

Aus der Abteilung:
Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf
Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde
Direktor: Prof. Dr. U. Koch

**Einfluß von Augenmotilitätsstörungen
auf die subjektive Vertikale**

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin

dem Fachbereich Medizin der Universität Hamburg vorgelegt von

Boris Tolsdorff
aus Wuppertal
Hamburg, 2002

Angenommen von dem Fachbereich Medizin
der Universität Hamburg am: 06.01.2003

Rigorosum: 16.01.2003

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs
Medizin der Universität Hamburg

Dekan: Prof. Dr. C. Wagener

Referent: Prof. Dr. R. Leuwer

Korreferent: Prof. Dr. U. Koch

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
1.1	Die Anatomie des Labyrinths.....	5
1.2	Die Physiologie der Gleichgewichtsorgane	10
1.3	Die Untersuchung der Gleichgewichtsorgane im Überblick.	12
2	Material und Methoden	16
2.1	Ophthalmologische Diagnostik.....	16
2.1.1	Lichtschweiftest nach Bagolini.....	16
2.1.2	Visusbestimmung	17
2.1.3	Wechselseitiger und einseitiger Cover-Test sowie Uncover-Test	17
2.1.4	Prismen-Cover-Test	18
2.1.5	Prüfung der Führungsbewegungen	18
2.2	Gleichgewichtsdagnostik	18
2.2.1	Kalorische Spülung	19
2.2.2	Zeichentest.....	21
2.3	Statistik.....	24
3	Befunde	25
3.1	Kontrollgruppe	25
3.2	Patientengruppe	26
4	Diskussion	32
5	Zusammenfassung	36
6	Literatur	37

1 Einleitung

Die Untersuchung der Gleichgewichtsorgane ist ein wesentlicher Bestandteil der HNO-ärztlichen Diagnostik.

Die Problemstellung, mit der sich die vorliegende Arbeit beschäftigt, ergibt sich aus der Tatsache, daß nicht nur die Organe des Labyrinths an der Bildung und Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes beteiligt sind. Auch nicht otogene Faktoren nehmen Einfluß auf das Gleichgewicht (Klinke 1990) und finden ihr anatomisches Korrelat unter anderem in somatosensorischen- und Netzhautafferenzen zu den Vestibulariskernen in der Medulla oblongata sowie in efferenten vestibulären Bahnen von den Vestibulariskerngebieten zu den primären Sinneszellen im Gleichgewichtsorgan, über deren Funktion bisher jedoch nur Vermutungen angestellt werden konnten. Sowohl vestibuläre Reizungen

(Barany 1925) als auch Änderungen der Körperhaltung (Waterland et al 1966) haben Einfluß auf das Ergebnis von Koordinationsprüfungen.

Problem der Diagnostik von Schwindelerkrankungen ist nicht allein die Tatsache, daß es sich beim Gleichgewichtsorgan um ein multilokuläres System handelt, sondern gleichzeitig, daß die diagnostischen Mittel zur Feststellung peripher vestibulärer Erkrankungen sehr eingeschränkt sind. So zeigte Scherer beispielsweise, daß für die bis dahin gängige Theorie der thermischen Reizung des Labyrinths, für die Barany 1914 den Nobelpreis erhielt, ein anderer als der von diesem postulierte kausale Zusammenhang verantwortlich sein muß, indem er identische kalorische Nystagmen unter langdauernder Schwerelosigkeit erzeugte (Scherer 1984, Scherer et al 1986). Bestätigt durch Kontrolleexperimente sowie durch Ergebnisse an Einzelpersonen, bei denen auch unter Erdanziehungskraft der kalorische Nystagmus bei Drehung in der Sagittal-

lebene nicht umkehrbar war (Scherer et al 1987), entzog er damit dem bis heute etablierten Diagnoseverfahren die theoretische Grundlage, konnte aber über den wahren zugrunde liegenden Zusammenhang nur Vermutungen anstellen (Scherer et al 1985). Da seine Ergebnisse sich unter den kurzdauernden G0-Bedingungen im Rahmen von Parabelflügen nicht reproduzieren ließen, wurden unter anderem zentrale Bahnungsmechanismen vermutet (Clarke et al 1988). Parallele Unklarheiten ergeben sich aus Angaben von Astronauten, die auch unter Schwerelosigkeit über den Eindruck berichteten, sich in Aufrecht- oder Kopfüberhaltung zu befinden (Mittelstaedt et al 1993).

Die Bestimmung der subjektiven Vertikale mit Hilfe des Zeichentests ist als Screeningverfahren zur Beurteilung der Otolithenfunktion beschrieben und in der klinischen Routine etabliert (Westhofen 1991). Aus grundsätzlichen sowie experimentellen (Mittelstaedt 1999) Erwägungen können jedoch auch nicht-otogene Einflüsse auf die subjektive Vertikale gefolgert werden. So dient die subjektive Vertikale auch in der ophthalmologischen Diagnostik der Augenmotilitätsstörungen, speziell der pathologischen In- oder Exzyclorotation als Untersuchungsgröße. Die genannten Erkrankungen betreffen dieselben Efferenzen (die äußeren Augenmuskeln), die auch bei Erregung der Gleichgewichtsorgane den motorischen Schenkel des vestibulookulären Regelkreises bilden. Die subjektive visuelle Vertikale ist das Produkt einer zentralen Fusion spiegelbildlich angeordneter Projektionen der Einzelaugen (Haustein et al 1990). Frühe Hinweise auf Verbindungen zwischen Augenbewegungen und subjektivem „Senkrechtempfinden“ (Aubert 1861) und das gleichzeitige Auftreten pathologischer Zyklorotation und von Veränderungen der subjektiven Vertikale bei Hirnstammläsionen (Dieterich et al 1992) lassen die Vermutung zu, daß Zusammenhänge zwischen der Augenmotilitätsfunktion und der Funktion der Otolithenorgane bestehen. Böhmer (1999) postulierte Einflüsse unbewußter Regelkreise, et-

wa okulärer Zyklotorsionen, auf die subjektive Vertikale. Fukuda (1959, 1963) und Brunia (1966) diskutierten die Auswirkung von Kopfbeugung und –streckung auf das Ergebnis des vertikalen Zeichentests.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, am Beispiel von Augenmotilitätsstörungen die Frage der nicht-otogenen Einflüsse zu überprüfen und damit die subjektive Vertikale als Untersuchungsgröße neu zu validieren. Folgende Fragen sollen im Rahmen der vorliegenden Studie beantwortet werden:

Verursacht das Vorliegen von Augenmotilitätsstörungen eine Lageabweichung der subjektiven Vertikale von der Norm?

Ist die Bestimmung der subjektiven Vertikale in Anbetracht der Ergebnisse als Untersuchungsverfahren zum Nachweis von Störungen der Otolithenfunktion aufrechtzuerhalten?

1.1 Die Anatomie des Labyrinths

Das Gleichgewichtsorgan bildet zusammen mit dem Hörorgan das Labyrinth. Es gliedert sich anatomisch und physiologisch in das Bogengang- und das Otolithenorgan.

