Aus dem
CharitéCentrum für Audiologie und Phoniatrie, Augen- und HNO-Heilkunde
Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde und Kopf- und Hals-Chirurgie
Direktor: Professor Dr. med. Hans Scherer

Habilitationsschrift

Evaluation halspropriozeptiver Leistungen bei Patienten mit Schwindelbeschwerden aus dem Fachgebiet der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde

**zur Erlangung der Lehrbefähigung
für das Fach
Hals-Nasen-Ohrenheilkunde**

**vorgelegt dem Fakultätsrat der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin**

von

Herrn Dr. med. Matthias Hölzl

geboren am 10.12.1970 in Bad Harzburg

Dekan: Professor Dr. med. M. Paul

Eingereicht: März 2008

1. Gutachter: Professor Dr. med. Hans-Peter Zenner
2. Gutachter: Priv.-Doz. Dr. med. Michael Kramer

Evaluation halspropriozeptiver Leistungen bei Patienten mit Schwindelbeschwerden
aus dem
Fachgebiet der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde

1 EINFÜHRUNG 1

1.1 Kopf-Rumpf-Koordination 3
1.1.1 Intrakranielle Sensoren 6
1.1.2 Extrakranielle Sensoren 7
1.1.3 Biomechanische Einheit zwischen Kopf und Rumpf 11

1.2 Halspropriozeptiver Beitrag zur Kopf-Rumpf-Koordination 12
1.2.1 Halspropriozeptiv - vestibulär 13
1.2.2 Halspropriozeptiv - vestibulookulär 15

1.3 Stand der Forschung diagnostischer Möglichkeiten 17
1.3.1 Phasische Untersuchungen des zervikookulären Reflexes (COR) 18
1.3.2 Tonische Untersuchungen zervikookulärer Reflexbahnen 19
1.3.3 Kraniozervikale kinästhetische Sensibilität 21

1.4 Ableitung der Arbeitshypothesen 23

2 ALLGEMEINE METHODE UND PATIENTEN 26

2.1 Messinstrument: Die dreidimensionale Videookulographie 26
2.1.1 Durchführung der Videookulographie 29
2.1.2 Vor- und Nachteile der Videookulographie 31

2.2 Der dreidimensionale Halsdrehtest 31
2.2.1 Der Untersuchungsgang des dreidimensionalen Halsdrehtestes 32
2.2.2 Das Auswertungsverfahren für den dreidimensionalen Halsdrehtest 33
2.2.3 Erster Vorversuch zum dreidimensionalen Halsdrehtest 36
2.2.4 Zweiter Vorversuch zum dreidimensionalen Halsdrehtest 37
2.2.5 Der dreidimensionale Halsdrehtest im Gruppenvergleich 37

2.3 Die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität 38
2.3.1 „Subjektiver Nulldurchgang der Kopfgelenke“ 39
2.3.2 „Augenrückstelltest nach Rumpfdrehung“ 40

2.4 Der Dizziness Handicap Inventory (DHI) 41

2.5 Auswahl unterschiedlicher Untersuchungskollektive 42
2.5.1 Probanden 42
2.5.2 Untersuchungskollektive im dreidimensionalen Halsdrehtest 43
2.5.3 Untersuchungskollektive in der kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität 44

2.6 Datenanalyse 45

3 ERGEBNISSE 48

3.1 Der dreidimensionale Halsdrehtest 48
3.1.1 Erster Vorversuch zum dreidimensionalen Halsdrehtest 48
3.1.2 Zweiter Vorversuch zum dreidimensionalen Halsdrehtest 51
3.1.3 Der dreidimensionale Halsdrehtest bei Gesunden 53
3.1.4 Der dreidimensionale Halsdrehtest bei Patienten mit einseitigem vestibulären Defizit 56
3.1.5 Der dreidimensionale Halsdrehtest bei Patienten mit gestörtem kraniozervikalen Übergang 59
3.1.6 Ergebnisse im Gruppenvergleich 62
3.1.7 Der dreidimensionale Halsdrehtest im Gruppenvergleich zum eindimensionalen Halsdrehtest 66

3.2 Kraniozephale kinästhetische Sensibilität 71
3.2.1 Der Dizziness Handicap Inventory (DHI) im Gruppenvergleich 71
3.2.2 Der subjektive Nulldurchgang der Kopfgelenke im Gruppenvergleich 72
3.2.3 Der Augenrückstelltest nach Rumpfdrehung im Gruppenvergleich 74

4 DISKUSSION 76

4.1 Prinzipielles zur Erfassung der vestibulären Zervikalafferenzen 77

4.2 Der dreidimensionale Halsdrehtest 79
4.2.1 Vorversuche zum dreidimensionalen Halsdrehtest 79
4.2.2 Hauptuntersuchung zum dreidimensionalen Halsdrehtest 82

4.3 Der Vertikalnystagmus 86

4.4 Der dreidimensionale Halsdrehtest im Gruppenvergleich zum eindimensionalen Halsdrehtest 90

4.5 Die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität 90
4.5.1 Anwendungsorientierte Bewertung 94

5 ZUSAMMENFASSUNG 96

5.1 Der Halsdrehtest 96
5.1.1 Vorversuche zum dreidimensionalen Halsdrehtest 97
5.1.2 Hauptuntersuchung zum dreidimensionalen Halsdrehtest 98

5.2 Die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität 100

6 LITERATURVERZEICHNIS 102

7 ANHANG 108

8 DANKSAGUNG 110

9 ERKLÄRUNG 111

1 Einführung

Nach Definition der American Academy of Otolaryngology- Head and Neck Surgery kann Schwindel als eine „Sinneswahrnehmung von Bewegung“ verstanden werden, „obwohl keine Bewegung relativ zur Schwerkraft besteht“ [14].

Angaben zur Prävalenz des Leitsymptoms Schwindel sind schwankend. Davis und Moorjani geben eine Lebenszeitprävalenz in Abhängigkeit vom Alter zwischen 17-39% an [15]. Die Arbeit von Neuhauser et al. beschreibt eine Prävalenz von 30% [74].

Störungen innerhalb des Gleichgewichtssystems, die zu Schwindelbeschwerden führen, kommen an unterschiedlichen Orten vor. Physiologischerweise integriert das zentralvestibuläre System unterschiedliche Sensorinformationen zu einer räumlichen Orientierung. Neben den periphervestibulären Beschleunigungssensoren sind ophthalmologische, aber auch somatosensorische Informationen für dieses System von ausschlaggebender Bedeutung.

Für das Vestibularorgan ist der adäquate Sinnesreiz die Beschleunigung. Diese kann durch Änderungen der Kopf-im-Raum-Position oder durch die auf uns einwirkende Schwerkraft ausgeübt werden. Liegt eine Rezeptorstörung im Bereich des Vestibularorgans vor, so können Sinneswahrnehmungen entstehen, ohne dass diesen eine tatsächliche Beschleunigung zugrunde liegt. Eine akute periphervestibuläre Störung kann solch eine „Scheinbewegung“ dem Zentralnervensystem vortäuschen, die subjektiv von unseren Patienten meist als Rotationsbewegung wahrgenommen und beschrieben wird.

Nicht alle Störungen im vestibulären System machen vergleichbar eindeutige Symptome. Vielmehr ist es häufig, dass die Ursachen weder anamnestisch noch messtechnisch eindeutig fassbar sind. Die Gründe für die mangelnde

Methodenentwicklung liegen in der vergleichsweise schlechten Zugriffsmöglichkeit zum einen auf das Organ selbst und zum anderen auf seine komplexe zentralvestibuläre Verschaltung im Hirnstamm und höher gelegenen Zentren.

Die vorliegende Arbeit widmet sich einem dieser diagnostischen Problemfelder. Vielleicht widmet sie sich sogar einer der umstrittensten Debatten, die in den letzten Jahrzehnten auf akademischem Feld der vestibulären Forschung geführt wurden: der Bedeutung der somatosensorischen Vestibularisafferenzen aus den Bewegungssegmenten der oberen Halswirbelsäule.

Nach Maßgabe unterschiedlicher Autoren ist das Leitsymptom Schwindel nie zervikogen bedingt [8]. Auch bei Kritikern ist heute nicht mehr die Existenz der zervikookulären Bahnen strittig, sondern vielmehr die Frage, ob die Prozessierung der zervikalsomatosensorischen Rezeptordysfunktion genauso wie eine peripher-vestibuläre Rezeptorstörung zu einer Bewegungsillusion führen kann oder nicht. Da die Halswirbelsäule eine dreidimensionale Schnittstelle zwischen Kopf und Rumpf darstellt, müsste solch eine Bewegungsillusion – wenn sie aufträte - am ehesten als Ausdruck einer gestörten Kopf-Körper-Koordination interpretiert werden.

Die vorliegende Habilitationsschrift konzentriert sich darauf, diagnostische Möglichkeiten einer gestörten Kopf-Körper-Koordination zu evaluieren, um dadurch einen größeren Einblick in dieses komplexe Geschehen in der Halsregion zu bekommen.

Gegenstand der funktionell zervikal-somatosensorischen Untersuchungsmethoden sind die zervikookulären Reflexbahnen und die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität.

1.1 Kopf-Rumpf-Koordination

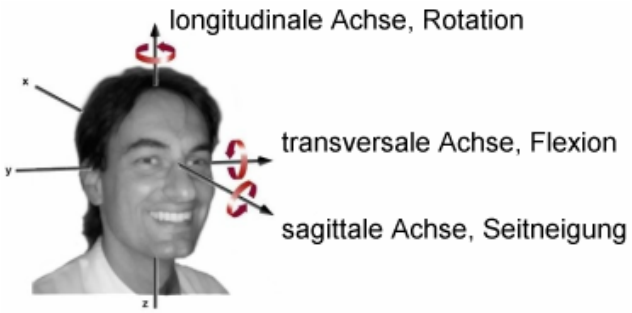
Die Gleichgewichtsregulierung hängt in unterschiedlichen Situationen des täglichen Lebens vom Zusammenspiel der unterschiedlichen Sensormeldungen ab.

Die bedeutendste Rolle im zentralvestibulären System spielt der Vestibularis-Kernkomplex [101]. Dieser fungiert zum einen als Integrator von vestibulären Informationen mit somatosensiblen, propriozeptiven sowie visookulomotorischen Afferenzen. Zum anderen stellt er eine Relaisfunktion für die vestibulären Bahnen in Richtung Kleinhirn, Hirnstamm und Rückenmark sowie zu den subcortikalen Kerngebieten von Thalamus und Stammganglien dar. Über deszendierende spinale Bahnen ist der Kernkomplex in die Regulation der Haltungsmotorik und Bewegungskontrolle eingebunden. Die Orientierung und kontrollierte Bewegung in einem dreidimensionalen Raum, welcher steten Veränderungen unterworfen ist, stellt also das Ergebnis einer komplexen Interaktion zwischen sensorischer, somatosensibler, propriozeptiver und motorischer Subsysteme dar. Diese unterliegen einer kontinuierlichen Kontrolle auf mehreren Ebenen des zentralen Nervensystems. So ist die Aufrechterhaltung der Körperstellung zum Großteil eine Leistung der extrapyramidal-motorisch, reflektorisch und zumeist unbewusst gesteuerten Stützmotorik [1, 48, 53].

Bei der Wahrnehmung der Eigenbewegung im Raum konnte beim Menschen gezeigt werden, dass vestibuläre und halspropriozeptive Afferenzen eng zusammenwirken [67].

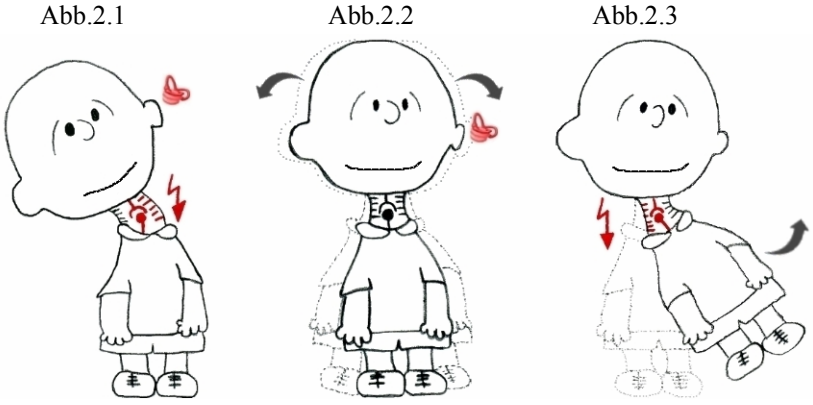
Abbildung 1 zeigt, dass jede Winkelbeziehung in drei räumliche Dimensionen eingeteilt werden:

Abbildung 1 Bewegungsachsen im Raum



Da der Kopf und der Rumpf über die Halswirbelsäule unabhängig voneinander und frei beweglich sind, muss sowohl für die Stand- als auch für die Bewegungskontrolle die Winkelbeziehungen zwischen Kopf und Rumpf für das zentralvestibuläre System erfassbar sein. Die schematische Vereinfachung in Abbildung 2 soll die drei grundsätzlich unterschiedlichen Konstellationen der Kopf-Rumpf-Koordination verdeutlichen:

Abbildung 2 Grundkonstellationen der Kopf-Rumpf-Koordination



Änderung der Kopfposition	Ja	Nein	Nein
Änderung der Rumpfposition	Nein	Nein	Ja
Drehpunkt	Hals	Füße	Hals

Die unterschiedlichen Anforderungskonstellationen für das sensorische System bilden sich wie folgt ab: Abbildung 2.2 zeigt, dass im aufrechten Stand der Kopf mit dem Rumpf bei unausgelenkter Halswirbelsäule lotgerecht miteinander verbunden ist. Die Standstabilität kann schwerpunktmäßig durch die hochspezialisierte intrakranielle Sensorleistung erbracht werden. Hingegen muss in der Abbildung 2.1 bei vorhandener Kopfauslenkung und lotrechtem Rumpf von einer Kombination intra- und extrakranieller Sensoranforderung ausgegangen werden. Eine bestmögliche Standkontrolle erfordert zusätzlich die Lagekenntnis der Rumpf-im-Raum-Position im dreidimensionalen Raum. Bleibt wie in Abbildung 2.3 die Kopf-im-Raum-Position unverändert und erfolgt nur eine Änderung der Rumpf-im-Raum-Position, muss diese Koordination schwerpunktmäßig von zervikalen Sensoren erfasst werden [28]. Die Halspropriozeption trägt dazu bei, dass die Lagebeziehung im Raum rekonstruiert werden kann. Jede Lagebeziehung „Rumpf-zu-Kopf“ setzt sich vektoriell aus den drei in Abbildung 1 aufgeführten räumlichen Dimensionen zusammen.

