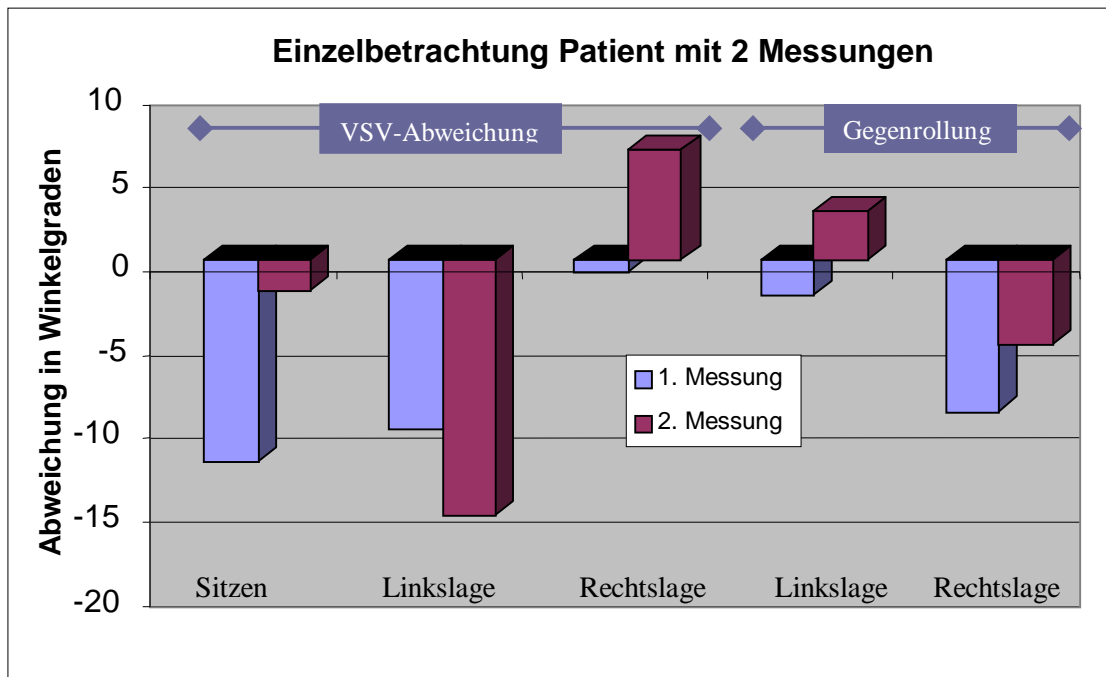


Abb.15: Messwerte von VSV und Gegenrollung eines Patienten im Abstand von 10 Tagen

## 4. Diskussion

### 4.1 Die VSV und die Gegenrollung der Augen in verschiedenen

#### Körperpositionen bei gesunden Probanden

Bei Probanden mit gesundem vestibulärem System ist zu erwarten, dass bei Seitwärtslagerung gleichen Ausmaßes, aber in entgegengesetzter Richtung, symmetrische Reaktionen von VSV ( Aubert 1860; Metzler 1989 ) und Augengegenrollung ( Diamond und Markham 1981 ) auftreten.

Diese Annahme ist durch andere Studien bestätigt worden ( Schöne 1962; Mittelstaedt 1983, Krejcova 1971 ). Die für den Vertikaleneindruck gemessenen Werte erreichen in Seitenlage ( 90° ) Mittelwerte im Bereich von 15 bis 17° ( Mittelstaedt 1983; Metzler 1989 ).

Auch die in der hier vorgelegten Studie erhaltenen Werte liegen in diesem Bereich. Es ergab sich allerdings in den beiden 90°-Lagen eine leichte Asymmetrie von 3,4° im Mittel.

Auch für die Gegenrollung der Augen zeigen die von verschiedenen Autoren erhobenen Daten in Rechts- und Linksseitenlage annähernd symmetrische Werte, die in einem Bereich von 6-8° Abweichung von der Augenposition im Sitzen liegen ( Diamond und Markham 1981; Nelson und Cope 1971 ).