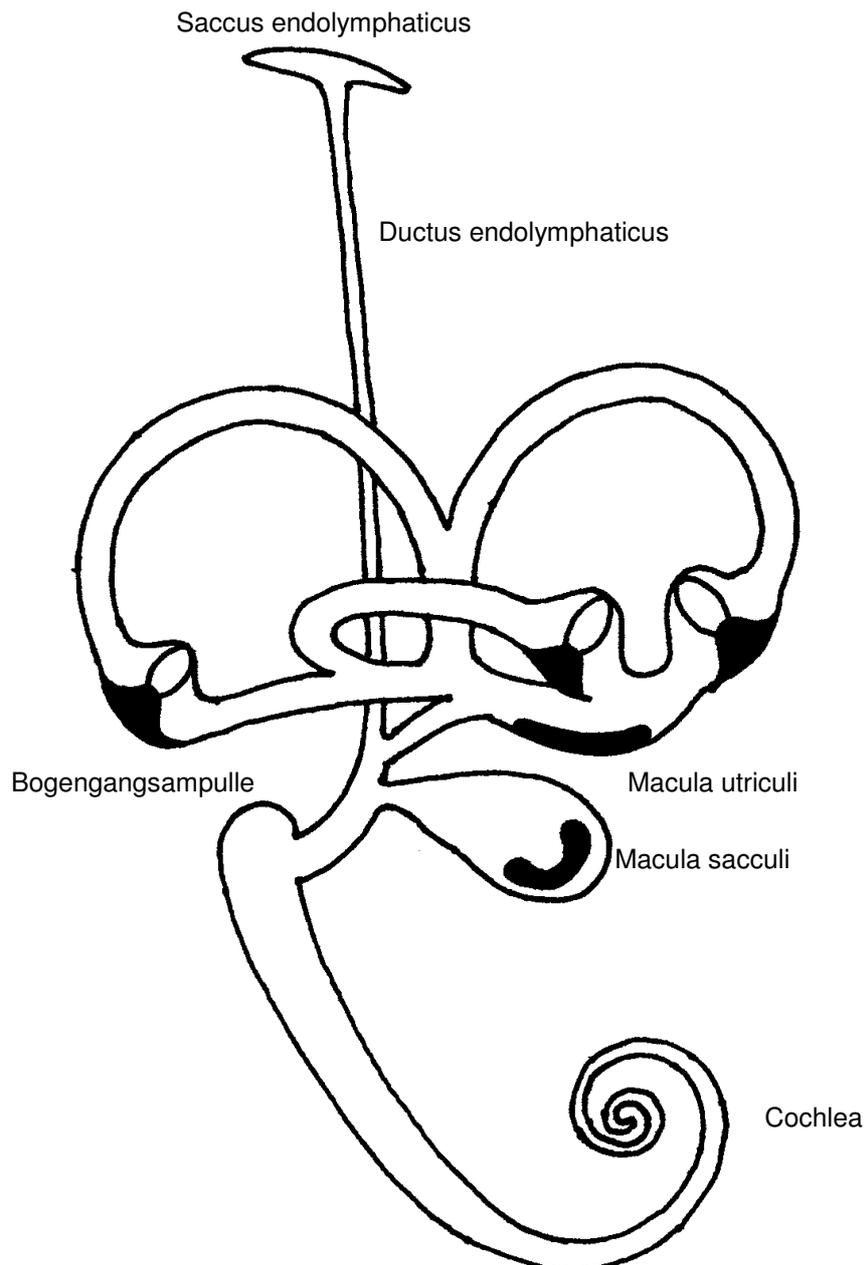


Abbildung 1: Häutiges Labyrinth

Das Bogengangsorgan besteht aus jeweils drei kreisförmig gebauten Flüssigkeitsräumen, den Bogengängen, die senkrecht zueinander in den drei Raumebenen angeordnet sind und die über den Utrikulus mit dem übrigen Labyrinth in Verbindung stehen. In jedem Bogengang findet sich eine Erweiterung (Ampulla), in der auf einer quer zur Endolymphsäule verlaufenden Erhebung (Crista ampullaris) die Sinnesepithelzellen eingebettet in Stützzellen liegen.

Auf jeder dieser Sinneszellen sitzen 50-70 bewegliche Stereozilien sowie eine nahezu unbewegliche Kinozilie, die in eine der Crista ampullaris aufsitzende gallertige Masse (Cupula) eingebettet sind, welche in ihrer Form erheblichen interindividuellen Schwankungen unterliegen kann (Helling et al 2000).

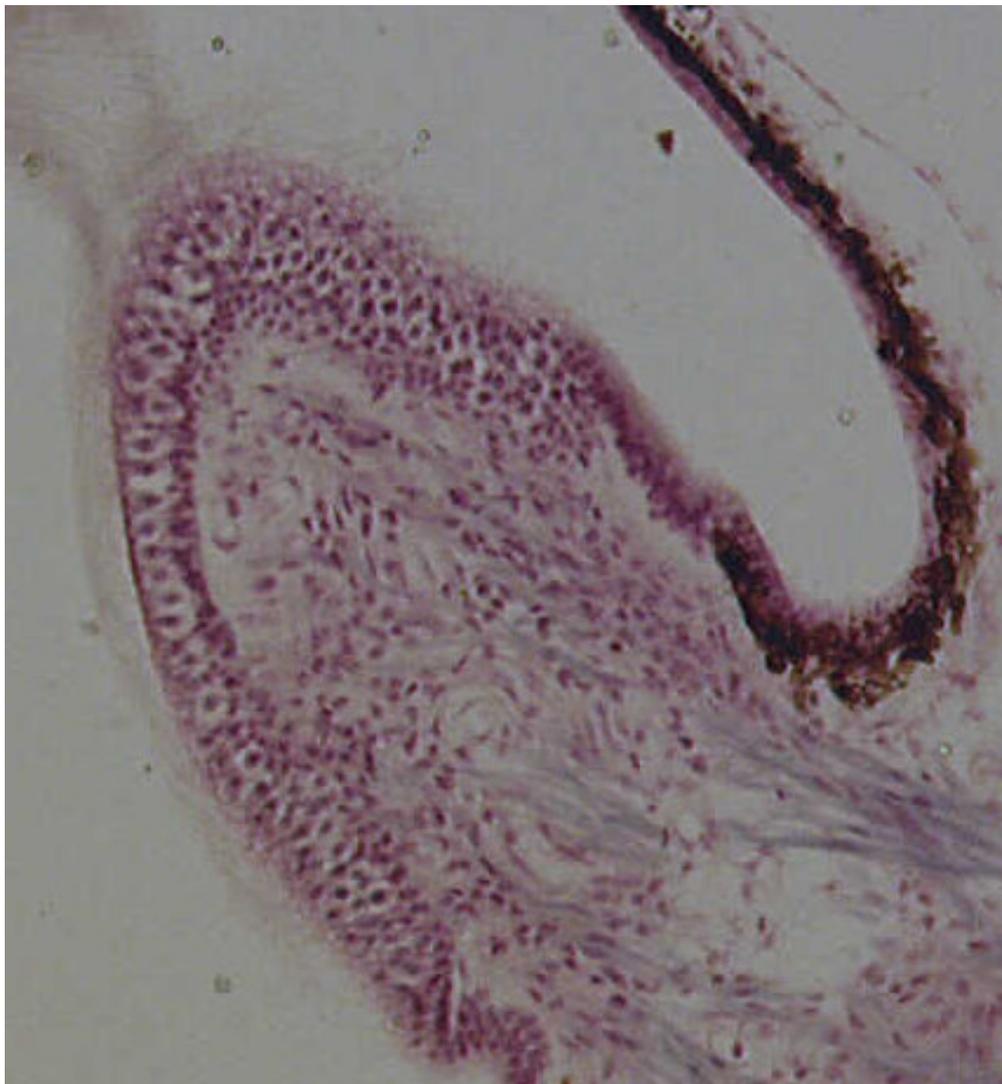


Abbildung 2: Bogengangsampulle (100-fache Vergrößerung)

Die Otolithenorgane bestehen jeweils aus zwei mit Endolymphe gefüllten räumlichen Einheiten (Utrikulus, aus dem auch die Bogengänge entspringen, und Sacculus), die mit dem übrigen Labyrinth zusammenhängen (siehe Abb. 1). Die eigentlichen Sinnesorgane befinden sich jeweils in fleckförmigen Epithelverdickungen (Maculae), die auch hier aus Stütz- und Sinnesepithelzellen bestehen. Die Architektur der Maculae ähnelt denen anderer Säugetiere. Die Sinnesepithelien sind ähnlich aufgebaut wie diejenigen der Bogengangampullen, auch hier ragen die Zilien der Sinneszellen in eine gallertige Masse hinein, die allerdings membranartig imponiert und bei Fischen eine im Vergleich zu Wasser 500fach erhöhte Viskosität besitzt (de Vries 1950). Ebenfalls in dieser Gallertmembran befinden sich kleine Kalzitkristalle (Otolithen), die das spezifische Gewicht der Otolithenmembran auf das 2,2fache der sie umgebenden Endolymphe erhöhen. Die Sinnesepithelien folgen in ihrer Ausrichtung hinsichtlich ihrer maximalen Empfindlichkeit grundlegenden Gesetzmäßigkeiten (Rosenhall 1972). Sie sind bereits in der Fetalperiode ausgereift und unterliegen während des weiteren Lebens morphologisch fassbaren Alterungsprozessen (Rosenhall 1974). Bei Fischen können die Otolithen der Utrikuli hinsichtlich ihrer Masse Seitendifferenzen von bis zu 140 % aufweisen (Scherer et al 2001). Daß ähnliche Seitendifferenzen auch beim Menschen wahrscheinlich sind, dokumentieren die experimentellen Ergebnisse von Diamond et al (1988) und Markham et al (2000, 2001), welche im Rahmen von Parabelflügen Asymmetrien im Bereich der Otolithenorgane, die an die Erdbeschleunigung adaptiert waren, demaskieren und durch unterschiedliche Gegenrollbewegungen beider Augen dokumentieren konnten. Bereits von Wodak (1957) beobachtete Seitendifferenzen sowohl der vestibulookulären Reflexe als auch der Ergebnisse von Koordinationsprüfungen wurden so bestätigt.