Eine weitere halspropriozeptive Funktion wird auch bei der Betrachtung zweier Grundsituationen der Auge-zu-Kopf-Koordination deutlich:

1. bewegte retinale Sehziele, die mehr als 30° exzentrisch liegen (von dem Punkt des schärfsten Sehens entfernt): in diesem Fall beginnt die Kopfbewegung, bevor die Sakkade das Sehziel eingefangen hat. Unter natürlichen Bedingungen übernimmt die Kopf-in-Raumposition nur zu ca. 50-70% der Wegstrecke auf das Sehziel zu, den Rest übernimmt die Auge-zu-Kopf-Position [110].
2. bewegte extraretinale Sehziele: die Erfassung erfolgt durch eine gemeinsame Strategie der Kopf-Augen-Koordination [9].

Aus den gemachten Feststellungen lassen sich folgende Überlegungen zusammenfassend formulieren:

1. Aufgrund des dreidimensional beweglichen Kopfgelenkes kann bei stationärem Kopf die Rumpf-im-Raum Lagebeziehung nur durch Halspropriozeptoren exakt erfasst werden [28].
2. Für die Steuerung der Blickfeldstabilisierung sind Informationen zur Kopf-Rumpf Lagebeziehung erforderlich.

1.1.1 Intrakranielle Sensoren

Die führende Rolle der beiden Ohrlabyrinthe in der Kopf-im-Raum-Wahrnehmung ist unbestritten. Die Bedeutung der Haltungsregulation für Rumpf-im-Raum ist bei einem akuten Funktionsausfall eines oder beider Ohrlabyrinthe durch eine massive Störung der Stützmotorik und Bewegungskontrolle abzuleiten.

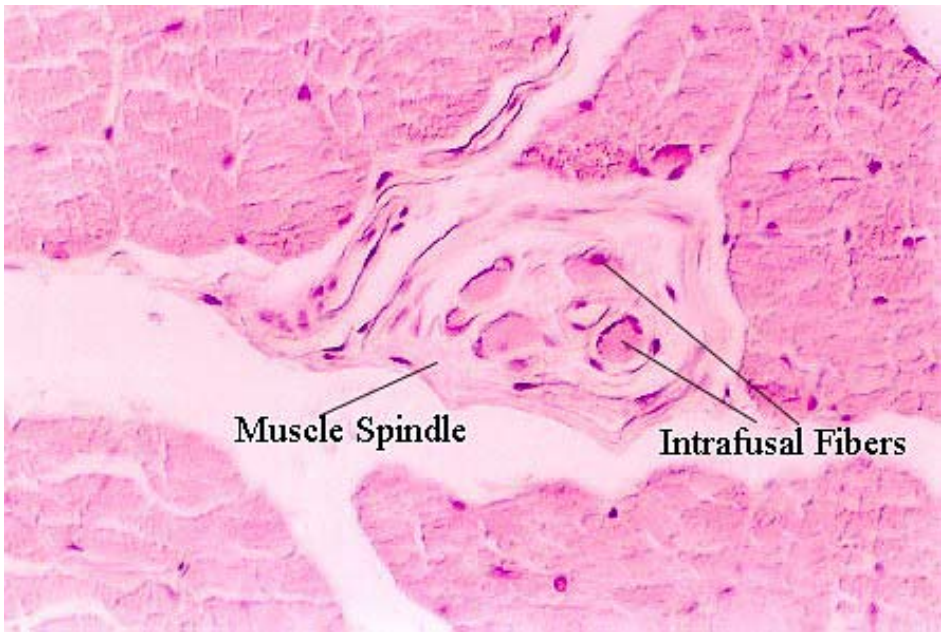
Die beiden in den stabilsten Knochen des Körpers eingegossenen Ohrlabyrinthe unterteilt man nach ihrer Funktion in drei Bogengänge und zwei Otolithenorgane. Die in den Bogengängen befindlichen drei Drehbeschleunigungssensoren (Crista ampularis) stehen jeweils in 90°-Winkeln zueinander und haben gemessen zur Horizontalen einen nach vorne offenen Winkel von 30°. Erst bei einer Kopfanteflexion von 30° (natürliches Gangbild) sind die rechtwinkligen Lagebeziehungen der drei Bogengänge auf die Horizontale ausgerichtet und entfalten so ihre optimale Arbeitsebene. Neben den Drehbeschleunigungssensoren wird die geradlinige Beschleunigung durch Sensoren der Otolithenorgane (Macula utriculi et sacculi) erfasst. Sie stehen ebenfalls im 90°-Winkel zu einander. Der Utriculus ist parallel zum horizontalen Bogengang angeordnet. Aufgrund des Trägheitsmomentes der Cupula, Macula und Endolymphflüssigkeit wird als adäquater Minimalreiz für die Drehbeschleunigungssensoren eine Winkelgeschwindigkeit von ca. 2°/sec [11, 70] und für die Linearsensoren eine durchschnittliche Schwelle der Beschleunigungs-wahrnehmung von 4.8 cm/s^2 angegeben [24].

Diese schon sehr präzisen Kopf-im-Raum Informationen werden durch das Horizontbild und die ophthalmologische Möglichkeit der Blickfixation mit einer weiteren Sensorinformation unterstützt. Nicht zuletzt stellt das Richtungshören ein zusätzliches sensorisches Hilfsmittel der räumlichen Orientierung dar, die mit den anderen Sensoreingängen zentralvestibulär verarbeitet werden.

1.1.2 Extrakranielle Sensoren

Seit mehr als siebzig Jahren geht die Neurophysiologie davon aus, dass tonische Stell- und Haltereflexe als Afferenzen aus dem Nacken an der Steuerung der Stützmotorik beteiligt sind [55]. Schätzungsweise besitzt der Mensch ca. 20 000 Propriozeptoren. Jedoch ist die Verteilung der Propriozeptoren pro Gramm Muskel im ganzen Körper verschieden [18, 21]. Die Muskelspindelafferenzen unterer zervikaler und thorakolumbaler Spinalnerven (Becken, Knie, Sprunggelenk) haben offenbar in weit geringerem Ausmaß Zugang zu spinovestibulären Bahnen [61, 78].

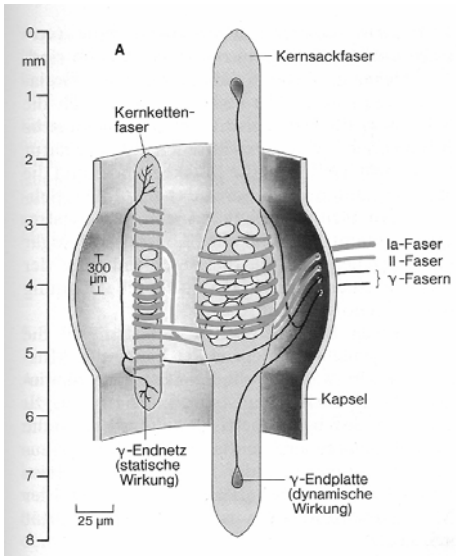
Abbildung 3 Histologisches Präparat einer Muskelspindel



aus [99]

Entsprechend ihrer Form werden die Propriozeptoren als Muskelspindeln bezeichnet (Abbildung 4). Eine Muskelspindel hat einen durchschnittlichen Durchmesser von 15-30 µm und eine durchschnittliche Länge von 4-7mm. Sie enthält so genannte intrafusale und extrafusale Muskelfasern. Die extrafusalen Muskelfasern entsprechen dem Anteil der gewöhnlichen Arbeitsfaser (Abbildung 3).

Abbildung 4 Kernsackfasern und Kernkettenfasern einer Muskelspindel



aus [93]

Die intrafusalen Fasern einer Muskelspindel enthalten drei zu unterscheidende Fasersubtypen. Es werden dynamische und statische Kernsackfasern von statischen Kernkettenfasern unterschieden. Die Muskelspindelinformationen werden von diesen Fasern über unterschiedliche Afferenzen an das zentrale Nervensystem (ZNS) weitergeleitet. Eine sensorische Typ-Ia-Faser (primäre Afferenz) stammt aus allen drei Fasertypen. Die Typ-Ia-Fasern sind dickkalibrig und haben einen Durchmesser von ca. 13 µm. Ihre Nervenleitgeschwindigkeit schwankt zwischen 70-120 m/sec. Eine sekundäre Typ-II-Faser stammt aus den statischen Fasern. Die sekundären Typ-II-Fasern sind mit ca. 9 µm etwas dünner und besitzen eine deutlich langsamere Nervenleitgeschwindigkeit (25-70 m/sec).

Durch Kollateralen sind die primären und sekundären Afferenz-Fasern in einen Reflexbogen durch zwei unterschiedliche γ-Motoneuron-Efferenzen eingebunden. Diese stellen die Sensibilität der intrafusalen Fasern ein. Die dynamische γ-Efferenzen stellt die der dynamischen Kernsackfasern**,** und die statischen γ-Efferenzen stellt die der statischen Kernsack und Kernkettenfasern ein [92, 113].

Zusammenfassend bedeutet diese, dass das ZNS über *statische* Muskellängenänderungen (z.B. bei einer gehaltenen Muskeldehnung) von Typ-Ia- und II-Fasern afferente Informationen erhält [22]. Neben der Information über die statische Muskellänge haben die statischen Afferenzen noch eine weitere Funktion: bei Aktivierung führen sie reflektorisch zu einer erhöhten Efferenz, die die Reaktivität der Fasern gleichzeitig erhöht. Dadurch hat das ZNS über die Efferenzen einen direkten Zugriff auf die Längensensoren [22].

Die *Geschwindigkeit* der Längenänderung hingegen wird von anderen Fasern übermittelt. Hier treten die dynamischen Typ-Ia-Fasern in Funktion.

Fragestellungen, die darauf zielen, herauszufinden, aus welchen Regionen die hauptverantwortlichen Propriozeptoren für die supraspinale Projektionen geniert werden, treffen auf widersprüchliche Aussagen.

Am Tiermodell kommen einige Arbeiten zu dem Schluss, dass sich die supraspinalrelevanten Propriozeptoren im Bereich der Gelenkkapsel befinden [52]. Mc Couch et al. fanden nach Durchtrennung der Sehnen- und Gelenkafferenzen der oberen Zervikalsegmente bei dezerebrieten und labyrinthektomierten Katzen einen Ausfall der tonischen Haltungsreflexe. Die anschließende Dissektion der tiefen Nackenmuskulatur ergab keine Änderung der Haltungsreflexe [65].

Hinweise auf eine dominierende Rolle der Nackenmuskelspindeln belegen andere Forschungsergebnisse. Zelenka [115] und Wilson [112] konnten zeigen, dass nach

Lokalanästhetikumapplikation neben den ersten drei Intervertebralgelenken weniger afferente Impulse aus dem Halsbereich zum Vestibulariskerngebiet erfolgen als zuvor. Die zervikale Reflexerfassung unter experimenteller Applikation von Succinylcholine in die Nackenmuskulatur unterstützt die signifikante Rolle der Muskelspindeln [10, 67]. Weitere Versuchsergebnisse untermauern die Hinweise auf direkte Verbindungen der Muskelafferenzen zum mittleren und unteren Vestibulariskern [46, 47, 83, 86, 87].

Bei der Interpretation dieser Befunde muss berücksichtigt werden, dass eine unkritische Schlussfolgerung nicht erfolgen darf, da von einer differenten Rezeptorverteilung zwischen den Spezies, insbesondere im Vergleich zur Katze, auszugehen ist [97, 107]. Diesbezügliche Untersuchungen im Bereich der menschlichen Kopfgelenke können nicht durchgeführt werden. Bankoul schlussfolgert aus seinen neuroanatomischen Untersuchungen, dass insbesondere die kurzen, gelenknahen Muskel- und Sehnenspindeln Ursprungsort der supraspinal relevanten Propriozeptoren sind [4].

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das zervikal-afferente Hauptrezeptorenfeld des Gleichgewichtssystems im Bereich der 3 oberen Zervikalnerven liegt [38]. Die in die Gleichgewichtsregulation supraspinal eingebundenen Halspropriozeptoren scheinen vorwiegend aus der suboccipitalen Muskulatur zu kommen. Es muss aber angenommen werden, dass zusätzliche somatosensorische Informationen der Gelenk- und Hautrezeptoren sowie der Sehnenorgane (Typ-Ib-Faser) generiert werden.

1.1.3 Biomechanische Einheit zwischen Kopf und Rumpf

Die gesunde Halswirbelsäulenfunktion soll „so beweglich wie möglich und so fest wie nötig“ sein [56]. Die Halswirbelsäule umfasst 7 Wirbelkörper. Als eigenständige Einheiten können unter funktionellen Gesichtspunkten die Kopfgelenke (Kondylen, Atlas, Axis) angesehen werden [113]. Einige Autoren zählen auch noch den Wirbelkörper C3 zu dieser funktionellen Einheit hinzu.