Die von uns erhobenen Befunde bestätigen nicht nur die Größenordnung der in Rechts- und Linksseitenlage gefundenen Bulbusverrollungen, sondern auch die mit einem Unterschied von unter 0,3° annähernd erreichte Symmetrie.

Diese Daten belegen, dass die von uns benutzte Methode den aus der Literatur bekannten Standard besitzt.

Bei den eindeutigen, von mehreren Autoren bestätigten Abhängigkeiten dieser Phänomene von der Körperlage, stellt sich die Frage, welches Sinnesorgan dafür verantwortlich ist.

Während der Körperseitlagerung in der Frontalebene werden sowohl der Bogengangapparat als auch der Otolithenapparat erregt.

Bei langsamer Körperseitlagerung wird die Rollung der Augen hauptsächlich durch Erregungen im vertikalen Bogengang verursacht ( K. Jáuregui-Renaud et. al. 1998 ). Bei anhaltender Seitenlage klingt die Bogengangserregung mit der ihr eigenen Zeitkonstante ab, so dass 20 sec nach Einnehmen der Seitenlage nicht mehr mit einem Einfluss der Bogengänge auf die Augenposition zu rechnen ist.

Dagegen unterliegt der Otolithenapparat, bei einer, gegenüber der Position im Sitzen veränderten Kopflage, auch weiterhin einem Reiz, da der am Otolithenapparat angreifende Gravitationsvektor geändert ist.

Eine bei Körperseitlagerung möglicherweise auftretende Stimulation der in der HWS gelegenen Propriozeptoren wurde durch die Fixation von Kopf zum Rumpf mittels einer Schiene soweit reduziert, dass ein quantitativ bedeutsamer Einfluss ausgeschlossen war. Die Oberflächenrezeptoren der Haut kommen als Verursacher der Winkelabweichungen nicht in Betracht, da Nervenverbindungen von oberflächlichen Hautrezeptoren zu den äußeren Augenmuskeln nicht bekannt sind.

Somit deutet alles darauf hin, dass die oculäre Gegenrollung beim Gesunden ein ausschließlich vom Otolithenapparat abhängiges Phänomen ist. Dafür spricht auch, dass zwischen beiden Otolithenapparaten eine Polarität herrscht, die es gestattet, entgegengesetzte Kopfseitlagen zu erkennen. ( Trincker 1965; Kornhuber 1966 ).

Diese Aussage gilt nicht in gleichem Maße für die Einstellung der VSV. Im physiologischen Fall, wie auch bestätigt durch die Probandengruppe, kommt es in Körperseitenlage zu charakteristischen, im gewissem Umfang voraussagbaren, Abweichungen der VSV. Dennoch kann die Bestimmung der VSV nicht allein auf der Funktion des Otolithenapparates beruhen, da es sich nicht um ein kurzgeschaltetes, reflektorisches Phänomen wie die Gegenrollung der Augen handelt, sondern um ein Phänomen, das Repräsentationen im Hirnstamm, im Thalamus und im Kortex besitzt. Denn an Patienten erhobene Daten sprechen dafür, dass bei zentralen Läsionen in den Bahnen, die für den Vertikaleneindruck zuständig sind, Verkippungen der VSV auftreten ( Dieterich und Brandt 1993 ).

Es bleibt festzuhalten, dass beim Gesunden die Gegenrollung der Augen ausschließlich vom Otolithenapparat verursacht wird, die Bestimmung des Vertikaleneindrucks zwar überwiegend, aber nicht ausschließlich, durch Otolithenapparatreizung zustande kommt.

#### **4.2 Reaktionen der VSV und der Gegenrollung der Augen bei Patienten mit einseitig peripher-vestibulärem Defizit**

Die physiologischerweise vorhandene Verschiebung der VSV in Körperseitenlage, die erwartungsgemäß symmetrisch ist, erfährt bei akut auftretender einseitig peripher-vestibulärer Schädigung eine Asymmetrie.