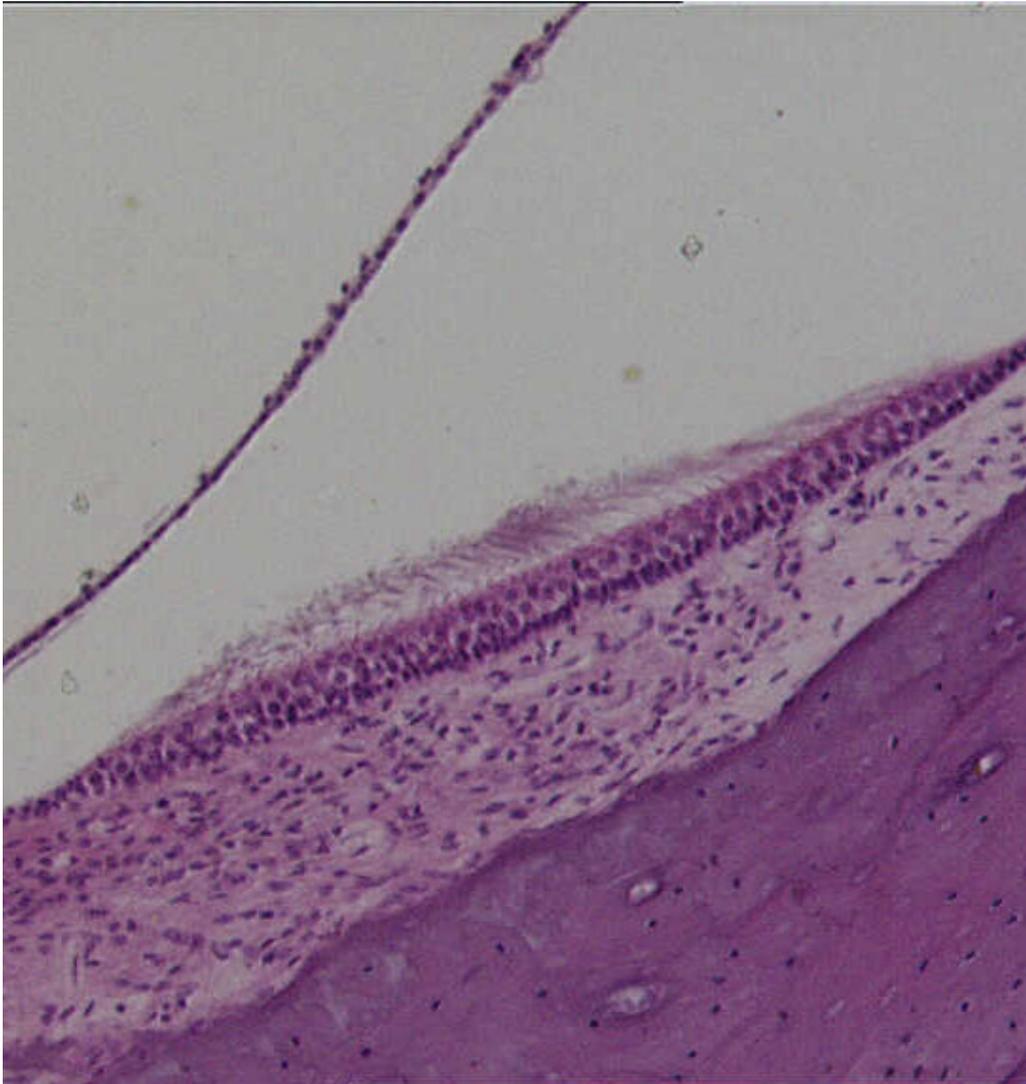


Abbildung 3: Macula sacculi (100-fache Vergrößerung)

1.2 Die Physiologie der Gleichgewichtsorgane

Adäquater Reiz für das Gleichgewichtsorgan sind Winkel- und Linearbeschleunigungen. Gleichförmige Linearbewegungen können nicht registriert werden. Entsprechend ihrer Anatomie und dem Aufbau des Sinnesepithels reagieren die Bogengänge auf Winkelbeschleunigungen, Sacculus und Utriculus hingegen auf Linearbeschleunigungen, wozu auch die Fliehkraft bei gleichförmigen Drehbewegungen und die Erdanziehungskraft zu zählen sind. Die Massesträgheit der Endolymphe in den Bogengängen bzw. der Otolithen in Sacculus und Utriculus bewirkt hierbei eine Relativbewegung von Cupula bzw. Otolithenmembran zum zugehörigen Sinnesepithel mit gleichzeitiger Abscherbewegung der hineinragenden Stereozilien. Aus der Stärke der Zentrifugalkraft bei Drehbewegungen, welche von den Bogengängen nur in Beschleunigungsphasen registriert werden, kann jedoch mit Hilfe der Otolithenorgane auch eine konstante Winkelgeschwindigkeit erfasst werden (Mittelstaedt 1996). Zweifel an der Funktion des Sacculus als Gleichgewichtsorgan durch Werner (1940) widerlegten Meyer zum Gottesberge et al (1965) klinisch und Fernandez et al (1976) im Tierexperiment.

Die Umwandlung des Sinnesreizes in eine fortgeleitete Erregung erfolgt nach dem Modell der Frequenzmodulation, wobei eine ständig vorhandene Ruheaktionspotentialfrequenz in Abhängigkeit von Richtung und Stärke der auslösenden Beschleunigung erhöht oder erniedrigt wird. Auf der zentralen Kombination der Signale aus den einzelnen Anteilen der Gleichgewichtsorgane (Schöne et al 1967) basiert die dreidimensionale Wahrnehmung sämtlicher Beschleunigungen und Drehbewegungen des Kopfes sowie die Lageempfindung im Raum.

Durch Verschaltung mit Kerngebieten anderer Sinnesorgane ermöglichen die Informationen aus den Gleichgewichtsorganen über - aus mehreren Komponenten zusammengesetzte (Darlot et al 1988) - vestibulooculäre und vestibulospinale Regelkreise die Beibehaltung des Blickfeldes unter Bewegung sowie die Aufrechterhaltung des Körpers. Die im Kapitel Anatomie genannten Ergebnisse von Diamond und Markham dokumentieren eine seitengetrennte, nicht konjugierte Kontrolle im okulären Teil des Regelkreises. Fehlende Diskonjugationen bei Einzelpersonen korrelieren hierbei mit fehlender Weltraumkrankheit, interpretierbar als kongruente Meldungen beider Otolithenorgane an das ZNS auch unter ungewohnten Gravitationsverhältnissen. Das Fehlen der Weltraumkrankheit bei bestimmten Personen basiert demnach auf angeboren symmetrischen anatomischen Verhältnissen der Otolithenorgane, die eine Adaptation an unterschiedliche Gravitationsverhältnisse unnötig machen.

1.3 Die Untersuchung der Gleichgewichtsorgane im Überblick

Dem anatomisch-/physiologischen Aufbau entsprechend gliedert sich die Untersuchung der Gleichgewichtsorgane in die Prüfung der Bogengangs- und Otolithenorgane. Hierbei gilt, daß eine Untersuchung um so aussagekräftiger ist, je exakter der physiologische Reiz auf das zu untersuchende Organ durch einen kontrollierten, künstlich gesetzten, reproduzierbaren Reiz simuliert wird.

Die Dokumentation der Gleichgewichtsuntersuchungen erfolgt indirekt durch die Beobachtung und Messung des vestibulookulären Reflexes. Das Ergebnis jeder Gleichgewichtsuntersuchung ist um so reproduzierbarer, je besser das untersuchte Organ erstens selektiv, das heißt ohne Reizung weiterer Sinnesorgane mit Einfluß auf die äußeren Augenmuskeln, und zweitens eindeutig, das heißt ohne Beeinflussung des untersuchten Organs durch weitere, nicht gewünschte Faktoren gereizt werden kann. Optimiert wird die Aussagekraft der durchgeführten Untersuchungen, wenn diese streng einseitig durchgeführt werden können, was hinsichtlich der klinischen Differentialdiagnose von Bedeutung sein kann, jedoch nur unter unphysiologischen Bedingungen erreichbar ist.

Die Untersuchung der Bogengangsorgane erfolgt jeweils einseitig durch standardisierte Erwärmung oder Abkühlung der Endolymphe im horizontalen Bogengang. Die Stimulation kann hierbei ohne wesentliche Ergebnisdifferenzen (Westhofen 1987) mit freiem Wasser oder über einen Kunststoffballon erfolgen, was die Untersuchung für den Patienten angenehmer gestaltet und für Personen mit Trommelfellperforationen überhaupt erst möglich macht. Die horizontalen Bogengänge werden durch entsprechende Kopflagerung (30°) beim liegenden Patienten in eine senkrechte Stellung gebracht. Aufgrund der Dichteänderung bei Erwärmung oder Abkühlung gerät die Endolymphe im horizontalen Bo-

gang in Bewegung, wodurch eine Kopfdrehung in der horizontalen Ebene simuliert wird. Dokumentiert wird der bei intaktem Bogengangorgan seitengleich ausgelöste horizontale Nystagmus. Die Nystagmusantwort, früher durch den Untersucher selbst anhand von Frequenz und Amplitude bewertet, wird heutzutage standardisiert durch die Videookulographie gemessen und digital ausgewertet (Westhofen et al 1987).