Die Bewegungsachsen der Kopf- und Halswirbelsäulengelenke ergeben eine Unterteilung in ein oberes und unteres Kopfgelenk. Die Hauptaufgabe des oberen Kopfgelenkes (zwischen Okziput und Atlas) ist die Ante- und Retroflexion des Kopfes, neben einer geringgradigen Lateralflexion. Das untere Kopfgelenk (zwischen Atlas und Axis) ermöglicht die Rotation. Flexion und Extension sind nur schwach ausgeprägt. Die Funktionsdaten werden in Tabelle 1 dargestellt:

Tabelle 1 Funktion der oberen und unteren Kopfgelenke [19]

Funktion des oberen Kopfgelenks -Co/C1	
Anteflexion	**20°**
Retroflexion	**10°**
Seitneigung	**5°**
Rotation	**0°**
Funktion des unteren Kopfgelenks -C1/C2	
Anteflexion	**0°**
Retroflexion	**0°**
Seitneigung	**0°**
Rotation	**35°**

Der Atlasquerfortsatz liegt im Spatium retromandibulare und kann direkt unter dem äußeren Gehörgang getastet werden. Die folgende Tabelle 2 zeigt 5 Muskeln, die am Atlasquerfortsatz ansetzen und histologisch eine hohe Dichte an Halspropriozeptoren haben:

Tabelle 2 Muskelansätze am Atlasquerfortsatz [19]

8 Muskelansätze am Atlasquerfortsatz	
5 kurze Muskel	**M. rectus capitis lateralis** **M. rectus capitis anterior** **M. obliquus capitis superior** **M. obliquus capitis inferior** **M. transversus**

Von klinischem Interesse sind die muskulären Lagebeziehungen im Bereich der oberen Kopfgelenke deswegen, da Tonusveränderungen dieser Muskeln beispielsweise zu funktionellen Auswirkungen der Kopfgelenksfunktion oder zur Schmerzprojektion in den Kopf-Halsbereich führen können.

1.2 Halspropriozeptiver Beitrag zur Kopf-Rumpf-Koordination

Wie das Kapitel 1.1.2 aufzeigt, haben Propriozeptoren zwei unterschiedliche Grundfunktionen der Rezeptorleistung. Da Propriozeptoren grundsätzlich eine statische und eine dynamische Messfunktion wahrnehmen, werden sie in Anlehnung an technische Messfühler auch als Proportional- und Differentialfühler (PD-Fühler) bezeichnet. Den primären Typ-Ia-Fasern wird eine dynamische (differentiale) Messfunktion zugeschrieben und ist somit für die supraspinale Erfassung der Relativbewegung zwischen Kopf und Rumpf prädisponiert [93].

Die sekundären Typ-II-Fasern werden der statischen Dehnungsinformation zugeordnet und kommen somit in ihrer statischen Messfunktion eher für die Gelenkpositionsbestimmung (kinästhetische Sensibilität) in Betracht [93].

1.2.1 Halspropriozeptiv - vestibulär

Supraspinale Projektionsgebiete von Halsmuskelafferenzen wurden in den letzten Jahren bei verschiedenen Spezies mit neuroanatomischen Methoden untersucht [3]. Als sehr sensitive Markierungsmethode neuronaler Strukturen hat sich die Meerrettichperoxidase erwiesen. Die spinalen primären Typ-Ia-Faser sowie die sekundären Typ-II-Faser teilen sich nach ihrem Eintritt ins Rückenmark T-förmig in eine kraniale und kaudale Projektionsrichtung. Zum einen konnte gezeigt werden, dass dickkalibrige zervikale Afferenzen ins Thorakalmark absteigen. Zum anderen erreichen sie über die spinovestibuläre Projektionsrichtung das Vestibulariskerngebiet direkt und auch indirekt über das Kleinhirn und die Formatio reticularis. Es sind gekreuzte und ungekreuzte Bahnen nachweisbar. Hervorzuheben ist, dass die direkte Vestibulariskernprojektion der propriozeptiven Halsmuskelafferenzen vornehmlich aus den oberen Halssegmenten C2-C4 stammen [2, 55].

Neuhuber untersuchte Zusammenhänge zwischen den spinovestibulären Bahnen mit den absteigenden vestibulospinalen Bahnen [77]. Ausgehend von den Hinweisen in der Ratte [3] und in der Katze [17] kann er zwei vestibulospinale Neuronengruppen unterscheiden. Die eine Population der vestibulospinalen Neuronen projiziert die Halsmuskelafferenzen in das Vorderhorn des gesamten Rückenmarkes, eine zweite Gruppe projiziert insbesondere zum Hinterhorn des Halsmarkes. Für diese neuroanatomischen Befunde prägt Neuhuber den Begriff der „zerviko-vestibulo-zervikalen Schleife“ [77]. Nach den Erkenntnissen von Mense [66] deckt sich das Hauptendigungsgebiet der vestibulospinalen Fasern im Hinterhorn mit dünnkalibrigen Afferenzen von Haut, Muskeln und Gelenken.

Abbildung 5 Supraspinale Projektionsbahnen der Halspropriozeptoren

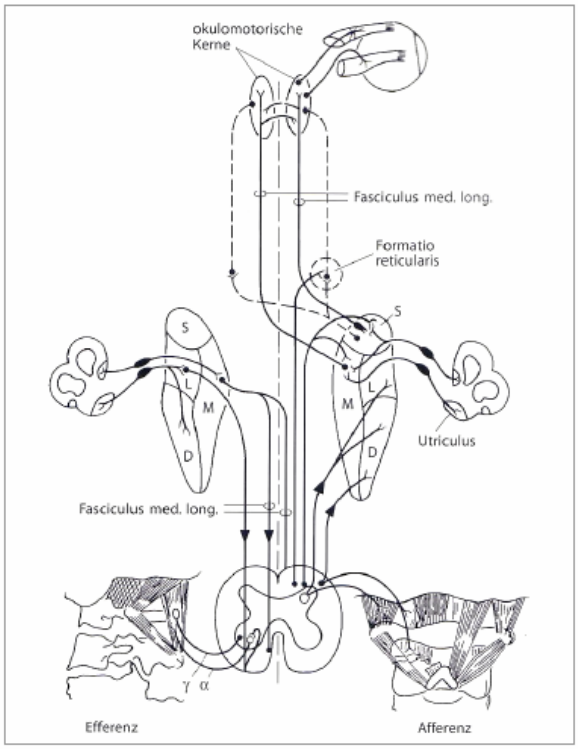


Abbildung 3.3:
Schema der Verk
„Rezeptorenfeld
dem Vestibularis
weiteren Steueru
S = Nucleus vest
M = Nucleus ves
D = Nucleus ves
L = Nucleus vest
(Aus: WOLFF (1

aus [113]

Im physiologischen Zusammenhang sieht Neuhuber die „zerviko-vestibulo-zervikale Schleife“ als ein GABA’erges Hemmsystem an, welches bei Bewegung mittels der dicken, schnellleitenden Typ-Ia-Halsmuskelafferenzen aktiviert, um die Weiterleitung langsamer, nicht propriozeptiver Störsignale (dünnkalibrige Muskelafferenzen III und IV), zu hemmen.

Zusammenfassend: Die dickkalibrigen Typ-Ia-Muskelafferenzen haben in ihrer tonischen sowie phasischen Messfunktion spinale und supraspinale Aufgaben:

1. spinaler motoneuraler Reflexapparat
2. Monosynaptische Verbindungen zum ipsilateralen Vestibulariskernkomplex
3. Gekreuzte und ungekreuzte polysynaptische spinovestibuläre Bahnen über das Kleinhirn und die Formatio reticularis zu den Vestibulariskernen

1.2.2 Halspropriozeptiv - vestibulookulär

Um während einer Bewegung orientiert und handlungsfähig zu bleiben, muss neben der Haltungsregulation ebenfalls das Bild auf der Netzhaut stabil bzw. scharf gehalten werden. Die Funktion der Blickfeldstabilisierung ist eng mit der Gleichgewichtsregulierung verbunden, nicht zuletzt ist der vestibuläre Apparat an dieser beteiligt. Die Auge-zu-Kopf-Lagebeziehung stellt eine zusätzliche Bezugsgröße beider Funktionen dar.

Nur bei adäquaten überschwelligen vestibulären Reizen werden die Augen auf der Grundlage von vestibulären Informationen mittels einer so genannten „langsamen Phase“ in die entgegengesetzte Kopfbewegungsrichtung (kompensatorisch) bewegt. Bei diesem so genannten vestibulookulären Reflex (VOR) stammt das Signal für die kompensatorische Gegenbewegung vom Gleichgewichtsorgan. Die Beschleunigungsmesswerte des Kopfes werden nach Umschaltung im Gleichgewichtskerngebiet an die Augenmuskelkerne weitergegeben. Der VOR ist für eine Blickfeldstabilisierung bei schnellen und sehr schnellen Kopfbewegungen bis zu 100°/s hoch sensitiv [100].

Anders der zervikookuläre Reflex (engl.: cervico-ocular reflex; COR): unter einem COR werden reflexartige Augenbewegungen verstanden, die während einer Relativbewegung zwischen Kopf und Rumpf entstehen. Wie beschrieben erhalten seine Reflexbahnen über die Relaisstation des Vestibulariskerngebietes, in welches zervikale propriozeptive Afferenzen über die dickkalibrigen Typ-Ia-Fasern direkten Eingang finden, eine sekundäre Verbindungen zum okulomotorischen Apparat [42, 105]. Eine *experimentelle* Bestimmung des COR kann nur unter Ausschluss eines vestibulären Reflexes erfolgen. Deshalb ist es erforderlich, die relative Rumpfbewegung unter einer fixierten Kopfposition durchzuführen. Diese konstruierte

Versuchsanordnung entspricht nicht den Bedingungen der alltäglichen Bewegung und ist somit als „unphysiologisch“ zu sehen. Der Vorteil ist, dass eine solche Rumpfrelativbewegung eine *selektive* Reizung der zervikalen Halsafferenzen bewirkt. Die Erfassung des COR bei Gesunden wie bei Patienten ist nicht einfach. Selbst im Tiermodell sind eindeutig interpretierbare, zervikal induzierte Augenbewegungen schwer ableitbar [20, 81]. Aufgrund dieser Problematik ist auch zu verstehen, dass die Bedeutung kontrovers diskutiert wird. Die Ansichten zu Richtung, Form, Ausmaß und Geschwindigkeitsverhalten sind unterschiedlich. Holtmann fand, dass sich das Ausmaß der zervikookulären Reaktion (langsame Phase der Nystagmusreaktion) bei labyrinthlosen Patienten in Abhängigkeit der Stuhl-Drehgeschwindigkeit sich anders verhält als bei Probanden. Nach seinen Untersuchungsergebnissen nimmt die Geschwindigkeit der langsamen Phase des COR bei einem Stimulus größer 0,08 Hz bei Probanden ab, im Gegensatz dazu nimmt sie bei labyrinthlosen Patienten weiter zu [36]. Daraus kann abgeleitet werden, dass, sobald synchrone Informationen aus dem vestibulären und halspropriozeptiven System vorliegen, zervikale Afferenzen im Gleichgewichtskerngebiet nicht mehr benötigt werden und zentralvestibulär unterdrückt (Tuning Kurve) werden [36]. Beachtet man den Arbeitsbereich vestibulärer Afferenzen (bis zu 100°/s), so ergänzt die Halspropriozeption die Übertragungseigenschaft des vestibulären Systems [36].

Bei einer Schlagfeldverlagerung beobachtet man eine Verlagerung der Augenachsen in Richtung der Kopfdrehung. Dies passiert immer dann, wenn die Amplituden der schnellen Phasen etwas größer sind als die der langsamen Phase.

1.3 Stand der Forschung diagnostischer Möglichkeiten

Hülse gliedert die unterschiedlichen Gründe für eine gestörte Kopf-Körper-Koordination in zwei mögliche Pathomechanismen, nämlich in die Beeinträchtigung der rezeptoriellen Leistungsfähigkeit und der Seitenasymmetrie des Rezeptorstromes [36]. Für die Beeinträchtigung der rezeptoriellen Leistungsfähigkeit wird ein funktionell eingeschränkter kraniozervikaler Übergang angenommen. Dieser sei „als Bewegungseinbuße im intraindividuellen Seitenvergleich biomechanisch“ zu definieren [41]. Autoren wie Hülse und Scherer schlussfolgern aus ihren Untersuchungsergebnissen, dass es im Rahmen eines funktionell eingeschränkten kraniozervikalen Übergangs zu schmerzhaften Fehlhaltungen mit seitenbetonten muskulären Spannungszuständen kommt und dies zu einer gesteigerten Afferenz zervikaler Rezeptoren führt [96]. Beschwerden und Befunde bestehen lokal, also segmental oder pseudoradikulär im Bereich der Muskelgruppen.

Allerdings dürfen funktionelle Befunde an der Halswirbelsäule nicht als diagnostisches Sammelbecken für unklare Diagnosen verwendet werden. Die zugrundeliegende Störung soll nur dann verantwortlich gemacht werden, wenn sie den primären und entscheidenden Faktor in der Pathogenese darstellt, voll reversibel ist und kein pathomorphologisches Substrat hat [56, 95].

Der nicht manualmedizinisch versierte Hals-Nasen-Ohren-Arzt kann sich an der Inspektion der Körperhaltung, der Beurteilung der Halswirbelsäulenbeweglichkeit und die Feststellung von Halsmuskelverspannung und Druckschmerz orientieren [89]. Diese nicht apparative Untersuchung wird bis heute als nicht ausreichend empfunden und wird vor allem im Einsatz gutachterlicher Bemühungen, insbesondere bei Beschleunigungsverletzungen der Halswirbelsäule, kritisch bewertet. Deshalb wurde mittels unterschiedlicher Untersuchungsansätze versucht,

pathologische manuelle Untersuchungsbefunde mit einer spezifischen Anamnese und einer apparativen Diagnostik zu korrelieren.

1.3.1 Phasische Untersuchungen des zervikookulären Reflexes (COR)

Der Einfluss des zervikalen propriozeptiven Systems auf das visuelle und vestibuläre System wurde unter anderem von Barlow et al. und Kobayashi et al. dargelegt [6, 51]. Es ist anzunehmen, dass die beschriebenen zerviko-okulären Bahnen einen Einfluss auf die komplexe Koordination von Augen- und Kopfbewegungen haben [7, 69]. Ein möglicher Untersuchungsansatz für die COR Untersuchung ist der sog. Halsdrehtest (HDT). Hierbei wird unter fixiertem Kopf der Rumpf rotiert und somit selektiv die halspropriozeptiven Afferenzen stimuliert.

Erstmals unter labormedizinischen Untersuchungsbedingungen untersuchte Holmann bei 30 Probanden bei einer konstanten Stuhl-Drehamplitude von 60° die Geschwindigkeit der langsamen Phase der zervikal induzierten Horizontalnystagmen in Abhängigkeit von der Stuhlgeschwindigkeit [36]. Unter phasischen Registrierbedingungen fand er ein Reaktionsmaximum bei einer Stuhlwinkel-geschwindigkeit von 5°/sec (= 0.08 Hz). Genau wie beim VOR ist die Richtung der langsamen Phase beim COR fast ausnahmslos kompensatorisch.