Schon Friedmann ( 1970 ), Bonkowsky und Hamann ( 1987 ) sowie Metzler ( 1989 ) konnten zeigen, dass bereits im Sitzen eine Abweichung der VSV zur erkrankten Seite auftritt. Diese Abweichung überträgt sich im Sinne einer Parallelverschiebung auf die Einstellung der VSV in den jeweiligen Körperlagen. Das heißt, dass die Abweichung im Liegen auf der kranken Seite größer wird, beim Liegen auf der gesunden Seite geringer. Diese aus der Arbeit von Metzler ( 1989 ) bekannte Regelmäßigkeit konnte durch die eigenen Untersuchungen qualitativ und quantitativ bestätigt werden.

Daraus kann man schließen, dass die Patienten, für die eine Einschränkung der Bogengangsfunktion durch thermische Reizung nachgewiesen war, auch eine ipsilaterale Schädigung des Otolithenapparats aufwiesen.

Allerdings ist nicht völlig auszuschließen, dass sich die Asymmetrie der Bogengangsruheaktivität auf die Bestimmung der VSV überträgt.

Auch bei der Gegenrollung der Augen lässt sich eine Asymmetrie der Gegenrollung der Augen bei Patienten mit unilateralem peripher-vestibulärem Defizit feststellen. Bei Patienten mit linksseitiger Funktionseinschränkung ist die Gegenrollung der Augen bei Rechtsseitenlage signifikant größer, als bei Lage auf dem erkrankten Ohr. Auch für diesen Befund muss angenommen werden, dass der Otolithenapparat dafür verantwortlich ist.

Offen bleibt, ob sich nicht auch der asymmetrische Ruhetonus der Bogengänge auf diese Phänomene auswirken kann.

Bezüglich der Frage, welcher Vestibularapparat für die Gegenrollung welcher Seite verantwortlich ist, muss nach den Versuchen von Krejcova et. al. an einseitig labyrinthektomierten Affen angenommen werden, dass jeweils ein Labyrinth hauptsächlich die Gegenrollung auf dem entgegengesetzten Ohr bestimmt. Bei Seitlagerung auf dem rechten Ohr ist also das linke Vestibularorgan für die Gegenrollung überwiegend verantwortlich ( Krejcova et al. 1971 ).

Grundsätzlich wird dieser Befund durch Beobachtungen am Menschen von Nelson und Cope bestätigt ( Nelson & Cope 1971; Nelson & House 1997; Kanzaki & Ouchi, 1978 ), aber auch entgegengesetzte Befunde wurden genannt ( Diamond und Markham 1981 ).

Die differierenden Befunde lassen sich durch unterschiedliche Methoden der Registrierung erklären, videooculographische Methoden standen noch nicht zur Verfügung. Die eigenen Daten finden ihre Bestätigung durch Beobachtungen am Tier durch Krejcova et al. ( 1971 ) und Untersuchungen von Nelson und Cope ( 1971 ).

Beim Vergleich der Befunde beider Methoden ergibt sich eine Übereinstimmung bezüglich der Feststellung einer Asymmetrie beider Phänomene. Der Unterschied in der Seitenbevorzugung ist nur scheinbar, denn tatsächlich stellt ja die Gegenrollung der Augen das reziproke Phänomen dar. Somit ergibt sich grundsätzlich eine Übereinstimmung von VSV-Abweichung und der Gegenrollung der Augen. Die quantitativen Unterschiede erklären sich dadurch, dass grundsätzlich das Phänomen der Gegenrollung der Augen quantitativ limitiert ist und a priori wegen der mechanische Begrenzung der torsionalen Bewegungen durch die äußeren Augenmuskeln nicht vollständig kompensatorisch sein kann.

Für die Einstellung der VSV bestehen keine systembedingten Limitierungen.

### **4.3 Abhängigkeit der VSV und der Gegenrollung der Augen von der vestibulären Kompensation**

Die Betrachtung der Werte einzelner Patienten hat gezeigt, dass sowohl für die Werte der VSV-Abweichung wie auch für die Gegenrollung der Augen, eine starke Streuung vorliegt. Es ergibt sich die Frage, welche Faktoren dafür entscheidend sein können. Eine Möglichkeit besteht darin, dass sich vestibuläre Erholungsvorgänge, also der aktuelle Stand der vestibulären Kompensation, auf die Parameter auswirkt. Um diese Frage zu beantworten, haben wir die einzelnen Werte dem „Kompensationszustand“, ermittelt aus dem ENG, zugeordnet.