Anspruchsvoller bezüglich Zeit- und Materialaufwand ist die Untersuchung der Otolithenorgane, insbesondere hinsichtlich einseitiger Diagnostik, da simulierte Longitudinalbeschleunigungen und statische Kippungen zwangsläufig beide Seiten reizen. Zum Einsatz kommt hier daher die exzentrische Rotation, bei der der Patient in sitzend fixierter Position in eine Drehbewegung gebracht wird, bei der das nicht getestete Labyrinth genau in der senkrechten Drehachse positioniert wird, während die resultierende Zentrifugalkraft eine Longitudinalbeschleunigung auf das außerhalb der Drehachse positionierte gegenseitige Otolithenorgan ausübt. Wiederum wird der vestibulookuläre Reflex, in diesem Fall das "ocular counterrolling" (Diamond et al 1983, Clarke et al 1996, 2001), welches früher mühevoll durch auf die Cornea aufgebrachte Markierungen sichtbar gemacht wurde (Jongkees 1966), videookulographisch dokumentiert und/oder gleichzeitig die subjektive Vertikale bestimmt (Böhmer et al 1999). Ebenfalls als Otolithenfunktionsstest dienen die Off-vertical-axis-Rotation, bei der die Drehachse der vorgenannten Technik gekippt wird, so daß unter dem Einfluß der Erdbeschleunigung eine in ihrer Intensität periodisch wechselnde Gesamtlinearbeschleunigung resultiert sowie die echte Linearbeschleunigung durch lineare Bewegung des Patienten, die aber erheblichen Platzaufwand erfordert (Darlot et al 1988). Erschwert werden alle Untersuchungsmethoden durch okuläre Reaktionsmuster, denen nicht allein die Erregung der peripheren Gleichgewichtsorgane zugrunde liegen kann (Merfeld et al 1996). So fanden Schöne et al (1967) bei Rotation in Kippositionen mit

tion in Kippositionen mit Scherkräften von mehr als 1g einen Inversionseffekt auf die subjektive Vertikale, nicht jedoch auf die Gegenrollbewegung der Augen. Dai et al (1989) gehen von unterschiedlichen Abscherbewegungen der Otolithen bei statischer Kippung und bei Rotation um die vertikale Achse aus und begründen dies mit den Rückstelleneigenschaften der Gallertmembranen in den Otolithenorganen. Mittelstaedt (1983) definierte bei der dreidimensionalen Untersuchung der subjektiven Vertikale einen „idiotropic vector“, der die subjektive Vertikale zur Körperlängsachse hin verschiebt. Er stellte modellhafte Berechnungen an (1989), um die Abweichung der subjektiven Vertikale von der wahren Vertikale in verschiedenen Körperhaltungen erklären sowie ggf. voraussagen zu können und konnte anhand von Untersuchungen an querschnittsgelähmten Patienten (1992) die Existenz extravestibulärer Gravitationsrezeptoren demonstrieren. Die genaue Abgrenzung der genannten Sinnesorgane voneinander sowie der einzelnen vestibulären Anteile untereinander würde wesentlich längere Untersuchungsgänge erfordern (Mittelstaedt 1995), als dies im klinischen Routinebetrieb praktikabel erscheint.

Aufgrund des hohen zeitlichen und materiellen Aufwandes für die oben genannten Untersuchungen (Westhofen 1991, 1998) sowie aufgrund der Tatsache, daß sich bisher keine Methode in der breiten klinischen Anwendung durchsetzen konnte, ist die Bestimmung der subjektiven Vertikale unter statischer Kippung als Screeningverfahren zur Beurteilung akuter Otolithenschäden beschrieben und in der klinischen Routinediagnostik etabliert. Hierbei dient die Erdbeschleunigung unter lateraler Kippung des fixierten Patienten um die antero-posteriore Achse als Reiz für die Otolithenorgane und die gezeichnete subjektive Vertikale mit verbundenen Augen (Durchführung im einzelnen siehe Material und Methoden) oder die Senkrechteinstellung eines Leuchtstabes (subjektive visuelle Vertikale) als meßbare Referenz (Westhofen 1991, Böhmer

1997). Bei Auffälligkeiten oder nach Kompensation können die anderen genannten Verfahren eingesetzt werden, um den Befund genauer einzugrenzen und zu quantifizieren. Den Methoden zur Untersuchung der subjektiven Vertikale vorausgegangen waren die von Fukuda entwickelten Zeichen- und Tretversuche, welche allerdings nach Ansicht von Pavlov et al (1977) in ihrer Verlässlichkeit auf die zusätzliche Durchführung weiterer Untersuchungen angewiesen waren. Dieses Konzept weiterverfolgende Versuche von Stoll (1981, 1984) ergaben in 70 % aller peripheren oder zentralen Gleichgewichtstörungen messbare Abweichungen im Zeichentest sowie die Möglichkeit, mit Hilfe des Zeichentests aufgrund der Richtungsspezifität der Abweichungen periphere von zentralen Koordinationsstörungen zu unterscheiden.

2 Material und Methoden

Nach positivem Votum der Ethikkommission der Ärztekammer Hamburg (Ethikkommissionsantrag Nr. OB/8/2000, Votum vom 23.08.2000) erteilten alle Personen des Untersuchungskollektivs nach Aufklärung über Vorgehensweise und Risiken schriftlich ihre Einwilligung in die Teilnahme an der Studie. Sie wurden informiert, daß die Teilnahme jederzeit ohne Angabe von Gründen beendet werden könnte.

Das Untersuchungskollektiv bestand aus 12 Patienten mit bekannten Augenmotilitätsstörungen sowie aus einer Kontrollgruppe von 9 gesunden Probanden. Im einzelnen setzte sich die Patientengruppe aus Personen mit folgenden Augenmotilitätsstörungen zusammen: Strabismus intermittens (6), Dekompensierte Exophorie (1), Exotropie (1), Esotropie (1), Strabismus sursoadductorius (2), Alternierende Exotropie (1).

Bei allen Versuchspersonen wurde mittels des unten beschriebenen Zeichentests mit verbundenen Augen in aufrecht sitzender Position und unter statischer Kippung um die antero-posteriore Achse in mehreren Neigungswinkeln die subjektive Vertikale bestimmt.

2.1 Ophthalmologische Diagnostik

Zur Quantifizierung der Schielwinkel in der Patientengruppe, zum Ausschluß von Augenmotilitätsstörungen in der Kontrollgruppe sowie zum Ausschluß von darüber hinausgehenden Sehstörungen bei allen Versuchspersonen wurden zuvor die folgenden Untersuchungen durchgeführt.

2.1.1 Lichtschweiftest nach Bagolini

Nachweis des beidäugigen Sehens: Vor jedes Auge wird ein klares Glas gehalten. Jedes Glas ist an der Vorderseite so aufgerauht, daß

beim Durchblick auf eine punktförmige Lichtquelle ein diagonaler Lichtschweif wahrgenommen wird. Die Aufrauhung ist an den beiden Gläsern um 90° zueinander verdreht angebracht, so daß bei beidäugigem Sehen (kein Auge wird supprimiert) ein Lichtkreuz gesehen wird. Wird nur ein Lichtstrahl wahrgenommen, so ist ein Auge vom beidäugigen Sehen ausgeschlossen.

2.1.2 Visusbestimmung

Bestimmung der Sehschärfe: Standardisierte Tafeln mit Zeichenfiguren abnehmender Größe werden von der Versuchsperson aus festgelegten Entfernungen betrachtet. Ergebnisdokumentation als Quotient der Betrachtungsentfernung und derjenigen Entfernung, aus der ein normal sehendes Auge das kleinste noch von der Versuchsperson identifizierte Zeichen erkannt hätte. Sofern mit einer korrigierenden Sehhilfe versorgt, waren Ametropien kein Ausschlußkriterium für die Patienten- oder Kontrollgruppe.

2.1.3 Wechselseitiger und einseitiger Cover-Test sowie Uncover-Test

Nachweis oder Ausschluß manifesten oder latenten Schielens: Während die Versuchsperson eine Lichtquelle fixiert, werden die Augen nach festgelegten Schemata abgedeckt und wieder freigegeben. Nachstellbewegungen werden dokumentiert. Hieraus Ermittlung von Schielstellungen sowie führender oder supprimierter Augen. Nachweis latenter oder manifester Schielerkrankungen ist ein Ausschlußkriterium für die Aufnahme in die Kontrollgruppe, manifestes Schielen ist obligates Einschlußkriterium für die Aufnahme in die Patientengruppe.

2.1.4 Prismen-Cover-Test

Zur Messung des objektiven Schielwinkels bei nachgewiesenem manifestem Schielen: Die Versuchsperson fixiert ein Objekt in 30 cm Entfernung für die Nähe und ein Fixierlicht in 5 m Entfernung für die Ferne. Nun wird vor das abgewichene Auge ein Korrekturprisma gehalten und beide Augen werden für einige Sekunden abgedeckt. Durchführung mit Prismen steigenden Korrekturwinkels, bis das abgewichene Auge beim anschließenden Freigeben beider Augen keine Korrekturbewegung mehr durchführt. Dokumentation des Korrekturwinkels, der dem Schielwinkel entspricht.

2.1.5 Prüfung der Führungsbewegungen

Nachweis von Augenmuskelparesen: Ein Fixierobjekt wird in 30 cm Entfernung von den Augen in alle Richtungen bewegt und der Patient aufgefordert, den Bewegungen mit den Augen zu folgen. Beobachtung und Beurteilung der Bewegungsabläufe beider Augen. Dokumentation eventueller Bewegungsstörungen und Beurteilung des Ergebnisses im Hinblick auf Schwächen oder Paresen der Augenmuskeln.

Die ophthalmologischen Testverfahren erfolgten unter augenfachärztlicher Anleitung und Supervision.

2.2 Gleichgewichtsdiagnostik

Zusätzlich zur Bestimmung der subjektiven Vertikale wurde zum Ausschluß des Ergebnis verfälschender peripherer Gleichgewichtsstörungen bei allen Versuchspersonen eine kalorische Spülung mit videooculographischer Nystagmusregistrierung vorgenommen.