Deshalb wird der COR ebenso als ein Blickfeldstabilisationsreflex angesehen, dessen Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase durch adäquate halspropriozeptive Reizung hervorgerufen wird [50, 62, 72, 88]. Von einem „inversen Zervikalnystagmus“ kann in etwa 6% der Fälle ausgegangen werden [16, 43].

Weitere Arbeiten beschäftigen sich mit einem anderen Untersuchungsansatz. Sie evaluieren das reflektorische Zusammenwirken zwischen dem VOR und dem COR.

Godowski et al. untersuchten 2001 im Tiermodell die Wechselwirkung vom VOR und dem COR und schlussfolgern, dass sich die zerviko-okulären Reflexbahnen denen des VOR anlehnen. Diese Ergebnisse können Kelders et al. an 35 Probanden 2003 reproduzieren [49]. Darauf aufbauend berichtet diese Arbeitsgruppe im Jahr 2005 über eine Untersuchungsreihe mit Patienten, die eine Beschleunigungsverletzung der Halswirbelsäule erlitten haben und fanden im Gegensatz zur Kontrollgruppe einen signifikant abweichenden COR [50]. Im Jahr 2006 berichten Montfoort et al. über gleiche Ergebnisse [72].

Diese jüngeren Forschungsarbeiten stehen Ergebnissen von Holtmann entgegen, der im COR keine signifikanten Unterschiede zwischen Probanden und Patienten mit einem oberen Zervikalsyndrom unterscheiden konnte [37]. Dieser Widerspruch ist vorhanden und kann nur durch weitere Untersuchungsergebnisse unter phasischen Untersuchungsbedingungen in die eine oder andere Richtung untermauert werden.

Weil die Beurteilung des COR augenscheinlich apparativ aufwendig und somit nicht problemlos im klinischen Alltag als Untersuchungsaufbau anwendbar ist, sind einige Autoren dazu übergegangen, die zervikookulären Bahnen mit einem anderen methodischen Ansatz zu untersuchen.

1.3.2 Tonische Untersuchungen zervikookulärer Reflexbahnen

Als objektive Funktionsstörungen einer gestörten Kopf-Rumpf-Koordination bei funktioneller Kopfgelenksstörung ist über einen pathologischen Nystagmus im Halsdrehtest berichtet worden [39, 50, 90]. Ist ein COR während einer Rumpfdrehung auch bei Gesunden nachweisbar (phasischer Untersuchungsansatz), so wird angenommen, dass sich bei tonischer Rumpfseithaltephase über mehrere Sekunden

beim Gesunden kein Nystagmus finden lässt (tonischer Untersuchungsansatz). Hülse führt den Untersuchungsgang in einer Rumpfseithaltephase von 120 sec aus [38]. Die provozierten Augenbewegungen sollten in der Videonystagmographie (VNG) / Elektronystagmographie (ENG) untersucht werden, da „mehr als die Hälfte der Fälle“ nicht unter der Frenzelbrille sichtbar werden [89, 94].

Genau genommen sollte der Zielparameter dieser Untersuchungsmethode als „tonischer Zervikalnystagmus“ bezeichnet werden. Denn der Zielparameter im Rahmen tonischer Untersuchungsbedingungen darf nicht mit einer physiologischen Reflexantwort im Rahmen der COR Untersuchungsbedingung abgegrenzt werden.

Holtmann fand in seiner oben beschriebenen Arbeit unter diesen Untersuchungsbedingungen bei Gesunden dementsprechend auch nur in 5% der Fälle einen Nystagmus. Weitere Untersuchungsergebnisse an Gesunden fehlen.

Im Untersuchungsgang des eindimensionalen Halsdrehtestes (1D-HDT) wird der Rumpf unter dem fixierten Kopf durchrotiert und nur ein Horizontalnystagmus für die Bewertung der zervikookulären Bahnen herangezogen. Bisher wurden im 1D-HDT weder die dreidimensionalen Freiheitsgrade der Kopfgelenke noch die dreidimensionalen Nystagmusqualitäten abgebildet. Die Kopfgelenke wurden nur in einer von drei möglichen Bewegungsdimensionen und in einer von drei möglichen Nystagmusqualitäten auf ein Defizit hin geprüft.

Einige Autoren schlussfolgern aus ihren tonischen Untersuchungsergebnissen, dass nur so zervikal induzierte Nytagmen als pathognomonisches Zeichen für eine Störung im Bereich der oberen Halswirbelsäule zu betrachten seien [73, 84, 90].

Bei der Betrachtung des langjährigen Streites über den Zervikalnystagmus ist anzumerken, dass Befürworter der zervikalen Störungen den Zervikalnystagmus

unter physiologischen Bedingungen nicht anerkannt haben. Hier konnte Holmann mit seiner Arbeit die Untersuchungsvoraussetzungen für den COR gut dokumentieren. Andererseits sind die zweifelsfrei existenten „tonischen Zervikalnystagmen“ bisher von den Gegnern der halsbedingten Störbilder nicht hinreichend durch alternative Erklärungen interpretiert worden.

Dies mag dazu geführt haben, dass neuere Forschungsarbeiten sich der Untersuchung der zervikookulären Reflexbahnen abgewendet haben und sich dem existierenden sekundären Typ-II-Fasern der Propriozeptoren dem Untersuchungsfeld der kinästhetischen Sensibilität widmen.

1.3.3 Kraniozervikale kinästhetische Sensibilität

Allgemein versteht man unter kinästhetischer Sensibilität die (Eigen-) Wahrnehmung der Gelenk- wie auch der Körperstellung. Beispielsweise können wir die Winkelstellung eines gesunden Knie- oder Ellenbogengelenks ohne optische Kontrolle durch einen „Stellungssinn“ relativ exakt erfühlen. Die Funktion der kinästhetischen Sensibilität wird in unterschiedliche Qualitäten, nämlich den Stellungssinn (statisch), den Bewegungssinn (dynamisch) und den Kraftsinn eingeteilt.

Erst in den letzten Jahren haben Forschungsarbeiten diesen Aspekt der Körpereigenwahrnehmung aufgegriffen, um die halspropriozeptive Sensorfunktion zu beschreiben und zu messen. Damit wird die propriozeptive Funktion nicht nur im Rahmen der rein zervikovestibulären Funktion verstanden, sondern auch als zervikal-afferente Sensorinformation aus den Muskelspindeln, Sehnenorganen, Gelenk- und Hautsensoren, die zu den komplexen Wahrnehmungen der Körperstellung und –bewegung zwischen Kopf und Rumpf integriert werden [71].

Wie in Kapitel 1.1.2 beschrieben, umfasst die halspropriozeptive Funktion sowohl statische wie dynamische Bewegungen. Es ist zu unterscheiden, dass der adäquate Reiz für die Typ-Ia-Faser (Proportionalfühler) aus Geschwindigkeit besteht. Eine statische Kopf-zu-Rumpf-Wahrnehmung kann mit dieser Rezeptorfunktion nicht erfasst werden. Den Typ-II-Fasern werden aufgrund der sehr langsamen Nervenleitgeschwindigkeit eine statische Informationsfunktion zugesagt, die für die statische Relativwinkelerfassung erforderlich ist [93]. Die Arbeit von Hirai et al. konnte an der Katze zeigen, dass der Afferenzinput sowohl der Typ Ia-Fasern als auch der Typ II-Fasern über den Nucl. cervicalis centralis erfolgt [35] Die muskuläre Bedeutung der kinästhetischen Sensibilität ist gut belegt. Beispielsweise bei totalem Hüftersatz besteht im operierten Hüftgelenk nur ein geringer Verlust des Positionsempfindens [25].

Auf die Halswirbelsäule übertragen bedeutet dies, dass die statische Gelenkposition ebenso von entscheidender Bedeutung für die Kopf-Rumpf-Koordination ist. Aufgrund der statischen Komplexität der Kopf-Rumpf Beziehung wird diese allerdings weniger als Gelenkposition wahrgenommen als vielmehr als „Eigenwahrnehmung der Körperhaltung“.

Für die Beurteilung der Kopf-Körper-Koordination wurde der Begriff der „kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität“ geprägt. Dieser Begriff beschreibt die Kopf-zu-Rumpf-Position, also nicht den Relativwinkel eines einzelnen Gelenkes, sondern beschreibt über mehrere Bewegungssegmente hinweg die komplexe Körpereigenwahrnehmung im Raum.

In unterschiedlichen Arbeiten konnte gezeigt werden, dass das langsame Ausrichten des Kopfes überwiegend durch propriozeptive Mechanismen erfolgt [64, 102].

Revel et al. führten 1991 einen Test ein, um den Stellungssinn, die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität als Leistung des zervikal-propriozeptiven Systems direkt zu messen [85]. Dabei wird die Fähigkeit des Probanden untersucht, den Kopf nach einer Bewegung aus der Referenzposition heraus wieder in diese zurückzuführen. Für diesen Untersuchungsgang wurde der Begriff „Re-positioning“ geprägt. Mit diesem Untersuchungsverfahren konnten weitere Autoren zeigen, dass die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität von Informationen aus den Muskel- und Gelenkrezeptoren des zervikal-propriozeptiven Systems abhängt und bei Patienten Beschleunigungsverletzungen der Halswirbelsäule pathologisch gestört sind [29, 30, 57].

1.4 Ableitung der Arbeitshypothesen

Das zentralvestibuläre System bedarf für eine Orientierung im Raum neben den vestibulären Rezeptorinformationen noch den zugehörigen Relativwinkel zwischen Kopf und Rumpf. Diese Informationen gelangen über die Halspropriozeptoren in das Vestibulariskerngebiet. Von vestibulären Rezeptorstörungen wissen wir, dass Sinneswahrnehmungen für Patienten entstehen können, die als eine „Scheinbewegung“ zu verstehen sind. Ob beklagte Schwindelbeschwerden auf eine Störung der Halspropriozeption zurückzuführen sind, wurde bisher vorwiegend mittels eines „Halsdrehtestes“ (HDT) untersucht. Der herkömmliche, eindimensionale HDT (1D-HDT) erfasst lediglich eine Bewegungsdimension des Halses (Rumpfrotation) sowie nur eine Dimension der Nystagmusrichtung (Horizontalnystagmus). Der 1D-HDT bildet weder die dreidimensionalen Freiheitsgrade der Kopfgelenke im Alltagsgebrauch noch die dreidimensionalen Nystagmusqualitäten ab. Um die diagnostische Aussagekraft der teils

unbefriedigenden 1D-HDT Ergebnisse zu verbessern, werden folgende Hypothesen formuliert:

1. Ein erster Vorversuch soll bei Probanden untersuchen, ob während tonischen, rein zervikalen Provokationsbedingungen Nystagmen unterschiedlicher Dimensionen gefunden werden können.
2. In einem zweiten Vorversuch soll an Probanden untersucht werden, ob eine rein zervikale Provokation eine Veränderung im 3D-HDT im Vergleich zur vorherigen Leermessung (Prä-post Vergleich) nachzuweisen ist.
3. Bei dreidimensionalen Untersuchungsbedingungen (Flexion, Rotation, Seitneigung) werden Zusammenhänge zu mehrdimensionalen Messparametern (horizontaler, vertikaler und torsionaler Nystagmus) erwartet (dreidimensionaler Halsdrehtest).
4. Der dreidimensionale Halsdrehtest (3D-HDT) soll in einer dreiarmigen, prospektiven Studie zervikaldefizitärer Patienten von Gesunden und vestibulärdefizitären Patienten abgrenzen.
5. In dieser Untersuchungsreihe soll der 3D-HDT gegenüber der eindimensionalen Testung im 1D-HDT eine bessere Gruppenunterscheidung bringen.

Beim Menschen beschreibt die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität die Wahrnehmung der Eigenbewegung im Raum. In diese Wahrnehmung werden ebenfalls die Halspropriozeptoren eingebunden und in dem sogenannten „Re-positioning-Test“ untersucht. Allerdings sieht dieser Test immer eine aktive Zurückführung der Kopf-im-Raum-Position vor, die eine Mitreizung der vestibulären Sensoren bedingt. Um vestibulär bedingte Fehlerquellen zu vermeiden, werden zwei

grundlegend neue Versuchsaufbauten zur Erfassung der kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität vorgestellt.

6. Die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität soll bei fixierter Kopfposition nur durch Änderung der Rumpfposition untersucht werden.

Durch Erfassung der kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität in einer zweiten, gleichen dreiarmigen Studie sollen zervikaldefizitäre Patienten von Gesunden und vestibulärdefizitären Patienten abgrenzbar sein durch den:

7. „Subjektiven Nulldurchgang der Kopfgelenke“
8. „Augenrückstelltest nach Rumpfdrehung“

2 Allgemeine Methode und Patienten

In dem nachfolgenden Kapitel wird der theoretische Hintergrund von den unterschiedlichen Untersuchungsbedingungen erörtert und ihre zugehörigen Zielparameter dargestellt. Die Ein- und Ausschlusskriterien der jeweiligen Patientenkollektive werden erläutert.