Für die VSV ist es seit den Beobachtungen von Bonkowsky und Hamann bekannt, dass sich Abweichungen der VSV im Sitzen bei Patienten mit peripher-vestibulären Erkrankungen in einem relativ kurzem Zeitraum, nämlich innerhalb von Tagen, zurückbilden.

Die jetzt erhobenen Daten bestätigen grundsätzlich diese Erfahrungen. Die Differenzen der VSV im Vergleich der Seitenlagen spiegeln gleichfalls diese Befunde wider, wenn auch nicht so stark ausgeprägt. Denn bei einigen „kompensierten“ Patienten waren noch starke VSV-Abweichungen vorhanden.

Für die Gegenrollung der Augen sind uns keine Daten über die Abhängigkeit von der vestibulären Kompensation bekannt.

Die eigenen Daten zeigen für die als nicht kompensiert eingestuften Patienten größere Seitendifferenzen der Augengegenrollung als für die kompensierten Patienten, auch wenn die Unterschiede zwischen beiden Patientengruppen nicht sehr auffällig waren.

Bei einem Patienten konnten im Verlauf seiner Erkrankung zwei Messungen im Abstand von 10 Tagen durchgeführt werden. Sowohl für die VSV im Sitzen, als auch für den Vergleich in Seitenlage, als auch für die Gegenrollung der Augen, ergab sich eine klare Abnahme der VSV-Abweichungen bzw. eine Verringerung der Asymmetrie des Augentorsionswinkels.



Es darf angenommen werden, dass nicht nur der Vertikaleneindruck, sondern auch die Gegenrollung der Augen bei akuten vestibulären Läsionen Kompensationsvorgängen unterworfen ist.

Dass die hier vorgestellten Daten die Erholungsvorgänge nicht noch deutlicher erkennen lassen, ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass der Kompensationszustand selbst nur schwer zu definieren ist.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die internukleären Verschaltungen für Bogengangs- und Otolithenafferenzen unterschiedlich sind, und damit auch Unterschiede für den Ablauf der Kompensationsvorgänge in quantitativer und in zeitlicher Hinsicht zu erwarten sind.

#### **4.4 Klinische Bedeutung der Messung der VSV und der Gegenrollung der Augen**

Die Bestimmung des Vertikaleneindrucks mittels der VSV ist seit der Arbeit von Friedmann auch für klinische Fragestellungen eingeführt und hat in zahlreichen neurootologischen Zentren Verbreitung gefunden ( Dieterich und Brandt 1993; Vibert et al. 1993; Hamann 1998; Böhmer et al. 1995 ).

Von HNO - ärztlicher Seite wurde immer wieder der Versuch unternommen, die Abweichung der VSV als Maßstab für die Otolithenfunktion zu benutzen. Selbst wenn in vielen Fällen von mehr oder weniger gut definierten Otolithenläsionen diese Aussage zutrifft, so darf sie keinesfalls generalisiert werden. Dagegen spricht vor allem, dass auch bei Läsionen im Hirnstamm, im Thalamus oder im Kortex gleichfalls Abweichungen der VSV zu finden sind ( Brandt und Dieterich 1994 ).

Es kann daher bei einem Patienten, der eine Abweichung der VSV aufweist, zunächst nicht entschieden werden, ob die Ursache für diese Abweichung im peripheren Rezeptor oder in zentralen Strukturen liegt. Einen Anhaltspunkt für die Lokalisation der Störung bietet der zeitliche Verlauf der VSV-Abweichung. Während sich bei peripher-vestibulären Störungen die Abweichung innerhalb weniger Tage zurückbildet ( Bonkowsky und Hamann 1987 ),

sind die auf zentrale Ursachen zurückzuführenden Abweichungen noch Wochen und Monate nachweisbar ( siehe Abb.16; Dieterich und Brandt 1993 ).