2.2.1 Kalorische Spülung

Mittels einer Reizung des lateralen Bogenganges wird die Erregbarkeit des Bogengangsorganes geprüft. Voraussetzung für die Verwertbarkeit der Untersuchung sind freie Gehörgänge sowie seitengleiche Trommelfellbefunde. Die Versuchsperson befindet sich in Rückenlage auf einer Liege mit um 30° nach vorne geneigtem Kopf (siehe Abb. 4).

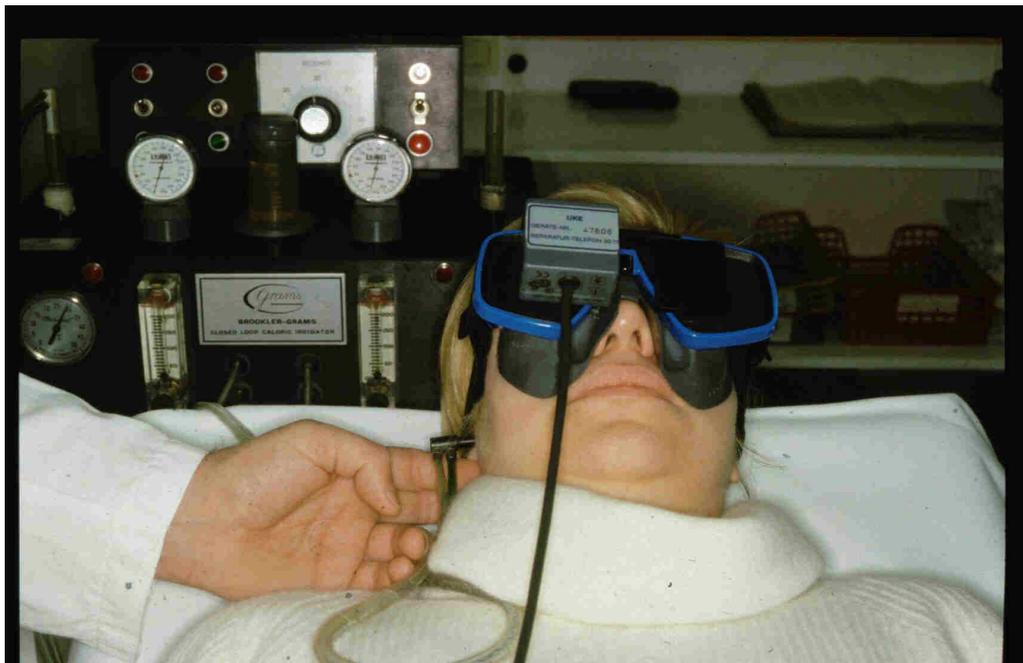


Abbildung 4: Kalorische Spülung unter videookulografischer Kontrolle

In dieser Kopfhaltung befindet sich die Hauptebene der Gleichgewichtsorgane und damit beidseits der lateralen Bogengänge in der Vertikalen (30° Kopfneigung entspricht der physiologischen Kopfhaltung beim aufrechten Gang, der laterale Bogengang befindet sich hierbei genau in der Horizontalebene). Beginnend mit dem rechten Ohr werden die Gleichgewichtsorgane thermisch gereizt. Dies erfolgt über einen mit einem Doppelschlauch verbundenen Ballon, der in den Gehörgang eingebracht und über 30 Sekunden mit temperiertem Wasser durchspült wird, welches von einem Kalorisorator in den Temperaturen 30° und 44°C

bereitgestellt wird (7° C unter bzw. über Körpertemperatur). Die Temperaturänderung bewirkt eine Dichteänderung der Endolymphe und damit einen Abwärts- oder Aufwärtsstrom im lateralen Bogengang, was dem physiologischen Mechanismus bei Drehbewegung des Kopfes in der Horizontalebene entspricht und daher bei normaler Erregbarkeit reflektorisch von einem horizontalen Nystagmus begleitet wird. Nach der 30-sekündigen Reizung wird über 90 Sekunden die Reaktion videookulographisch aufgezeichnet und digital ausgewertet. Hierzu dient eine Infrarotkamera, die in einer abgedunkelten Taucherbrille untergebracht ist, welche von der Versuchsperson getragen werden muß, um eine visuelle Unterdrückung des kalorischen Nystagmus zu vermeiden.

Die Reiz-Meßsequenzen werden mit 5-minütigen Erholungspausen in der Reihenfolge rechts/warm, links/warm, links/kalt und rechts/kalt durchgeführt. Diese Reihenfolge dient der Vermeidung aufeinanderfolgender gleichgerichteter Reize und einer daraus folgenden Fehlinterpretation im Sinne einer Übererregbarkeit.

Die Beurteilung des Ergebnisses erfolgt mit Hilfe der von der Videookulographiesoftware erstellten Diagramme im Hinblick auf seitengleiche Erregbarkeit. Ein regelrechtes Ergebnis ist Voraussetzung für den Einschluß in die Studie.

2.2.2 Zeichentest



Abbildung 5: Sitzposition beim Zeichentest

Die Versuchsperson sitzt mit verbundenen Augen ohne Kontakt der Füße zum Boden auf einem in der antero-posterioren Achse drehbaren Stuhl. Die Versuchsperson versucht nun, auf einem senkrecht vor ihr positionierten Zeichenblock mit der rechten Hand vertikale Linien (im Lot) zu zeichnen. Hierbei werden die visuelle Kontrolle durch die Augenklappe sowie Einflüsse der Tiefensensibilität weitestgehend durch den fehlenden Kontakt der Füße zum Boden ausgeschaltet.

Das Zeichnen der senkrechten Linien erfolgt aus mehreren standardisierten Lagen der Frontalebene heraus, in die die Versuchsperson mit Hilfe des in dieser Ebene kippbaren Stuhles gebracht wird, und zwar in aufrechter Position sowie 5° , 10° und 20° nach rechts und links gekippt. Abfolge:

1. Aufrechte Position
2. Linkskippung um 5° , 10° und 20°
3. Rechtskippung um 5° , 10° und 20°

Zwischen den einzelnen Messungen jeweils 20 Sekunden Abwarten bis zur Aufzeichnung der Reaktion des Probanden. Bei Unsicherheit oder auffällig starken Abweichungen von der wahren Vertikalen darf die Versuchsperson bis zu drei Linien pro Lage zeichnen, wobei immer der beste Versuch in die Auswertung eingeht.

Auswertung: Mit Hilfe eines Winkelmessers werden die Gradabweichungen der gezeichneten Linien von der wahren Vertikalen gemessen.

Aus den ermittelten Werten werden nun berechnet:

- der Mittelwert der subjektiven Vertikale für Kontroll- und Patienten-
gruppe in aufrechter Sitzposition (ist gleich der durchschnittlichen
Nullage der subjektiven Vertikale unter Einfluß der Händigkeit)
- die Mittelwerte der subjektiven Vertikale für Kontroll- und Patienten-
gruppe in den jeweiligen Kippstellungen
- die Abweichungen der Mittelwerte in den jeweiligen Kippstellungen
vom Mittelwert in aufrechter Sitzposition (ist gleich der Abweichung
von der wahren Vertikalen unter Ausschluß der Händigkeit)
- die Differenz der unter 3. berechneten Werte zwischen Patienten-
und Kontrollgruppe

2.3 Statistik

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mittels einer Rangfolgebildung nach Mann-Whitney und der anschließenden Berechnung der Signifikanz bezogen auf die einzelnen Kippstellungen während der Bestimmung der subjektiven Vertikale.

Die vor der Untersuchung ausgewählten statistischen Verfahren wurden durch die Abteilung für Mathematik und Datenverarbeitung in der Medizin im Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf überprüft.

3 Befunde

3.1 Kontrollgruppe

Die Abweichungen der gezeichneten subjektiven Vertikale von der wahren Vertikale in aufrechter Sitzposition betragen bei den 9 gesunden Kontrollpersonen zwischen -4 und +1 Grad. Dies entspricht einer Streubreite von fünf Grad, der Mittelwert beträgt 1,22 Grad.

Bei 5 Grad Rechtsneigung betrug die Abweichung von der wahren Vertikale in der Kontrollgruppe zwischen -9 und +3 Grad, was einer Streubreite von 12 Grad entspricht, der Mittelwert beträgt -2,2 Grad. Die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert in aufrechter Position beträgt somit -1 Grad.

Bei 10 Grad Rechtsneigung betrug die Abweichung von der wahren Vertikale in der Kontrollgruppe zwischen -8 und +1 Grad, was einer Streubreite von 9 Grad entspricht, der Mittelwert beträgt -1,56 Grad. Die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert in aufrechter Position beträgt somit -0,34 Grad.

Bei 20 Grad Rechtsneigung betrug die Abweichung von der wahren Vertikale in der Kontrollgruppe zwischen -7 und +4 Grad, was einer Streubreite von 11 Grad entspricht, der Mittelwert beträgt -1,44 Grad. Die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert in aufrechter Position beträgt somit -1,44 Grad.

Bei 5 Grad Linksneigung betrug die Abweichung von der wahren Vertikale in der Kontrollgruppe zwischen -3 und +3 Grad, was einer Streubreite von 6 Grad entspricht, der Mittelwert beträgt -0,33 Grad. Die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert in aufrechter Position beträgt somit 0,89 Grad.