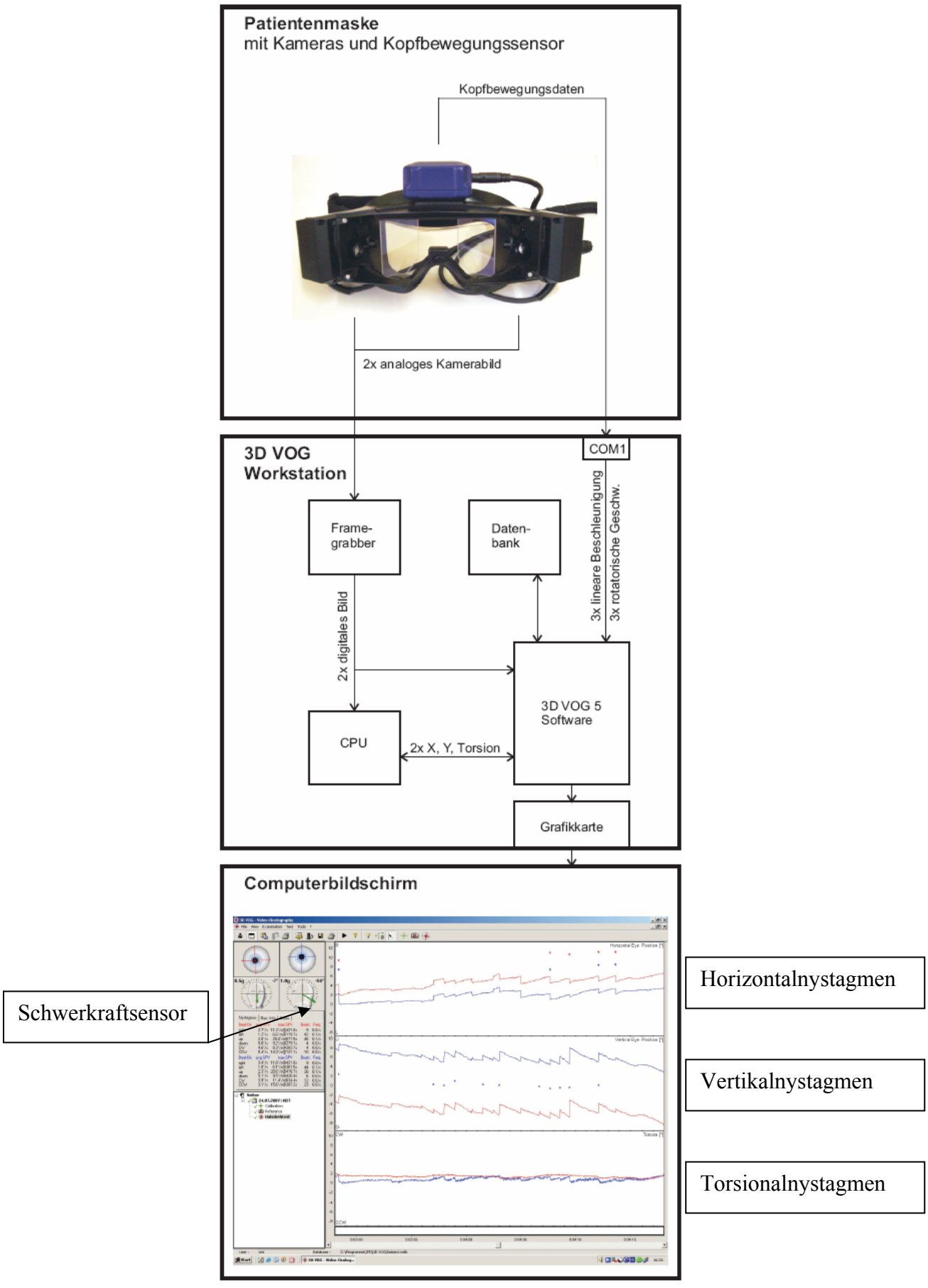
2.1 Messinstrument: Die dreidimensionale Videookulographie

Die Erfassung von Augenbewegungen stellt ein Hauptmerkmal der vestibulären Diagnostik dar. In vergangener Zeit war die Elektronystagmographie (ENG) der Goldstandard der Augenbewegungserfassung [12, 13]. Seit den ersten Ansätzen, Augenbewegungen mit Hilfe der Videotechnik zu messen, hat sich die so genannte Videookulographie (VOG) kontinuierlich mit dem technologischen Fortschritt auf dem Gebiet der Bildverarbeitung entwickelt. Somit bringt die VOG nicht einfach technische Verbesserungen zur ENG, sondern benutzt eine ganz andere technische Grundlage, die überwiegend Vorteile, aber auch einige wenige Nachteile bringt (Kapitel 2.1.2).
Als Untersuchungsinstrument verwendeten wir ein dreidimensionales videookulographisches System (3D-VOG) der Firma SMI.

Bei der dreidimensionalen Videookulographie (3D-VOG) wird die Messung dreidimensionaler Augenbewegungen (horizontal, vertikal und torsional) mittels eines Videoverfahrens aufgezeichnet. In dem von uns verwendeten System arbeiten die Bildsensoren mit einer Abtastrate von 50 Hz. Damit lassen sich die langsamen augenbewegungen sehr gut, die Sakkaden nur mäßig gut darstellen. Die Erkennung eines Nystagmus ist damit aber möglich. In der Abbildung 5 ist der Versuchsaufbau der von uns verwendeten 3D-VOG abgebildet. Für eine biokuläre Untersuchungssituation werden zwei Videokameras verwendet, die jeweils über

einen halbdurchlässigen Spiegel das Auge aufnehmen können. Die analogen Bilddaten gelangen dann über den Videokanaleingang zum so genannten „Framegrabber“. Dieser ist für die Digitalisierung des Bildmaterials verantwortlich. Der Framegrabber hat einen Zweikanalaufbau, so dass die Kameradaten jedes einzelnen Auges getrennt von einander bearbeitet werden können. Die digitalisierten Daten gehen an Prozessor des Rechners (CPU), der eine zweistufige Bearbeitung vornimmt. In der ersten Stufe erfolgen die Pupillenerkennung und die Erfassung der Translationswerte (vertikal und horizontal). Für die Pupillenerkennung wird mit einem so genannten Schwellenwertverfahren gearbeitet. Das heißt, dass Helligkeitswerte von Graustufen definiert werden, unter deren Schwelle von einer schwarzen Pupille ausgegangen werden kann. Die Mittelwerte niedrigster Helligkeitswerte in horizontaler und vertikaler Richtung definieren den Pupillenmittelpunkt. Damit kann der Pupillenmittelpunkt in horizontaler und vertikaler Richtung optisch verfolgt werden. Für die Erfassung torsionaler Augenbewegung ist eine zweite Stufe der Datenbearbeitung erforderlich. Dabei werden entlang eines Kreises in der Iris um den Pupillenmittelpunkt unterschiedliche Helligkeitswerte der Iris eingespeichert (Irisspeicher). Pro Einzelbild werden ca. 20 Bilder aus dem Iriskreis definiert. Torsionale Bewegungen der Irismarkierungen können durch eine Kreuzkorrelation erkannt werden. Die Rohdaten der Augenbewegung werden softwaremäßig weiter bearbeitet und auf dem Bildschirm dargestellt. Die räumliche Auflösung für horizontale und vertikale Augenbewegungen beträgt 0,05° und für die torsionale 0,1°. Der Bildschirm ist in drei Datenfenster unterteilt. Das Hauptfenster gibt aufgrund der entsprechend kurzen Latenzzeit der Augenkoordinatenermittlung (2,5msec) die dreidimensionalen Augenbewegungen in Echtzeit wieder (Virtual-Reality).

Abbildung 6 Versuchsaufbau der dreidimensionalen Videookulographie (3D-VOG)



In zwei kleineren Nebenfenstern wird die Richtung des im Augenbilck auf den Kopf einwirkenden Schwerkraftvektors angezeigt. In weiteren Datenfenstern sieht man das Infrarotkamerabild der Augen.

Der Körperbewegungssensor ist auf der Brillenmitte montiert und ein eigenständiges Meßsystem. Er erfasst Torsions- sowie Translationsbewegungen (horizontal, vertikal). Die räumliche Auflösung beträgt für der Torsion ca. 1 °/s und für die Translation ca. 0,05 m/s². Der Messbereich umfasst für die Torsion ± 900 °/s und für die Translation ± 20 m/s². Auf der Bildschirmoberfläche wird fortlaufend der Winkel zur Schwerkraftrichtung graphisch aufgezeigt.

2.1.1 Durchführung der Videookulographie

Das Meßsystem muss geeicht werden. Hierbei wird nur der untere Irisbogen gescant, um Artefakte bedingt durch nachlassende Augenöffnung - insbesondere bei hängenden Augenlidern - während der Untersuchung zu verringern. Abbildung 7 zeigt die Durchführung des so genannten Irisscans. Dabei wird für eine definierte, an einem Eichkreuz erfasste Augenbewegung ein Zeigerausschlag am Monitor gemessen. Dazu sitzt der Patient in einem definierten Abstand von dem Eichkreuz entfernt und blickt in einer vorgegebenen Reihenfolge auf 9 definierte Punkte. Die für die Eichung zu registrierenden Augenbewegungen erfolgen in definierten Ausschlägen in horizontaler und vertikaler Richtung. Die Abbildung 8 zeigt die graphische Darstellung des Eichvorgangs.

Abbildung 7 Durchführung des Irisscans

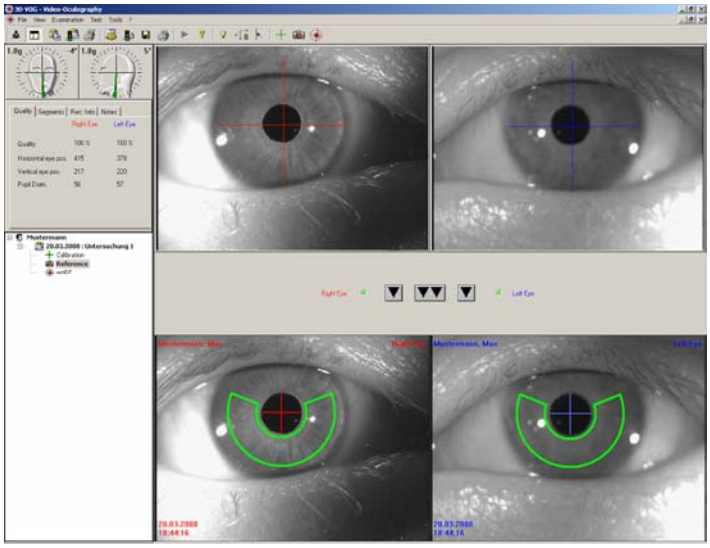
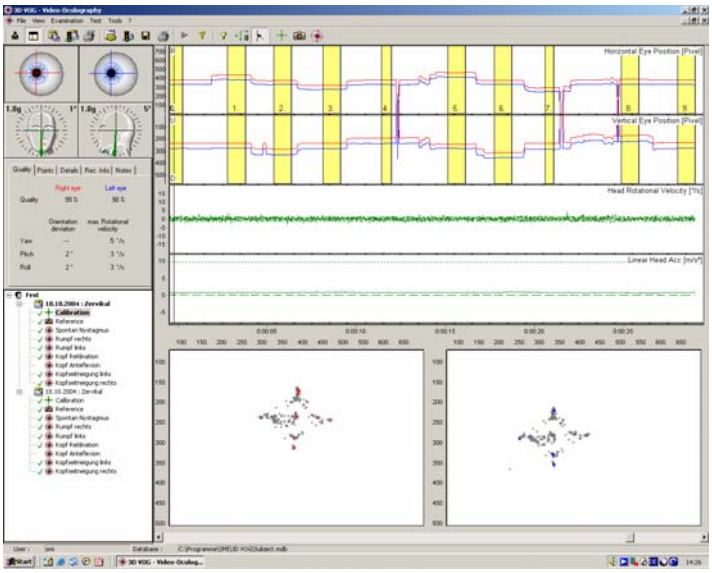


Abbildung 8 Eichvorgang der 3D-VOG



Legende: die gelb markierten Balken stellen die Eichwinkel der 9 Punkte auf dem Eichkreuz dar.

Nun kann die Messung beginnen. Um eine Fixation auszuschließen, erfolgt die Untersuchung in Dunkelheit. Die Patientenaugen werden mit unsichtbaren Infrarotdioden illuminiert. So können die Augenbewegungen während der Messung auch für den Untersucher zugänglich gemacht werden und es kann schon während der Aufzeichnung die Qualität der Messung eingeschätzt werden.

Aufgrund der variablen und zugleich schwachen Ausprägung der zervikalen Nystagmusreaktion erfolgt die Auswertung unserer Untersuchung nicht automatisch, sondern erfolgt manuell und ist in Kapitel 2.2.2 beschrieben.

2.1.2 Vor- und Nachteile der Videookulographie

Die VOG kombiniert die Vorteile der Frenzelbrille und die einer objektiven Bestimmung der Augenbewegungen. Augenbewegungen sind damit in drei Dimensionen (horizontal, vertikal und torsional) online und digital dokumentierbar. Aufgrund der Lichtundurchlässigkeit der Untersuchungsbrille ist eine Untersuchung auch in hellen Räumen möglich.

Diese Messmethode hat auch Nachteile. In einigen Fällen treten Schwierigkeiten bei der Iriserfassung auf, insbesondere wenn von weiblichen Probanden schwarze Wimperntusche verwendet wurde. Meist kann durch Entfernung der Wimperntusche dieser Mangel behoben werden. Es ist peinlich auf ein sauberes optisches System der Videokamera und des Spiegels zu achten, da sonst Artefakte auftreten.

2.2 Der dreidimensionale Halsdrehtest

Betrachtet man den kraniozervikalen Übergang, so fällt dem Untersucher ins Auge, dass die Freiheitsgrade der Halswirbelsäule eine dreidimensionale Kopf-Rumpf Bewegung zulassen. In der Vergangenheit beschränkte sich sowohl die Untersuchung als auch die Messung weitgehend auf die horizontale Dimension. Um die okulären Wechselwirkungen der unterschiedlichen Kopf-Raum Komponenten zu untersuchen, streben wir eine dreidimensionale Matrix an, die wir unter dem Begriff „dreidimensionaler Halsdrehtest“ (3D-HDT) zusammengefasst haben.