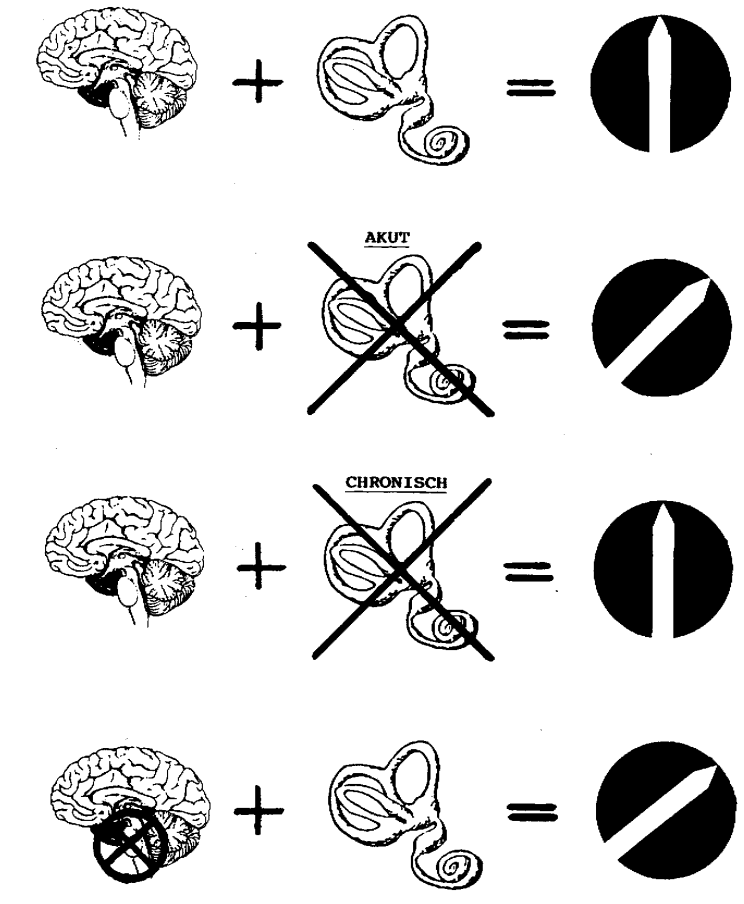


Abb.16: Schematische Darstellung der Einstellungen der visuellen subjektiven Vertikalen bei verschiedenen Läsionen. ( aus Hamann 1998, S.52 )

*Erste Reihe* :Normalzustand. *Zweite Reihe*: Akute peripher-vestibuläre Läsion mit Abweichung der VSV. *Dritte Reihe*: Chron. peripher-vestibuläre Läsion ohne pathologische Abweichung der VSV. *Vierte Reihe*: zentral-vestibuläre Läsion mit länger andauernder Abweichung der VSV

Der apparative Aufwand für die Bestimmung der VSV ist im Vergleich mit anderen neurootologischen Methoden gering. Erforderlich sind ein vollständig abdunkelbares Zimmer und eine über eine Fernbedienung einzustellende Leuchtlinie, deren Abweichung von der objektiven Vertikalen in Winkelgrad gemessen werden kann.

Die Registrierung der Gegenrollung der Augen gilt als einer der wenigen spezifischen Otolithentests. Einer allgemeinen Verbreitung dieser Methode stand bisher die sehr aufwendige und schwierige Registrierung der Torsionsbewegung der Augen entgegen. Dank der modernen Videoculographie erscheint es relativ einfach, aber finanziell noch sehr aufwendig, die Gegenrollung der Augen zu registrieren.

Die in dieser Arbeit vorgestellten Befunde erlauben die Schlußfolgerung, dass es bei einseitigen peripher-vestibulären Funktionsdefiziten zu Asymmetrien der Gegenrollung kommt, die einen Hinweis auf die Seite der Läsion gestatten. Auch wenn unsere Daten nicht durch einen anderen spezifischen Otolithentest abgesichert sind, wie beispielsweise die OVAR, darf gefolgert werden, dass bei den Patienten mit starker Asymmetrie der Gegenrollung neben einer nachgewiesenen Bogengangläsion auch eine Otolithenschädigung vorliegt.

Im Vergleich mit der noch aufwendigeren Methode der OVAR, die bei dynamischer Reizung die Otolithenfunktion misst, erscheint die Messung der Gegenrollung der Augen in verschiedenen Körperlagen als das leichter durchführbarere Verfahren.