Bei 10 Grad Linksneigung betrug die Abweichung von der wahren Vertikale in der Kontrollgruppe zwischen -4 und +4 Grad, was einer Streubreite von 8 Grad entspricht, der Mittelwert beträgt 0,33 Grad. Die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert in aufrechter Position beträgt somit 1,55 Grad.

Bei 20 Grad Linksneigung betrug die Abweichung von der wahren Vertikale in der Kontrollgruppe zwischen -3 und +4 Grad, was einer Streubreite von 7 Grad entspricht, der Mittelwert beträgt 0 Grad. Die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert in aufrechter Position beträgt somit 1,22 Grad.

3.2 Patientengruppe

Die Abweichungen der gezeichneten subjektiven Vertikale von der wahren Vertikale in aufrechter Sitzposition betragen bei den 12 Patienten zwischen -5 und +3 Grad. Dies entspricht einer Streubreite von 8 Grad, der Mittelwert beträgt -1,25 Grad.

Bei 5 Grad Rechtsneigung betrug die Abweichung von der wahren Vertikale in der Patientengruppe zwischen -9 und +3 Grad, was einer Streubreite von 12 Grad entspricht, der Mittelwert beträgt -2,2 Grad. Die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert in aufrechter Position beträgt somit -1 Grad.

Bei 10 Grad Rechtsneigung betrug die Abweichung von der wahren Vertikale in der Patientengruppe zwischen -15 und +1 Grad, was einer Streubreite von 16 Grad entspricht, der Mittelwert beträgt -6 Grad. Die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert in aufrechter Position beträgt somit -4,75 Grad.

Bei 20 Grad Rechtsneigung betrug die Abweichung von der wahren Vertikale in der Patientengruppe zwischen -19 und +4 Grad, was einer Streubreite von 23 Grad entspricht, der Mittelwert beträgt -6,25 Grad. Die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert in aufrechter Position beträgt somit -5 Grad.

Bei 5 Grad Linksneigung betrug die Abweichung von der wahren Vertikale in der Patientengruppe zwischen -2 und +26 Grad, was einer Streubreite von 28 Grad entspricht, der Mittelwert beträgt 2,92 Grad. Die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert in aufrechter Position beträgt somit 4,17 Grad.

Bei 10 Grad Linksneigung betrug die Abweichung von der wahren Vertikale in der Patientengruppe zwischen -2 und +36 Grad, was einer Streubreite von 38 Grad entspricht, der Mittelwert beträgt 4,08 Grad. Die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert in aufrechter Position beträgt somit 5,33 Grad.

Bei 20 Grad Linksneigung betrug die Abweichung von der wahren Vertikale in der Patientengruppe zwischen -2 und 51 Grad, was einer Streubreite von 53 Grad entspricht, der Mittelwert beträgt 5,75 Grad. Die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert in aufrechter Position beträgt somit 7 Grad.

Die Messwerte im einzelnen gehen aus den Tabellen 1 und 2 hervor.

Proband	0°	5° re	10° re	20° re	5° li	10° li	20° li
1	-1	1	1	-4	3	4	-2
2	0	1	1	0	-1	-2	0
3	0	-9	-6	-1	1	3	0
4	-4	-4	-3	-6	1	0	4
5	-3	-3	0	-1	-1	-3	-1
6	-1	3	0	2	-1	1	0
7	-2	-7	-8	-7	-2	2	2
8	1	-2	0	0	-3	-4	-3
9	-1	0	1	4	0	2	0
Summe	-11	-20	-14	-13	-3	3	0
Mittelwert	-1,22	-2,22	-1,56	-1,44	-0,33	0,33	0
Abweichung der Mittelwerte vom 0°-Mittelwert		-1	-0,34	-0,22	0,89	1,55	1,22

Tabelle 1

Proband	0	5° re	10° re	20° re	5° li	10° li	20° li
1	-3	-8	-9	-10	1	2	1
2	0	-9	-3	4	-1	-2	-2
3	-3	-3	-2	-4	1	2	1
4	-5	-6	-8	-1	-2	0	0
5	-2	-6	-7	-6	-2	0	2
6	0	-3	-1	-5	2	3	2
7	-2	-8	-11	-15	-1	0	-1
8	1	-10	-15	-19	26	36	51
9	0	3	1	0	1	-2	1
10	3	-4	-7	-10	6	7	9
11	-2	-4	-5	-5	2	1	5
12	-2	-3	-5	-4	2	2	0
Summe	-15	-61	-72	-75	35	49	69
Mittelwert	-1,25	-5,08	-6	-6,25	2,92	4,08	5,75
Abweichung der Mittelwerte vom 0°-Mittelwert		-3,83	-4,75	-5	4,17	5,33	7

Tabelle 2

Zusammenfassend lag die durchschnittliche Abweichung der subjektiven Vertikale unter statischer Kippung von der subjektiven Vertikale in Aufrechthaltung unter den verschiedenen Kippungen bei 0,2 Grad bis 1,6 Grad für die Kontrollgruppe und bei 3,8 Grad bis 7 Grad für die Patientengruppe.

In der zuerst getesteten Aufrechtposition hingegen stimmten die durchschnittlichen Abweichungen der subjektiven Vertikale von der wahren Vertikale in beiden Gruppen nahezu überein (Patienten -1,25 Grad, Kontrollgruppe -1,22 Grad).

Die Ergebnisse des Zeichentests zeigten somit eine deutliche Diskrepanz zwischen den gesunden Probanden und den Personen mit nachgewiesenen Augenmotilitätsstörungen. Die Differenz zwischen beiden Gruppen nimmt mit dem Maß der Neigung in der Frontalebene zu.

Die gemessenen Werte wurden einem Rangfolgetest unterzogen (siehe Tabelle 3).

Ränge

	GRUPPE	N	Mittlerer Rang	Rangsumme
NEUTRAL	0	9	11,28	101,50
	1	12	10,79	129,50
	Gesamt	21		
RECHTS5	0	9	13,61	122,50
	1	12	9,04	108,50
	Gesamt	21		
RECHTS10	0	9	14,50	130,50
	1	12	8,38	100,50
	Gesamt	21		
RECHTS20	0	9	13,78	124,00
	1	12	8,92	107,00
	Gesamt	21		
LINKS5	0	9	8,89	80,00
	1	12	12,58	151,00
	Gesamt	21		
LINKS10	0	9	9,94	89,50
	1	12	11,79	141,50
	Gesamt	21		
LINKS20	0	9	8,44	76,00
	1	12	12,92	155,00
	Gesamt	21		

Tabelle 3: Mann-Whitney-Test

Nach statistischer Auswertung der Rangfolgebildung nach Mann-Whitney war die Diskrepanz zwischen Patienten und gesunden Probanden in Teilbereichen signifikant (siehe Tabelle 4).

Statistik für Test ^b

	NEUTRA	RECHTS	RECHTS1	RECHTS2	LINKS	LINKS1	LINKS2
Mann-Whitney-	51,500	30,500	22,500	29,000	35,000	44,500	31,000
Wilcoxon-	129,500	108,500	100,500	107,000	80,000	89,500	76,000
Z	-,181	-1,680	-2,252	-1,786	-1,372	-,683	-1,659
Asymptotisch Signifikanz (2-	,857	,093	,024	,074	,170	,495	,097
Exakte [2*(1-seitig	,862 ^a	,095 ^a	,023 ^a	,082 ^a	,193 ^a	,508 ^a	,111 ^a

a. Nicht für Bindungen

b. Gruppenvariable:

c. Einige oder alle exakten Statistiken können nicht berechnet werden, da nicht genügend Speicherplatz

Tabelle 4

4 Diskussion

Augenmotilitätsstörungen haben Einfluß auf die subjektive Vertikale.

Ausgehend von der ursprünglichen Frage, ob sich das Vorliegen von Augenmotilitätsstörungen auf die Lage der subjektiven Vertikale auswirkt, ist zunächst generell die Genauigkeit des Zeichentests als Meßmethode für die subjektive Vertikale im Sinne der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse kritisch zu bewerten. Immerhin kommen bei der angewandten Versuchsanordnung das freihändige Zeichnen durch die Versuchsperson sowie die Tatsache, daß die gezeichneten Linien keine Geraden im mathematischen Sinne sind und somit die Winkelbestimmung erschwert ist, als potentielle Fehlerquellen in Frage. Außerdem sind derartige Testanordnungen prinzipiell weniger verläßlich als rein objektive Testverfahren.

Um die potentiellen Fehlerquellen möglichst weit einzuschränken, wird daher der Zeichentest immer über die volle Länge eines Millimeterpapiers in DIN A 3 Format durchgeführt. Zudem geht von drei Versuchen pro Kipplage nur der Beste in die Auswertung ein. Der Zeichentest liefert innerhalb einer Probandengruppe außerdem besser reproduzierbare Ergebnisse als die ebenfalls zur Bestimmung der subjektiven Vertikale eingesetzte Einstellung einer Leuchtdiodenleiste. Westhofen (1991) fand eine intraindividuelle Abweichung von bis zu 30 % im Leuchtdiodentest, jedoch nur bis zu 7% im Zeichentest bei gesunden Probanden.