2.2.1 Der Untersuchungsgang des dreidimensionalen Halsdrehtestes

Der dreidimensionale Halsdrehtest (3D-HDT) sieht vor, dass alle möglichen Freiheitsgrade der Kopfgelenke standardisiert geprüft werden sollen. Hierzu gehören die in Abbildung 9 dargestellten paarigen Provokationen der suboccipitalen Muskulatur:

Abbildung 9 Untersuchungsgang des dreidimensionalen Halsdrehtest

Kopfseitneigung	Kopfflexion	Rumpfrotation

Definierte Normen des Untersuchungswinkels können nicht erstellt werden, da bei Patienten die Einschränkung der Freiheitsgrade ein Symptom der Störung darstellt. Stattdessen wird die Kopfbewegung des Patienten bis an die individuelle Grenze des Bewegungssegmentes herangeführt. Der oben beschriebene Schwerkraftsensor erfasst die Endpositionen. Im Rahmen dieser so definierten Untersuchungshaltung werden Parameter zur Auswertung untersucht. Der Wechsel von einer Kopfhaltung zur anderen erzeugt natürlich eine *phasische* Nystagmusreaktion, die wir als physiologische Reaktion (COR) kennen. Sie fließt nicht in die Auswertung mit ein. Innerhalb von wenigen Sekunden nach Einnahme der neuen Position muss sie aber abgeklungen sein. Dann erst in der *tonischen* Phase nach eingenommener Provokationsstellung wird in einer Periode von ca. 30 Sekunden ein

1. Horizontalnystagmus
2. Vertikalnystagmus
3. Rotationsnystagmus

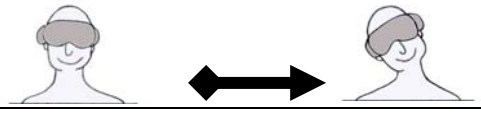
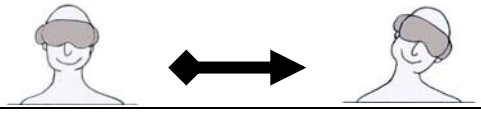
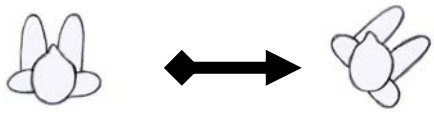
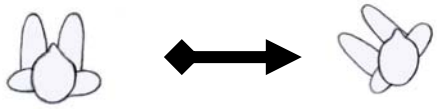
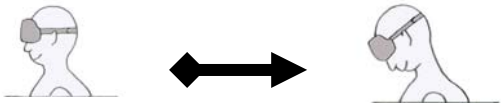
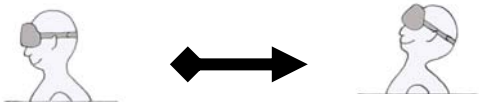
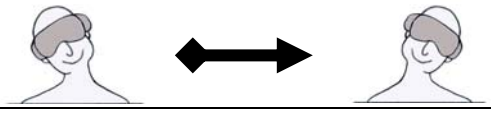
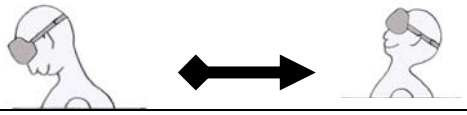
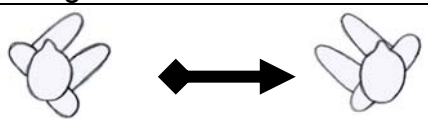
abgeleitet. Dabei sind die Nystagmusparameter von entscheidender Bedeutung.

Nach Kenntnisstand der Autoren ist dies die erste Untersuchung der zervikookulären Bahnen, die systematisch in allen drei Nystagmusdimensionen und in allen Freiheitsgraden der Kopfgelenke durchgeführt wird.

2.2.2 Das Auswertungsverfahren für den dreidimensionalen Halsdrehtest

Zervikale Nystagmusreaktionen sind in ihrer Erscheinungsform grundsätzlich sehr wechselnd, zum Teil nur sehr schwach und variieren sogar innerhalb einer Aufzeichnung. Deshalb bedarf es bei der Auswertung auch besonderer Berücksichtigung und Interpretation. In der manuellen Auswertung wurden Nystagmussequenzen von mindestens 5 aufeinander folgenden Schlägen auf einer Amplitudenskalierung von +/- 10 Grad identifiziert und erfasst. Es muss sichergestellt sein, dass selbst kleinste Amplituden ausgewertet werden können. Deshalb haben wir drei Nystagmusamplitudenkategorien definiert. In der Kategorie I wurden Nystagmusantworten zusammengefasst, die als Nystagmen „*gerade noch*“ erkennbar waren. Unter Kategorie II wurden alle gut erkennbaren Nystagmen subsumiert, die eine Amplitude von kleiner oder gleich 3 Grad hatten. Größere Amplituden wurden in Kategorie III zusammengefasst. Nicht erkennbare Nystagmusantworten wurden mit 0 Punkten bewertet.

Tabelle 3 Schema der Punktebewertung im dreidimensionalen Halsdrehtest

I	Spontanaktivität	Punktescore
		0-3 Punkte
II	Nystagmusdifferenzen zur Spontanaktivität	
	Spontanaktivität minus Kopf rechts	
		0-3 Punkte
	Spontanaktivität minus Kopf links	
		0-3 Punkte
	Spontanaktivität minus Rumpf rechts	
		0-3 Punkte
	Spontanaktivität minus Rumpf links	
		0-3 Punkte
	Spontanaktivität minus Kopfanteflexion	
		0-3 Punkte
	Spontanaktivität minus Kopfretroflexion	
		0-3 Punkte
III	Nystagmusdifferenzen im paarigen Vergleich	
	Kopfseitneigung	
		0-3 Punkte
	Kopfante- und retroflexion	
		0-3 Punkte
	Rumpfdrehung	
		0-3 Punkte
	Gesamtpunktescore	0-30 Punkte

Wie Tabelle 3 wiedergibt, erfolgte eine Punktebewertung für:

1. die spontane Nystagmusaktiviät
2. für jede Nystagmusänderung in der jeweiligen Kopfposition
3. für jede Nystagmusänderung innerhalb einer paarigen Provokation

Hieraus kann theoretisch ein Subscore von 30 Punkten pro Nystagmusdimension erreicht werden. Bei drei ableitbaren Nystagmusdimensionen sind folglich 90 Punkte als Gesamtscore festgelegt. Durch dieses Auswertungssystem können neben dem genannten Subscore je nach Fragestellung beliebig viele Subscores für andere Dimensionen, wie beispielsweise einer einzelnen Kopf-Rumpfposition, erstellt werden. Diese Möglichkeit ist für die statistische Analyse von nicht unerheblicher Bedeutung.

Da der 3D-HDT auch hinsichtlich seiner Sensitivität und Spezifität evaluiert werden soll, muss ein Messergebnis definiert werden, welches ein positives bzw. negatives Testereignis ausweist. Gemäß dem bekannten Vorgehen beim 1D-HDT soll auch der 3D-HDT als pathologisch eingestuft werden, wenn ein Patient in nur einer Kopfposition im Vergleich zur Baseline oder im Pärchenwechsel eine angestiegene Nystagmusreaktion aufweist. Da die 3D-VOG ein sehr sensibles Messverfahren darstellt, muss sowohl im 3D-HDT als auch im 1D-HDT ein Anstieg um mindestes 2 Nystagmuspunkte nachweisbar sein, damit er als pathologisch gewertet werden kann.

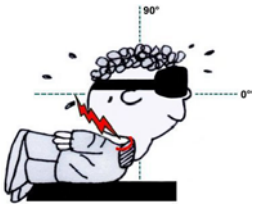
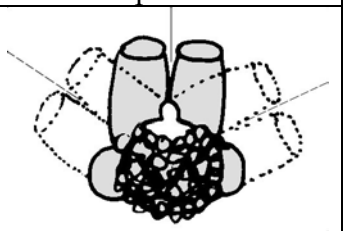
2.2.3 Erster Vorversuch zum dreidimensionalen Halsdrehtest

Um den dreidimensionalen Halsdrehtest (3D-HDT) in seiner diagnostischen Aussagekraft besser einschätzen zu können haben wir zur Klärung von grundsätzlichen Aussagen zwei Vorversuche durchgeführt.

Ziel des ersten Vorversuchs war es zu untersuchen, ob während einer Provokation der Halspropriozeption eine tonische Nystagmusreaktion über die zervikookulären Bahnen bei Probanden nachzuweisen ist. Diese Untersuchungsergebnisse sollen Aufschluss geben, ob eine Änderung der tonischen Kopf-Rumpf-Position einen Nystagmus auslöst und damit der 3D-HDT als Untersuchungsinstrument überhaupt denkbar ist.

Abbildung 10 zeigt den Untersuchungsgang. Zunächst wurde der Proband auf einer Liege in eine aufrechte Sitzposition gebracht. In dieser Position wurden Augenbewegungen für 60 Sekunden in horizontaler, vertikaler und torsionaler Richtung mittels der 3D-VOG aufgezeichnet (Baseline).

Abbildung 10 Messablauf zervikaler Provokationen bei stationärem Kopf

Spontan	Rumpfanteflexion	Rumpfretroflexion	Rumpfrotation
			

Anschließend erfolgte eine 3D-VOG Messung in randomisierter Reihenfolge während der folgenden Provokationshaltungen für den Probanden bei horizontaler Kopfposition:

1. maximale Rumpfretroflexion
2. maximale Rumpfanteflexion
3. maximale Rumpfrotation beidseits

Mittels montierter Lagesensoren an der 3D-VOG Brille wurde kontrolliert und registriert, ob während der Messabfolge nur die Kopf-zu-Rumpf Beziehung, aber nicht die Raumlage des Kopfes geändert wurde. Die Auswertung der Nystagmusaktivität wird in Kapitel 2.2.2 beschrieben.

In der vorgelegten Untersuchung soll evaluiert werden, bei wie vielen Probanden ein Nystagmus während der eingenommenen Provokationshaltung auftritt. Weiter interessiert zum einen, ob ein Zusammenhang zwischen der drei Provokationsformen (zervikale Retroflexion in Bauchlage, zervikale Anteflexion in Rückenlage, zervikale Rotation durch Rumpfdrehung beidseits) und den drei Nystagmusdimensionen (horizontal, vertikal und torsional) besteht.

2.2.4 Zweiter Vorversuch zum dreidimensionalen Halsdrehtest

Der zweite Vorversuch geht der Frage nach, ob nach einer zervikalen Provokation Veränderungen in dem dreidimensionalen Halsdrehtest (3D-HDT) zu evaluieren sind. In einem Prä-post Vergleich soll untersucht werden, bei wie vielen Probanden nach eingenommenen Provokationshaltungen (zervikale Retroflexion in Bauchlage, zervikale Anteflexion in Rückenlage, zervikale Rotation durch Rumpfdrehung beidseits) der 3D-HDT ansteigt (Prä-post Vergleich). Weiter interessiert, ob ein Zusammenhang zwischen der drei Provokationsformen und den drei Nystagmusdimensionen (horizontal, vertikal und torsional) im 3D-HDT besteht.

2.2.5 Der dreidimensionale Halsdrehtest im Gruppenvergleich

Für den klinischen Einsatz des dreidimensionalen Halsdrehtest (3D-HDT) ist es von Interesse die 3D-HDT Messergebnisse an unterschiedlichen Untersuchungsgruppen

kennen zu lernen. Insbesondere Daten von Gesunden zu erhalten und Messbereiche unterschiedlicher Gruppen zu evaluieren könnten im Klinischen Einsatz dienlich sein. Deshalb haben wir Ergebnisse von Gesunden (Kontrollgruppe) mit denen einer einseitig peripher vestibulär defizitären Gruppe und einer Patientengruppe mit manualmedizinisch festgestelltem zervikalen Defizit verglichen. Die Patientengruppen wurden nach Alter und Geschlecht mit Probanden der Kontrollgruppe gematcht.

2.3 Die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität

Wird bei der Testung der zerviko-vestibulo-okulären Bahnen nach einem Nystagmus als Messparameter gesucht, so soll die halspropriozeptive Leistung im eigentlichen Sinne der kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität (KKS) mittels der Eigenwahrnehmung des Körpers erfasst werden. Wie in Kapitel 1.3.3 erklärt, wurde sie bisher im so genannten Re-positioning Test untersucht. Dabei bringt der Patient den Kopf aktiv wieder in die Ausgangsposition zurück. Es ist methodisch anzumerken, dass dabei das vestibuläre System mitgereizt wird. Es entsteht also ein vestibulärer Nystagmus, der die Untersuchung stört. Um dies zu vermeiden stellen wir erstmals zwei grundlegend neue Untersuchungsmethoden zur kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität vor, die bei konstanter Kopf-in-Raum-Position nur eine Rumpf-im-Raumänderung vornimmt.

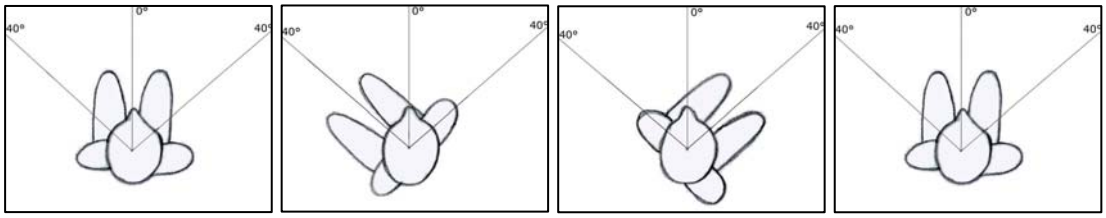
Als dynamische Testung stellen wir den „Subjektiven Nulldurchgang der Kopfgelenke“ vor und als statische Testung den „Augenrückstelltest nach Rumpfdrehung“.

2.3.1 „Subjektiver Nulldurchgang der Kopfgelenke“

Zur Testung des propriozeptiven Systems der oberen HWS wurden die Probanden unter Ausschluss der visuellen Orientierung auf einem Drehstuhl platziert. Die Untersucherhand fixierte die Kopfposition des Patienten und so war es möglich, Drehbewegungen des Rumpfes durchzuführen, wobei ein Gradmesser kontinuierlich die Auslenkung des Drehstuhls von der Nullposition anzeigte (Abbildung 11 a+b). Als Nullposition wurde die gedachte Linie zwischen Kinn und Knie beim Sitzenden definiert (Abbildung 12).

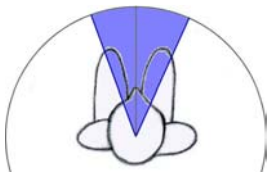
Abbildung 11 a+b, Drehstuhl mit Vorrichtung zur Erfassung der Gradzahl in der Abweichung von 0°

Abbildung 12 Versuchsablauf für die Erfassung der Nullposition



Der Proband sollte per Knopfdruck anzeigen, wenn der subjektive Eindruck besteht, dass der unter dem Kopf durchrotierende Rumpf die Nullposition zum Kopf durchlaufen hat. Die Abweichung (in Winkelgrad) zwischen der vom Probanden so angegebenen subjektiven und der objektiven Nullposition wurde aufgezeichnet (Abbildung 13).