## 5. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde an 20 Probanden und 20 Patienten die visuellen subjektiven Vertikalen (VSV) mittels einer, durch Fernsteuerung in der Frontalebene drehbaren, Leuchtlinie im Sitzen, in Links- und in Rechtsseitenlage bestimmt.

Synchron wurde in jeder dieser Körperpositionen die Gegenrollung der Augen, d.h. die Torsion des Bulbus in der Frontalebene, die beim Gesunden im Bereich von  $5-8^\circ$  liegt und seitengleich ist, durch die Videoculographie gemessen.

Die Patienten hatten alle ein linksseitig peripher-vestibuläres Defizit.

Es galt zu klären, ob die Videoculographie ein geeignetes Verfahren zur Messung der Gegenrollung der Augen ist, wie sich eine Läsion im Vestibularapparat auf die Augentorsion auswirkt und wie sich im Vergleich die VSV-Abweichungen verhalten. Des weiteren stellt sich die Frage, inwieweit sich die klinisch angegebene Kompensation von Vestibularisschäden an den Messungen nachvollziehen lässt und ob die Augentorsion durch den Otolithenapparat gesteuert wird.

Es stellte sich heraus, dass sich bei den verwendeten Verfahren die, in der Literatur beschriebenen Werte, bei den Probanden bestätigen lassen.

Für die VSV-Abweichungen ergaben sich bei den Patienten in Linkseitenlage deutlich höhere Werte als in Rechtsseitenlagen.

Die Gegenrollung der Augen war bei Lage auf der Läsionsseite deutlich verringert, während in der entgegengesetzten Körperposition die Augentorsion geringfügig erhöht war. Da deren Messung erst ca. 3 Minuten nach der Umlagerung erfolgte, konnte der dynamische Effekt der Bogengänge ausgeschlossen werden und die Veränderungen der Augentorsion in den Körperseitenlagen so auf den Otolithenapparat bezogen werden. Offen blieb, ob sich ein veränderter Ruhetonus der Bogengänge auf das Phänomen der Gegenrollung auswirkt.

Eine direkte quantitative Korrelation zwischen den Abweichungen der VSV und der Gegenrollung der Augen konnte nicht festgestellt werden.

Die vestibuläre Kompensation beider Phänomen muss angenommen werden.

## **Literaturverzeichnis**

**Aubert H. ( 1860 )**

Eine scheinbar bedeutenden Drehung von Objekten bei Neigung des Kopfes nach rechts oder links .

Virchow Arch. 20, S.381-393 (1860)

**Bauer T. ( 1999 )**

Die visuelle subjektive Vertikale ( VSV ) und die haptische subjektive Vertikale ( HSV ) bei Versuchspersonen und bei Patienten mit peripher vestibulären Störungen.  
Inaug Diss TU München

**Brandt T., Dieterich M. ( 1987 )**

Pathological eye-head coordination in roll: tonic ocular tilt reaction in mesencephalic and medullary lesions.

Brain 1987; 110: 649-666

**Böhmer A., Rickenmann J. ( 1995 )**

The subjektive vertical as a clinical parameter of vestibular function in peripheral vestibular diseases.

Journal of vestibular research 1995; 35-45

**Bonkowsky, V..M., K.-F. Hamann ( 1987 )**

Der Versuch einer Quantifizierung der zentralvestibulären Kompensation mit Hilfe der subjektiven visuellen Vertikalen.

Arch. Oto-Rhino-Laryngol., Suppl. II ( 1987 ) 113

**Colebatch JG, Halmagyi GM, Skuse NF ( 1994 )**

Myogenic potentials generated by a click evoked vestibulocollic reflex

Journal of Neurology , Neurosurgery, and Psychiatrie 57:190-197

Darlot C., Toupet J., Denise P., ( 1997 )

Unilateral Vestibular Neuritis with Otolithic Signs and Off-Vertical Axis Rotation  
Acta Otolaryngol ( Stockh ) 1997; 117: 7-12

Diamond SG, Markham CH ( 1981 )

Binocular counterrolling in Humans with unilateral Labyrinthectomy and in normal controls.  
Ann. N. Y. Acad. Sci. 374: 69-79