Bei der Beurteilung der Ergebnisse des Zeichentests mit zunehmender Diskrepanz zwischen gesunden Probanden und Personen mit nachgewiesenen Augenmotilitätsstörungen mit zunehmendem Neigungswinkel in der Frontalebene und fehlender Differenz in Aufrechtposition (Patienten $-1,25^\circ$, Kontrollgruppe $-1,22^\circ$) fällt die Tatsache auf, daß es bei bei-

den Gruppen in Aufrechtposition überhaupt zu einer messbaren Abweichung von der wahren Vertikale kam.

Zu erwarten gewesen wäre in Anbetracht der in dieser Sitzposition seitengleich einwirkenden Erdbeschleunigung eine durchschnittliche Abweichung der subjektiven Vertikale von der wahren Vertikale (im Folgenden $\Delta sV\emptyset 0^\circ$ abgekürzt) von nahe bei 0° , da sich individuelle Abweichungen (im Folgenden $\Delta sVi0^\circ$ abgekürzt) in beide Richtungen bewegen und somit im Durchschnitt bei einer $\Delta sV\emptyset 0^\circ$ von 0° ausmitteln müßten. Dies beträfe alle denkbaren Ursachen für eine vorhandene $\Delta sVi0^\circ$, inbegriffen zufällige Abweichungen sowie das Vorhandensein von Augenmotilitätsstörungen. Aus diesem Grund wäre eine $\Delta sV\emptyset 0^\circ$ von gegen 0° nicht nur bei der Kontrollgruppe, sondern – ein heterogenes Patientengut voraussetzend – auch in der Patientengruppe zu erwarten gewesen.

Selbst im Falle größerer $\Delta sVi0^\circ$ der einzelnen Versuchspersonen wären rechnerisch auch die gemessenen $\Delta sV\emptyset 0^\circ P$ (Patienten) mit $-1,25^\circ$, sowie die $\Delta sV\emptyset 0^\circ K$ (Kontrollgruppe) mit $-1,22^\circ$ plausibel gewesen. Das gleiche Vorzeichen wäre in diesem Falle als Zufall zu interpretieren gewesen. Die gemessenen $\Delta sV\emptyset 0^\circ$ sind jedoch keine Mittelwerte größerer, in beiden Richtungen abweichender $\Delta sVi0^\circ$, sondern alle $\Delta sVi0^\circ P$ und $\Delta sVi0^\circ K$ befinden sich vielmehr mit nur geringer Streubreite um die $\Delta sV\emptyset 0^\circ$ im negativen Bereich.

Es ist also zu folgern, daß alle gemessenen Werte (folgerichtig dann auch die Werte unter statischer Kippung) einem, wenn auch geringen, systematischen Einfluß unterliegen, der zudem bei beiden Teilnehmergruppen als identisch einzustufen ist. Nach Prüfung aller auf das Untersuchungsergebnis einwirkenden Faktoren muß vermutet werden, daß

es sich hierbei um den Einfluß des Zeichenverfahrens handelt. Da alle Probanden den Test mit der rechten Hand absolvierten, liegt nahe, daß ein systematischer Fehler im Sinne eines koordinativ-motorischen Einflusses die oben genannten Ergebnisse bewirkt hat. Entsprechende Hinweise liefert Westhofen (1987) in seiner Arbeit über zentralnervöse Einflüsse auf die vestibuläre Funktion anhand des Beispiels der Händigkeit.

Die Ergebnisse bei Messung der $\Delta sV\emptyset 0^\circ$ entsprechen früheren Untersuchungen anderer Autoren. Böhmer (1997) gibt $\Delta sV i 0^\circ$ von weniger als 2° für Normalpersonen an. Die subjektive Vertikale wurde dort jedoch durch Einstellung eines Leuchtstabes unter visueller Kontrolle gemessen, so daß der hier gefundene Einfluß der Händigkeit entfällt.

Während die $\Delta sV\emptyset 0^\circ$, wie oben erläutert, zwischen Patienten- und Kontrollgruppe keine wesentliche Differenz zeigt, stellt sich unter statischer Kippung um die antero-posteriore Achse eine deutliche, mit steigendem Neigungswinkel zunehmende Diskrepanz zwischen den Gruppen ein.

$$\Delta sV\emptyset x^\circ P > \Delta sV\emptyset x^\circ K \text{ und}$$

$$(\Delta sV\emptyset 5^\circ P - \Delta sV\emptyset 5^\circ K) < (\Delta sV\emptyset 10^\circ P - \Delta sV\emptyset 10^\circ K) < (\Delta sV\emptyset 20^\circ P - \Delta sV\emptyset 20^\circ K)$$

Die mit steigendem Neigungswinkel größer werdende Differenz zwischen beiden Probandengruppen bestätigt die Vermutung, daß die vorhandenen Augenmotilitätsstörungen das Lageempfinden im Raum und damit die Lage der subjektiven Vertikale verändern.

Eine quantitative Aussage kann aufgrund der nur in Teilbereichen vorliegenden Signifikanz mit den vorliegenden Ergebnissen nicht getroffen werden, dies würde nach spezifischen Augenmotilitätsstörungen getrennte Messungen mit größeren Patientengruppen und Homogenität der Augenerkrankungen innerhalb der Einzelgruppen erfordern.

Die eingangs gestellten Fragen werden folgendermaßen beantwortet:

1. Aus den vorliegenden Ergebnissen kann gefolgert werden, daß Augenmotilitätsstörungen Einfluß auf die subjektive Vertikale nehmen. Hieraus sowie aus den anatomisch-physiologischen Voraussetzungen wiederum folgt, daß weitere, noch zu identifizierende, nicht otogene Einflüsse auf die subjektive Vertikale nicht ausgeschlossen werden können.
2. Die uneingeschränkte Gültigkeit der subjektiven Vertikale als alleinige Untersuchungsgröße für die isolierte Beurteilung der Funktion der Otolithenorgane muß somit in Frage gestellt werden. Diese Untersuchungsgröße kann nur dann als valide eingeschätzt werden, wenn zuvor mit ophthalmologischen Mitteln das Vorliegen von Augenmotilitätsstörungen ausgeschlossen wurde. Im vorliegenden Ansatz hat sich der wechselseitige Cover- und Uncover-Test zur individuellen Klärung dieser Frage als einfach und valide erwiesen.

5 Zusammenfassung

Einleitung: Die Bestimmung der subjektiven Vertikale mit Hilfe des Zeichentests ist als Screeningverfahren zur Beurteilung der Otolithenfunktion beschrieben. Ziel der vorliegenden Arbeit war die Überprüfung nicht-otogener Einflüsse auf die subjektive Vertikale.

Methoden: Die Untersuchung der Otolithenfunktion erfolgte im Rahmen der vorliegenden Studie wie auch in der klinischen Routinediagnostik durch die Bestimmung der subjektiven Vertikale unter statischer Kippung um die antero-posteriore Achse. 12 Patienten mit bekannten Augenmotilitätsstörungen sowie 9 gesunde Probanden wurden dem Test unterzogen. Zum Ausschluß einer peripher-vestibulären Erkrankung wurde bei allen Testpersonen zusätzlich eine videonystagmographisch kontrollierte kalorische Reizung vorgenommen. Die statistische Auswertung erfolgte mittels Rangfolgebildung nach Mann-Whitney und der anschließenden Berechnung der Signifikanz.

Befunde: Bei den Probanden wich die subjektive Vertikale bei 5° , 10° und 20° Kippung von der subjektiven Vertikale in Aufrechthaltung im Mittel um $0,2^\circ$ bis $1,6^\circ$ ab, dagegen betrug die Abweichung bei den Patienten im Mittel $3,8^\circ$ bis 7° .

Schlußfolgerungen: Die vorliegenden Ergebnisse geben Hinweis darauf, daß der Einfluß nicht-otogener Faktoren (z.B. Augenmotilitätsstörungen) auf die subjektive Vertikale nicht unerheblich ist und daß somit die uneingeschränkte Gültigkeit der subjektiven Vertikale als alleinige Untersuchungsgröße für die isolierte Beurteilung der Funktion der Otolithenorgane in Frage gestellt werden muß. Minimalforderung ist der Ausschluß von Augenmotilitätsstörungen durch den wechselseitigen Cover- und Uncover-Test.