Abbildung 13 Zielparameter bei der Untersuchung: der subjektive Nulldurchgang

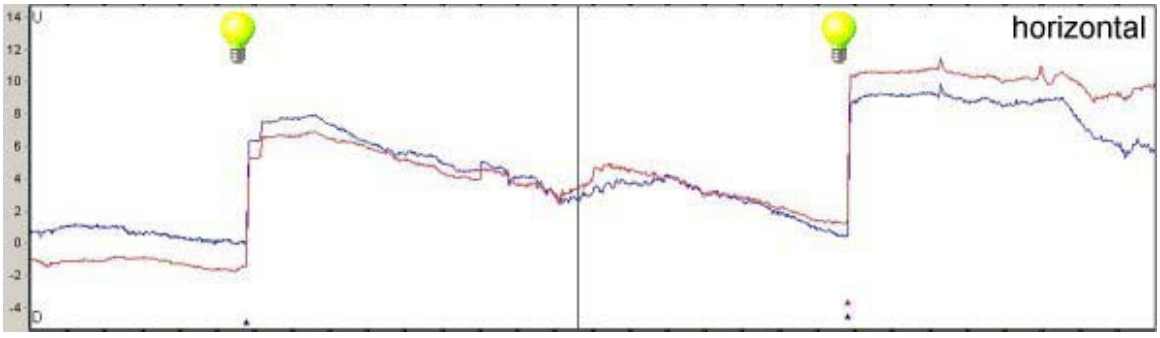


Die Drehung wurde in einer Auslenkung von je 45° zu jeder Seite mit einer Geschwindigkeit von 5°/sec durchgeführt und in beiden Drehrichtungen 4 Mal wiederholt, wobei der Drehsinn stets wechselte.

2.3.2 „Augenrückstelltest nach Rumpfdrehung“

Dieser Untersuchungsgang wurde für eine dreidimensionale Videookulographie (3D-VOG) konzipiert. Unter kontinuierlicher Aufzeichnung der Augenbewegungen wurde dem auf einem Drehstuhl sitzenden Probanden in der Nullposition (Kinn-Knie-Linie) über die 3D-VOG-Brille eine Leuchtdiode angeboten. Der Proband hatte die Aufgabe, mit dem Blick diese Nullposition nach Ausschalten der Diode auch in Dunkelheit weiter zu halten. Die Untersucherhand fixierte die Kopfposition des Patienten und der Rumpf wurde nun um 45° im Uhrzeigersinn gedreht. In der tonischen Haltephase bei 45° Rumpfauslenkung wurde die Positionsdiode wieder eingeschaltet. Sollte der Proband beim erneuten Einschalten der Positionsdiode aufgrund einer bewegungsinduzierten unbewussten Augenabweichung nicht mehr die ursprüngliche Nullposition eingestellt haben, so konnte durch die 3D-VOG die ophthalmologische Blickzielbewegung (Augenrückstellsakkade) erfasst werden (Abbildung 14).

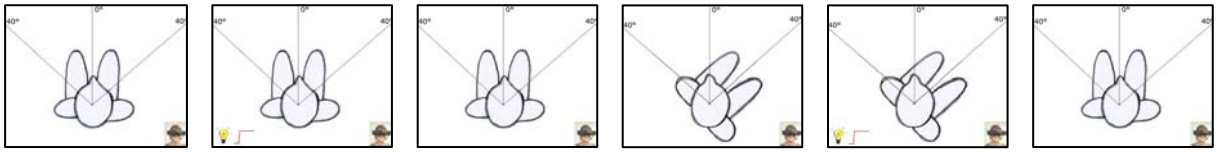
Abbildung 14 Beispiel einer deutlich zu erkennenden Augenrückstellsakkade



Legende: Birne= Einschalten der Leuchtdiode

Die Messung wurde dann in der Nullposition und nach Rotation zur kontralateralen Seite wiederholt (Abbildung 15). Hypothese war, dass Patienten mit einem gestörten kraniozervikalen Übergang eine wesentlich größere Rückstellbewegung benötigen als „Halsgesunde“. Die Anforderung an das Messsystem „Kopf-Rumpf-Koordination“ bestand darin, dass die Rumpfdrehung halspropriozeptiv erfasst werden muss, um im gleichen Maß eine nicht mehr sichtbare Diodennullposition okulär gegensteuern zu können.

Abbildung 15 Versuchsablauf für die Erfassung einer Augenrückstellsakkade



Legende: Birne= Einschalten der Leuchtdiode in der Videonystagmographie

Wir gehen davon aus, dass die exakte Diodenposition während der Rumpfdrehung ohne okuläre Fixation nur bei intakter zervikaler Propriozeption möglich ist.

2.4 Der Dizziness Handicap Inventory (DHI)

Der Dizziness Handicap Inventory (DHI) wurde von Jacobson und Newman speziell für die standardisierte Erfassung der Anamnese von Schwindelpatienten entwickelt [45]. Der Test ist gut evaluiert und findet eine mehrheitliche Anwendung in der internationalen Literatur.

Um das anamnestische Beschwerdebild standardisiert zwischen den Gruppen vergleichen zu können, haben wir den DHI einheitlich verwendet. Die 25 Items sind in physische, funktionale und emotionale Fragebogenkomponenten unterteilt. Für den DHI-Gesamtscore können zwischen 0 und 100 Punkte vergeben werden, wobei 0 Punkte eine völlige Beschwerdefreiheit anzeigen. Der DHI ist in Kapitel 7 (Seite 109) exemplarisch abgebildet.

2.5 Auswahl unterschiedlicher Untersuchungskollektive

Grundsätzlich wurde bei der Rekrutierung zu allen Untersuchungen nach folgendem Prinzip vorgegangen:

Alle Patienten/Probanden wurden aus der Hochschulambulanz der HNO-Klinik Charité Campus Mitte Berlin rekrutiert und dort untersucht. Alle Patienten erhielten routinemäßig eine vollständige vestibuläre Abklärung. Die vestibuläre Untersuchung beinhaltet eine kalorische und rotatorische Untersuchung. Alle Patienten erhielten eine Lagerungs- und Lageprüfung. Für die Überprüfung der zentralvestibulären Funktion wurde routinemäßig eine optokinetische Prüfung und Blickpendeluntersuchung durchgeführt.

Die Beurteilung des kraniozervikalen Überganges erfolgte nach manualmedizinischen Untersuchungenstechniken. Da in der bisherigen Literatur Hinweise über eine Seitenzuordnung der Symptome zu der funktionellen Störungsstelle fehlen, galt es nicht eine Seitenunterscheidung vorzunehmen. Somit wurde nur entschieden, ob eine funktionelle Störung des kraniozervikalen Überganges vorgelegen hat oder nicht. Die Dokumentation der Untersuchungsergebnisse wurde verblindet und ist in dem Kapitel 2.5.2 angegeben. Die Ergebnisse der Funktionsdiagnostik wurden ebenfalls nicht nach Gruppenzugehörigkeit sondern verblindet gespeichert. Unter diesen Gegebenheiten lag bei der Befundauswertung eine doppelblinde und prospektive Untersuchungssituation vor.

2.5.1 Probanden

Wir haben in dem ersten Vorversuch zum dreidimensionalen Halsdrehtest 20 und im zweiten Vorversuch 30 Studentinnen und Studenten mit einem durchschnittlichen

Alter von insgesamt 27 Jahren als Probanden untersucht. Einschlusskriterien waren ein unauffälliger Dizziness Handicap Inventory (DHI, Kapitel 2.4) und anamnestisch kein Anhalt auf stattgehabte Schwindelattacken oder Gangunsicherheit. Ausschlusskriterien waren alle Formen der neurootologischen wie neurologischen Vorerkrankungen und alle Erkrankungen am Bewegungsapparat, insbesondere einen pathologischen funktionellen Untersuchungsstatus an den Kopfgelenken.

2.5.2 Untersuchungskollektive im dreidimensionalen Halsdrehtest

Eine Kontrollgruppe wurde mit einer einseitig peripher vestibulär defizitären Gruppe und einer Patientengruppe mit manualmedizinisch festgestelltem zervikalen Defizit verglichen. Die Patientengruppen wurden nach Alter und Geschlecht mit Probanden der Kontrollgruppe gematcht (Tabelle 4).

Tabelle 4 Gruppencharakteristika des Untersuchungskollektivs im dreidimensionalen Halsdrehtest

	Gruppe	Anzahl	Alter (Range)	Geschlecht % male
1	Gesunde	60	43 (+/- 11)	55
2	vestibulär defizitäre Patienten	52	52 (+/- 4)	44
3	zervikal defizitäre Patienten	95	52 (+/- 2)	40

Die Rationale für die Gruppenauswahl liegt darin begründet, dass wir untersuchen wollen, ob sich peripher vestibulär induzierte von zervikal induzierten Nystagmen differenzieren lassen. Deshalb wurde eine Kontrollgruppe gegen Patienten mit einem kompensierten, organischen Defizit, also vestibulären Defizit ohne zervikalem Defizit mit Patienten, die bis auf ein zervikales Defizit neurootologisch unauffällig waren, verglichen.

Als Gruppeneinschlusskriterium galt nur in der zervikal defizitären Gruppe ein pathologischer manualmedizinischer Tastbefund an den Kopfgelenken. Dieser wurde von einem manualmedizinisch zertifizierten HNO-Arzt erhoben.

Zusätzlich wurde gefordert, dass von zervikalen Patienten anamnestisch über Schwindelbeschwerden bzw. ein Trunkenheitsgefühl geklagt wird. In der zweiten Gruppe wurden Patienten mit einer kompensierten, einseitigen vestibulären Untererregbarkeit nach einseitigem Vestibularisausfall rekrutiert. Einschlusskriterien für die Kontrollgruppe waren eine leere Anamnese hinsichtlich von Schwindelbeschwerden und jeglicher Erkrankungen der Halswirbelsäule und Halsweichteile. Weiter durfte der DHI Punktescore (Kapitel 2.4) nicht pathologisch ausfallen. Die Ausschlusskriterien für die drei Gruppen werden in Tabelle 27 (Kapitel 7) wiedergegeben.

2.5.3 Untersuchungskollektive in der kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität

Eine dreiarmige Untersuchungsreihe mit nach Alter und Geschlecht gematchten Gruppen wurde unter der Fragestellung durchgeführt, ob eine tonische Untersuchung der zervikookulären Reflexbahn einen Gruppenunterschied aufzeigt.

Verglichen wurden zwei Patientengruppen mit einer gesunden Kontrollgruppe ohne Schwindelbeschwerden. Die Patientengruppen bestanden aus 24 Patienten mit zervikalem somatosensorischen Defizit (10 Männer, 14 Frauen) mit einem durchschnittlichen Alter von 52 Jahren (range +/-15), sowie 23 Patienten mit einem zentralvestibulär kompensierten, einseitigen Vestibularisdefizit (11 Männer, 12 Frauen, Alter 53 (+/-7) Jahre). In der Kontrollgruppe befanden sich 22 gesunde Probanden (11 Männer, 11 Frauen, Alter 46 (+/-7) Jahre). Einschlusskriterien für die Gruppe I waren bestehende Schwindelbeschwerden bei unauffälligen neurootologischen oder neurologischen Befunden, jedoch mit Nachweis eines

pathologischen manuellen Palpationsbefundes an der Halswirbelsäule (HWS). Nach den Kriterien der kalorischen Testung sowie der Drehstuhlprüfung wurde die Gruppe mit zentralvestibulär kompensiertem einseitigen Vestibularisausfall rekrutiert. Eingeschlossen wurden hier nur Patienten mit unauffälligem HWS-Palpationsbefund. Eine dezidierte Ausschlussdiagnostik war Voraussetzung für beide Gruppen. Die Erfassung und Systematisierung der Beschwerdesymptomatik von jedem Patienten/Probanden erfolgte mittels Dizziness Handycap Inventory-Erhebungsinstrument (DHI) [104].

2.6 Datenanalyse

Für die im Dizziness Handycap Inventory-Erhebungsinstrument (DHI) insgesamt und in seinen einzelnen Dimensionen erzielten Punktwerten wurden der Median und Interquartilsabstand einer jeden Diagnosegruppe angegeben, da die Werte nicht in allen Gruppen approximativ normalverteilt sind. Anhand des Mann-Whitney-Tests wurde bezüglich des DHI insgesamt und der drei Subscores jeweils die Nullhypothese geprüft, damit die Scoreverteilung in den beiden Patientengruppen nicht verschieden ist.

Die Gruppe der zervikal defizitären Patienten wird hinsichtlich einer Reihe von Kriterien mit der gesunden Kontrollgruppe einerseits und mit der Gruppe der einseitig peripher vestibulär defizitären verglichen. Dieser doppelte Vergleich erfordert eine Korrektur des Signifikanzniveaus in den entsprechenden Signifikanztests auf das Niveau 0.05/2 = 0.0125. Es handelt sich um folgende Kriterien: Der Halsdrehtest und seine einzelnen Dimensionen, die Häufigkeit des Auftretens von positiven oder

negativen Vertikalnystagmen und der Score des DHI-Fragebogens – insgesamt und in seiner physischen, funktionalen und emotionalen Komponente. Ist das Ergebnis des Halsdrehtestes oder das einer seiner Dimensionen approximativ normalverteilt, wird zum Vergleich der t-Test für unabhängige Stichproben verwendet. Andernfalls wird der Mann-Whitney-Test durchgeführt. Bei ordinal skalierten Parametern mit vielen Merkmalsausprägungen (Häufigkeit des Auftretens von positiven oder negativen Vertikalnystagmen und DHI-Fragebogen) wird der Mann-Whitney Test angewendet. Die grafische Analyse aller o. g. Parameter erfolgt durch Boxplots.