Friedmann G. ( 1970 )

The Judgement of the visual Vertical and Horizontal with Peripheral and Central vestibular lesions.  
Exp. Brain Research 1993: 313-328

Dieterich M., Brandt T., ( 1993 )

Ocular Torsion and Tilt of Subjective Visual Vertical Are Sensitive Brainstem Signs  
Ann Neurol 1993; 33:292-299

Halmagyi, GM, Gresty MA, Gibson WPR ( 1979 )

Ocular tilt reaction with peripheral vestibular lesions  
Ann Neurol 6:80-83

Hamann, K.-F., ( 1999 )

Grundlagen für die Begutachtung von Schwindelerscheinungen: Pathophysiologie, typische Beschwerden und okulomotorische Symptome  
Med Sach 95 (1999) No 6, S.2-3

Hamann, K.-F., ( 1998 )

Differentialdiagnose zwischen Erkrankungen der Bogengänge und des Otolithenapparates  
Aus: Stoll, W. Differentialdiagnose Schwindel  
Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, S.49-55

Hamann K.-F., Schmidt T. ( 1998 )

Vergleich von Vertikaleneindruck und Augentorsion bei vestibulären Läsionen  
69. Jahresversammlung Deutsche Gesellschaft für HNO 1998

Hamann, K.-F., ( 1994 )

Physiologie und Pathophysiologie des vestibulären Systems  
In: Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis in 3 Bänden, Band 1 Ohr,  
Naumann H.H., Helms J., Herberhold C., Kastenbauer E. ( Hrsg.)  
Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 1994, S.260-297

Hamann K.-F., Bonkowsky V., Krausen Ch. ( 1991 )

Screening- Untersuchung bei Schwindel  
Biermann, Zülpich, S.31

Jáuregui-Renaud, Faldon M., Clarke A.H., Bronstein A. M., Gresty M. A. ( 1998 )

Otolith and Semicircular Canal Contributions to the Human Binocular Response  
to Roll Oscillation  
Acta Otolaryngol ( Stockh ) 118: 170-176

Kornhuber HH ( 1966 )

Physiologie und Klinik des zentralvestibulären Systems.  
In: Berendes J., Link R., Zöllner F. ( Hrsg )  
Hals- Nasen- Ohren- Heilkunde  
Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York, S.2150-2351

Kanzaki, J. & T. Ouchi. ( 1978 )

Measurement of ocular countertorsion reflex with fundusoscopic camera in normal  
subjects and in patients with inner ear lesions.  
Arch. Otol. Rhinol. Laryngol. 218: 191-201

Krejcová H., Highstein S., Cohen B. ( 1971 )

Labyrinthine and extra-labyrinthine effects on ocular counterrolling  
Acta Otolaryngology 72 S.165-171

Metzler R. ( 1989 )

Einstellungen der visuellen subjektiven Vertikalen von Gesunden, vestibulär  
Erkrankter und von Probanden unter Alkoholeinfluss.

Inaug Diss TU München

Mittelstaedt H. ( 1983 )

A New Solution to the Problem of the Subjective Vertical

Naturwissenschaften 70, 272-281

Springer-Verlag 1983

Murofushi T., Curthoys I. S. ( 1997 )

Physiological and Anatomical Study of Click-Sensitive Primary Vestibular Afferents  
in the Guinea Pig

Acta Otolaryngol ( Stockh ) 1997; 117: 66-72

Nelson, J. R. & Cope D. ( 1971 )

The Otoliths and the Ocular Countertorsion Reflex

Arch Otolaryngology 94, S.40-50

Nelson, J. R. & W. F. House ( 1997 )

Ocular countertorsion as an indicator of otolith function: effects of unilateral  
vestibular lesions

Trans. Am. Acad. Ophthalmol. A. Otolaryngol. 75: 1313-1321

Scherer H. ( 1997 )

Das Gleichgewicht

Springer, Berlin Heidelberg New York 1997

Schöne H. ( 1962 )

Über den Einfluss der Schwerkraft auf die Augenrollung und auf die Wahrnehmung  
der Lage im Raum.