6 Literatur

Aubert H (1861) Über eine scheinbare Drehung von Objekten bei Neigung des Kopfes nach rechts oder links. *Virchow's Arch* 20:381-393

Bárány R (1925) Der Zeigeversuch, die Abweichreaktion, der Einstellungsversuch. *Acta Otolaryngol* 7:139

Böhmer A (1997) Zur Beurteilung der Otolithenfunktion mit der subjektiven visuellen Vertikalen. *HNO* 45:533-537

Böhmer A (1999) Chronic unilateral loss of otolith function revealed by the subjective visual vertical. *J Vestib Res* 9:413-22

Böhmer A, Mast F (1999) Assessing otolith function by the subjective visual vertical. *Ann N Y Acad Sci* 871:221-231

Brunia C (1966) Head flexion and Fukuda's vertical writing test. *Arch Otolaryngol* 84:73-74

Clarke AH, Engelhorn A, Scherer H (1996) Ocular counterrolling in response to asymmetric radial acceleration. *Acta Otolaryngol* 116:652-6

Clarke AH, Scherer H, Gundlach P (1988) Caloric stimulation during short episodes of microgravity. *Arch Otorhinolaryngol* 245:175-9

Clarke AH, Schonfeld U, Hamann C, Scherer H (2001) Measuring unilateral otolith function via the otolith-ocular response and the subjective visual vertical. *Acta Otolaryngol Suppl.* 545:84-7

Dai MJ, Curthoys IS, Halmagyi GM (1989) A model of otolith stimulation. *Biol Cybern* 60:185-194

Darlot C, Denise P, Droulez J, Cohen B, Berthoz A (1988) Eye movements induced by off-vertical axis rotation (OVAR) at small angles of tilt. *Exp Brain Res.* 73:91-105.

De Vries HL (1950) The mechanics of the labyrinth otoliths. *Acta Otolaryngol Stockh* 38:262-269

Diamond SG, Markham CH (1988) Ocular torsion in upright and tilted positions during hypo- and hypergravity of parabol flight. *Aviat Space Environ Med* 59:1158-62

Dieterich M, Brandt T (1992) Cyclorotation of the eyes and the subjective visual vertical. *Baillieres Clin Neurol* 1:301-16

Fernandez C, Goldberg JM (1976) Physiology of peripheral neurons innervating otolith organs of the squirrel monkey. I: Response to static tilt and long-duration centrifugal force. II: Directional selectivity and force-response relations. *J Neurophysiol* 39:970-995

Fukuda T (1959) Vertical writing with eyes covered. *Acta Otolaryngol* 50:26-36

Fukuda T, Takashi T (1963) A new arrangement of the vestibular examination. *Acta Otolaryngol [Suppl]* 179:122

Haustein W, Mittelstaedt H (1990) Evaluation of retinal orientation and gaze direction in the perception of the vertical. *Vision Res* 30:255-62

Helling K, Clarke AH, Watanabe N, Scherer H (2000) Morphological studies of the form of the cupula in the semicircular canal ampulla. *HNO* 48:822-7

Jongkees LBW (1966) How to examine the otoliths. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 75:764-71

Klinke R (1990) Gleichgewichtssinn, Hören, Sprechen. In: Schmidt, Thews G (Hrsg) *Physiologie des Menschen*. Springer, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo Hong Kong Barcelona

Markham CH, Diamond SG (2001) Ocular counterrolling differs in dynamic and static stimulation. *Acta Otolaryngol Suppl.* 545:97-100

Markham CH, Diamond SG, Stoller DF (2000) Parabolic flight reveals independent binocular control of otolith-induced eye torsion. *Arch Ital Biol* 138:73-86

Merfeld DM, Teiwes W, Clarke AH, Scherer H, Young LR (1996) The dynamic contributions of the otolith organs to human ocular torsion. *Brain Res* 110:315-21

Meyer zum Gottesberge A, Plester D (1965) Nachweis der statischen Funktion des Sacculus beim Menschen. *Arch Ohr Nas Kehlk* 184:254-258

Mittelstaedt H (1983) A new solution to the problem of the subjective vertical. *Naturwissenschaften* 70:272-281

Mittelstaedt H (1989) The role of the pitched-up orientation of the otoliths in two recent models of the subjective vertical. *Biol Cybern* 61:405-416

Mittelstaedt H (1992) Somatic versus vestibular gravity reception in man. *Ann N Y Acad Sci* 656:124-39

Mittelstaedt H (1995) New diagnostic tests for the function of utricles, saccules and somatic graviceptors. *Acta-Otolaryngol-Suppl-Stockh.* 1:188-193

Mittelstaedt H (1999) The role of the otoliths in the perception of the vertical and in path integration. *Ann-N-Y-Acad-Sci.* 871:334-344

Mittelstaedt H, Glasauer S (1993) Illusions of verticality in weightlessness. *Clin Invest* 71(9):732-9

Mittelstaedt ML, Mittelstaedt H (1996) The influence of otoliths and somatic graviceptors on angular velocity estimation. *J Vestib Res* 6:355-66

Pavlov VI, Dimov D, Irintchev E (1978) Fukuda writing and stepping tests in the evaluation of vestibular disturbances in labyrinth diseases. *Agressologie* 19:71-72

Rosenhall U (1972) Vestibular macular mapping in man. *Ann Otol* 81:339-351

Rosenhall U (1974) The vestibular sensory regions in man. A morphological study. *Acta Univ Uppsala [Suppl]* 191:1-37

Scherer H (1984) Thermal reaction in weightlessness in outer space. Observations on Robert Baranys' theory. *Arch Otorhinolaryngol Suppl.* 2:1-16

Scherer H (1984) Thermal reaction of the labyrinth in weightlessness in space. Reflections on the theory of Barany. *Arch Otorhinolaryngol Suppl.* 2:27-46

Scherer H, Brandt U, Clarke AH, Merbold U, Parker R (1986) European vestibular experiments on the Spacelab-1 mission: 3. Caloric nystagmus in microgravity. *Exp Brain Res*;64:255-63

Scherer H, Clarke AH (1987) Thermal stimulation of the vestibular labyrinth during orbital flight. *Arch Otorhinolaryngol* 244:159-66

Scherer H, Clarke AH, Baetke F (1985) Physiology of the caloric equilibrium reaction. Consequences from results of space experiments in Spacelab 1, December 1983. *Laryngol Rhinol Otol* 64:263-8

Scherer H, Helling K, Clarke AH, Hausmann S (2001) Motion sickness and otolith asymmetry. *Biol Sci Space* 15:401-4

Schöne H, Parker DE (1967) Inversion of the effect of increased gravity on the subjective vertical. *Naturwissenschaften* 54:288-289

Schöne H, Parker DE, Mortag HG (1967) Subjective vertical as a function of body position and gravity magnitude. *Naturwissenschaften* 54:288

Stoll W (1981) Der Vertikale Zeichentest. *Arch Otorhinolaryngol* 233:201-217

Stoll W (1984) Klinische Erfahrungen mit dem Vertikalen Zeichentest (VZT). *Laryng Rhinol Otol* 63:517-520

Waterland JC, Doudlah AM, Shambes GM (1966) The influence of the tonic neck reflex: vertical writing. *Acta Otolaryngol* 61:313-322

Werner CL F (1940) *Das Labyrinth*. Thieme, Leipzig

Westhofen M (1987) Balloon method and water irrigation in thermal vestibular assessment. Electronystagmographic comparison of both methods. *Laryngol Rhinol Otol (Stuttg)* 66(8):424-7

Westhofen M (1987) Central nervous system influences on vestibulo-ocular and vestibulospinal functions exemplified by hand dominance. *HNO* 35(12):503-7

Westhofen M (1991) Die klinische Diagnostik der Otolithenfunktion. *Oto Rhino Laryngologia Nova* 1:26-36

Westhofen M (1998) Objektivierung von Störungen des Otolithenapparates. In: Stoll W (Hrsg) *Schwindel und Gleichgewichtsstörungen: Diagnostik, Klinik, Therapie, Begutachtung*. Thieme, Stuttgart, New York, S. 42-53

Westhofen M, Koch U, Heesch KH (1987) Mikroprozessorgestützte Gleichgewichtsuntersuchung - Registrierung, Analyse und Befundung von Elektronystagmogrammen. *Arch Otorhinolaryngol Suppl* II:117

Wodak E (1957) The dissociations (discrepancies) of the different vestibular reflexes and their diagnostic significance. *Pract Oto Rhino-Laryng* 19:590

Danksagung

Mein Dank im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit gilt Frau Prof. Dr. Schulze, Frau Dr. Gordes und Frau Dr. Christiani, Universitätsaugenklinik Hamburg, für Erläuterung und Supervision der ophthalmologischen Untersuchungen und für Hilfe bei der Auswahl geeigneter Versuchspersonen sowie Frau Meyer, Universitäts-HNO-Klinik Hamburg, für Erläuterung der durchgeführten Gleichgewichtsdiagnostik.

Lebenslauf

Name	Tolsdorff
Vorname	Boris
Geburtsdatum	22.03.1969
Vater	Dr. med Peter Tolsdorff
Mutter	Sabine Tolsdorff, geb. Scheermesser
Familienstand	verheiratet
Nationalität	deutsch
Konfession	evangelisch
08/75 bis 05/79	Grundschule Bad Honnef
07/79 bis 06/88	Gymnasium Nonnenwerth/Rhein (Latinum, Abitur 1988)
10/88 bis 09/90	Wehrdienst auf Zeit im Bundeswehresanitätszentrum Bonn
04/91 bis 09/97	Studium der Humanmedizin an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
28.03.1994	Ärztliche Vorprüfung
21.03.1996	1. Abschnitt der ärztlichen Prüfung
01.09.1997	2. Abschnitt der ärztlichen Prüfung
18.11.1998	3. Abschnitt der ärztlichen Prüfung
seit 01.07.1999	Wiss. Ass. im Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde, Direktor: Prof. Dr. U. Koch

Erklärung

Ich versichere ausdrücklich, daß ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfaßt, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe, und daß ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.