Zeitschrift Vergl. Physiol. 46/ 57-87



Trincker D., ( 1965 )

Physiologie des Gleichgewichtsorgans

Berendes, J., R. Link, F. Zöllner. Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Bd.III/1.

Thieme, Stuttgart 1965 (S.311)

Vibert D., Safran A. B., Hausler R. ( 1993 )

Évaluation clinique de la fonction otolithique par mesure de la cycltorsion oculaire  
et de la « skew deviation »

Ann. Oto-Laryng. (Paris), 1993, 110, 87-91

Wetzig J., Reiser M., Martin E., Bregenzer N., von Baumgarten R.J. ( 1989 )

Unilateral centrifugation of the otoliths as a new method to determine bilateral  
asymmetries of the otolith apparatus in man.

Acta Astronautica 1990; 21: 519-525

Yashiro T., Ishii M., Igarashi M., Kobayashi T., Moriyama H., Sekiguchi C., ( 1996 )

Effects of 10 Min Tilt and Visual Directional Information on Ocular Counterrolling

ORL 1996; 58:301-303

## **Abbildungsverzeichnis**

Abb.1: Lage der vestibulären Rezeptoren im Bogengangs- und Otolithenapparat  
( Hamann 1994, S.262 )

Abb.2: Schwindelschema ( Aus H. Frenzel : Arch. Ohr.-, Nas.-, u. Kehl. 177  
( 1961 ), 533 )

Abb. 3: Schematischer Versuchsaufbau HSV im Sitzen ( Bauer 1999, S.20 )

Abb. 4: Schematische Darstellung der Elektronystagmographie (oberer Teil) und  
der Auswertmethode (unterer Teil)  
( aus Hamann 1991, S.31 )

Abb. 5: Skew deviation bei einem Patienten nach Utriculusläsion durch  
Otoskleroseoperation ( Hamann 1998, S.49 )

Abb. 6: EMG- Ableitung vom M. sternocleidomastoideus nach ipsilateraler  
Klickreizung bei einer Versuchsperson. Das gekennzeichnete Potential  
entspricht der Antwort auf Sacculusreizung (Hamann 1998, S.55 )

Abb. 7: Gerät zur Messung der visuellen subjektiven Vertikalen ( VSV )

Abb. 8: Versuchsanordnung ( Messung der VSV im Sitzen )

Abb. 9: Videobrille der Firma Kayser-Threde

Abb. 10: Auswertung der Augenpositionsmessung

Abb. 11: Messung der Augenposition im Sitzen

Abb. 12: VSV-Abweichung in drei Körperpositionen bei Probanden und  
Patienten

Abb. 13: absolute Differenz der VSV-Abweichung und der Gegenrollung der Augen

Abb. 14: Gegenrollung der Augen bei Probanden und Patienten

Abb. 15: Verlauf der Messwerte von VSV und Gegenrollung eines Patienten nach 10 Tagen

Abb. 16: Schematische Darstellung der Einstellungen der visuellen subjektiven Vertikale bei verschiedenen Läsionen ( Hamann 1998, S.52 )

### **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Krankheitsbilder der Patienten

Tabelle 2: Messwerte der Probanden

Tabelle 3: Messwerte der Patienten

## **Danksagung**

Sehr herzlich danken möchte ich

Herrn Univ. Prof. Dr. med. K.-F. Hamann

für die Themenstellung und sein großes persönliches Engagement bei der Betreuung der Arbeit und der steten Hilfs- und Diskussionsbereitschaft bei Problemen und Fragen.

Herrn Univ. Prof. Dr. med. W. Arnold

für die Möglichkeit, diese Arbeit an der von Ihm geleiteten Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten durchzuführen.

Frau Dipl.- Math. R. Busch

Institut für Medizinische Statistik und Epidemiologie,

( Direktor: Univ. Prof. Dr. rer. nat. A. Neiß )

für statistische Beratung.

Frau M. Starke

für Ihre Flexibilität und Zuverfügungstellung des ENG-Labors.

Herrn M. Stobrawe

für die Anfertigung der Fotografien.

Firma Kayser-Threde

für die Bereitstellung des Videoculographiegerätes.

den Probanden und Patienten die sich für die Untersuchung zur Verfügung gestellt haben.