Die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen dem Vorkommen von Nystagmen in einer bestimmten Position (ja/nein) und der Untersuchungsgruppe (zervikal defizitäre Patienten, einseitig peripher vestibulär defizitäre Patienten oder Gesunde) erfolgt über den Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstest mit 2 Freiheitsgraden. In jeder der untersuchten Dimensionen (horizontale und vertikale) führt die siebenmalige Durchführung dieses Tests zu einem Problem des multiplen Testens. Es wird daher jeweils die sequentielle Bonferroni-Korrektur des Signifikanzniveaus nach Holm durchgeführt. Der größte Kennwert (Chi-Quadrat) wird auf dem Signifikanzniveau 0.05/7=0.007 bewertet, der zweitgrößte Kennwert auf dem Niveau 0.05/6=0.008 und so fort. Die Signifikanztestprozedur endet, wenn nach k signifikanten Kennwerten der Kennwert auf dem Rangplatz k+1 auf einem Signifikanzniveau von 0.05/(7-k) nicht mehr signifikant ist.

Im Rahmen der kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität wurden zwei Versuchsaufbauten untersucht. Die interessierende Größe beim „subjektiven Nulldurchgang der Kopfgelenke“ ist die in Grad (°) gemessene Abweichung von der objektiven Nullposition der Drehstuhlvorrichtung. Verwendet wurde das Gradmaß,

um das die Nullposition verfehlt wurde – unabhängig davon, ob das Maß zu niedrig (negative Abweichung) oder zu hoch (positive Abweichung) angegeben wurde. Die statistische Analyse wurde mittels eines Modells verallgemeinerter Schätzgleichungen (generalized estimating equations (GEE)) durchgeführt, wobei die Abweichung in Grad als abhängige Variable fungiert. Unabhängige Variablen sind die Diagnosegruppe (zervikal defizitär, einseitig peripher vestibulär defizitär, gesund) und die Anzahl der Messungen pro Drehrichtung (fünf). Das GEE-Modell wird angewandt, um den Korrelationen innerhalb der Subjekte Rechnung zu tragen. Die Analyse erfolgt unter Anwendung der Prozedur GENMOD des statistischen Analysesystems SAS 9.1.

Die interessierende Größe beim „Augenrückstelltest“ ist die Größe der in Grad (◦) gemessenen Augenrückstellsakkade. Erfasst wurde analog zum subjektiven Nulldurchgang der Kopfgelenke das absolute Gradmaß. Für jeden Probanden wurden die Winkel in folgenden Positionen gemittelt: nach Drehung im Uhrzeigersinn, nach Rückdrehung in die Ausgangsposition, nach Rotation gegen den Uhrzeigersinn und nach Rückstellung in die Ausgangsposition.

Da die Mittelwerte in den drei Diagnosegruppen nicht approximativ normalverteilt sind, wurden jeweils der Median und der Interquartilsabstand angegeben. Es wurden die Nullhypothesen, dass die Verteilung des aus vier Positionen gemittelten Bewegungsmaßes der zervikal defizitären Patienten von der der Gesunden einerseits und der einseitig peripher vestibulär defizitären Patienten andererseits nicht verschieden sei, jeweils durch den Mann-Whitney-Test überprüft.

3 Ergebnisse

Der Schwerpunkt der Arbeit stellt die systematische Untersuchung des „dreidimensionalen Halsdrehtests“ (3D-HDT) dar. Im ersten Ergebnisteil wird ein methodischer Vorversuch an Probanden und anschließend systematische Ergebnisse an drei unterschiedlichen Untersuchungsgruppen dargestellt.
Im zweiten Teil werden zwei neue Testverfahren zur „kraniozephalen kinästhetischen Sensibilität“ evaluiert.

3.1 Der dreidimensionale Halsdrehtest

Um die Untersuchungsergebnisse des dreidimensionalen Halsdrehtestes (3D-HDT) am Patienten besser einstufen zu können, haben wir - entsprechend den Ausführungen des methodischen Vorgehens aus Kapitel 2.2 - in einem Vorversuch zunächst Probanden evaluiert. Hierbei soll die Frage geklärt werden, ob unter rein zervikotonischen Provokationsbedingungen (stationäre Kopf-in-Raum-Position bei veränderter Rumpf-in-Raum-Position) mehrdimensionale Nystagmen nachgewiesen werden können.

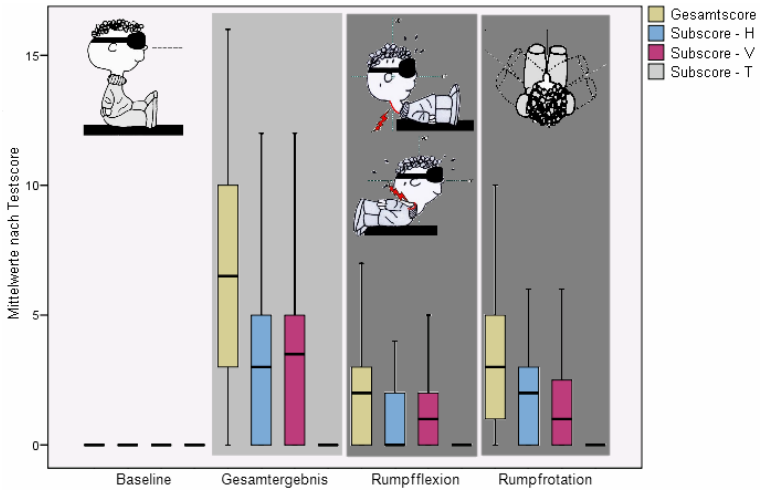
3.1.1 Erster Vorversuch zum dreidimensionalen Halsdrehtest

Bei 20 Probanden haben wir in randomisierter Reihenfolge nur die Rumpf-im-Raum-Position in zwei Raumdimensionen randomisiert variiert. Zum einen wurde die Rumpfdrehung (links und rechts) und zum anderen die Rumpfflexion (Anteflexion und Retroflexion) getestet. Bei 84 % (17 von 20) der Probanden war eine Steigerung der Nystagmusaktivität gegenüber den Werten der Leermessung ohne zervikale Belastung (Baseline) nachweisbar. 60% (10 von 17) der Probanden zeigten eine

dreidimensionale Nystagmusveränderung, d.h. es wurden sowohl Horizontal- als auch Vertikalnystagmen in unterschiedlichen Kopfhaltepositionen registriert. Bei 4 Probanden wurde eine isolierte Änderung der Vertikalnystagmusaktivität und bei 3 Probanden eine isolierte Änderung der Horizontalnystagmusaktivität beobachtet.

In Abbildung 16 ist der Gesamtscore der provozierten Nystagmusreaktionen zur Baseline für die horizontale, vertikale und torsionale Dimension dargestellt (hellgraues Feld). Die beiden dunkelgrauen Felder bilden die Subscores Rumpfflexion und Rumpfrotation ab. Zur Illustration der Untersuchungsbedingungen sind die schematischen Zeichnungen der tonischen Kopf-Rumpfposition in die Abbildung mit eingearbetet.

Abbildung 16 Mittelwerte dreidimensionaler Nystagmen während unterschiedlicher zervikotonischer Rumpfpositionen bei Probanden



Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen. Zur Verdeutlichung sind die Untersuchungspositionen eingezeichnet.

Der Vertikalnystagmus ist in beiden Rumpfhaltepositionen gleich stark erhöht und zeigt keinen signifikanten Unterschied. Anders der Horizontalnystagmus: dieser ist signifikant häufiger während der Haltephase der Rumpfrotation provoziert worden.

Die Tabelle 5 zeigt hierzu das Signifikanzniveau zwischen Rumpfrotation und –flexion im Vergleich.

Tabelle 5 Dreidimensionale Nystagmen in unterschiedlichen Rumpfpositionen bei Probanden

	Flexion versus Rotation
Gesamtergebnis	0,005
Horizontalnystagmen	0,001
Vertikalnystagmen	0,800
Torsionalnystagmen	0,380

Legende: Es sind die p-Werte im t-Test dargestellt

3.1.1.1 Abhängigkeit der Rumpfposition zur Nystagmusdimension

Die Darstellung in Tabelle 6 geht den Fragen nach, ob bei den nachgewiesenen Vertikalnystagmen ein Unterschied in der Schlagrichtung (Upbeat- oder Downbeat-Nystagmus) besteht. Es ist von Interesse, ob bei der Änderung der Rumpfposition eine Beziehung zu einer Nystagmusdimension besteht (Horizontal- oder Vertikalnystagmus) oder nicht. Zu sehen ist, dass der Upbeat-Nystagmus in der Untersuchungsreihe insgesamt eine dominierende Rolle spielt. Der Vertikalnystagmus ist in der Flexionsuntersuchung, hingegen der Horizontalnystagmus in der Rotationsuntersuchung häufiger.

Tabelle 6 Anzahl dreidimensionaler Nystagmen in Abhängigkeit unterschiedlicher Rumpfpositionen bei Probanden

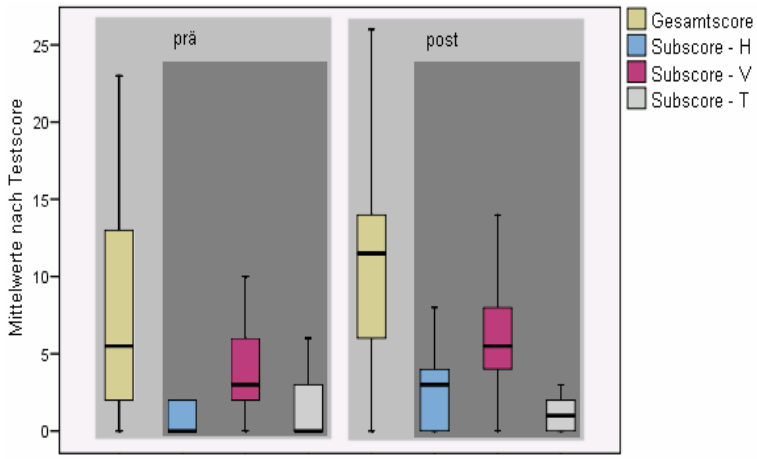
Nystagmusdimensionen		Änderung Rumpfposition	
		Flexion	Rotation
Horizontalnystagmen nicht auswertbar		24 2	31
Vertikalnystagmen nicht auswertbar	Upbeat	35 4	21
	Downbeat	6	5

3.1.2 Zweiter Vorversuch zum dreidimensionalen Halsdrehtest

In einem zweiten Schritt wollen wir untersuchen, ob sich die 3D-HDT-Ergebnisse vor und nach den beschriebenen zervikotonischen Provokationsbedingungen aus dem ersten Vorversuch unterscheiden (prä-post Vergleich).

Wir haben bei 30 Probanden diesen Untersuchungsgang durchgeführt. Abbildung 17 und Tabelle 7 zeigen, dass das 3D-HDT-Gesamtergebnis im t-Test nach der rein zervikalen Provokation ansteigt. Im Gegensatz zu den Horizontal- und Torsionalnystagmen ist der Vertikalnystagmus im 3D-HDT nach zervikaler Provokation signifikant erhöht.

Abbildung 17 Prä-post Vergleich der 3D-HDT-Ergebnisse bei Probanden



Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen

Tabelle 7 Statistische Kennwerte des prä-post Vergleichs im 3D-HDT bei Probanden

	3D-HDT vor Provokation		3D-HDT nach Provokation		p-Wert
	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	p
3D-HDT Score	7,60	9,185	10,15	7,478	**0,009**
H	2,50	4,490	2,60	3,440	0,291
V	3,60	3,604	5,50	3,721	**0,001**
T	1,50	2,417	2,05	2,630	0,541

Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen

3.1.2.1 Veränderungen im 3D-HDT nach zervikotonischer Provokation

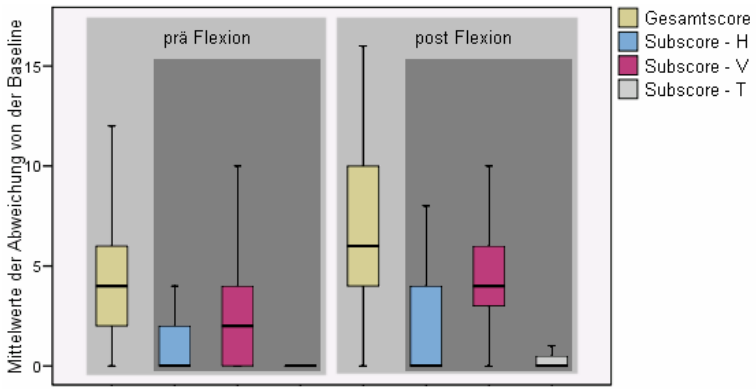
Um nachvollziehen zu können, ob eine einzelne Untersuchungsphase im 3D-HDT (Kopf in Flexion, Seitneigung oder Rumpfrotation) hauptverantwortlich für die gesteigerte Nystagmusaktivität ist, haben wir die drei Nystagmusdimensionen vor und nach der Provokation getrennt untersucht. Aus Tabelle 8 wird ersichtlich, dass nur in Flexionshaltung des Kopfes ein signifikanter Unterschied vor und nach der Provokation besteht. Hauptverantwortlich hierfür ist wieder der Vertikalnystagmus. Abbildung 18 verdeutlicht dieses Ergebnis in der Boxplotdarstellung.

Tabelle 8 Statistische Kennwerte dreidimensionaler Nystagmen im 3D-HDT vor und nach zervikaler Provokation bei Probanden

	3D-HDT vor Provokation		3D-HDT nach Provokation		p-Wert
Kopfhaltepositionen	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	p
Flexion Subscore	5,10	5,589	6,80	4,786	0,063
Flexion H	1,66	3,254	1,70	2,364	0,764
Flexion V	2,90	2,743	4,45	2,724	**0,002**
Flexion T	0,55	1,055	0,65	1,137	0,846
Rotation Subscore	1,36	2,405	1,50	1,653	0,671
Rotation H	0,57	1,399	0,50	0,855	0,692
Rotation V	0,57	1,016	0,86	0,864	0,076
Rotation T	0,21	0,426	0,14	0,535	0,582
Seitneigung Subscore	1,54	2,961	1,77	2,166	0,673
Seitneigung H	0,46	1,198	0,31	0,751	0,724
Seitneigung V	0,62	1,121	0,77	1,480	0,075
Seitneigung T	0,46	0,877	0,69	0,854	0,775

Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Subscore Flexion = Ergebnis aller Nystagmen in Flexion; Subscore V = Ergebnis aller Nystagmen in Rotation; Subscore T = Ergebnis aller Nystagmen in Seitneigung

Abbildung 18 Dreidimensionale Nystagmusreaktionen im Prä-post Vergleich nur in flektierter Kopfhalteposition im 3D-HDT bei Probanden



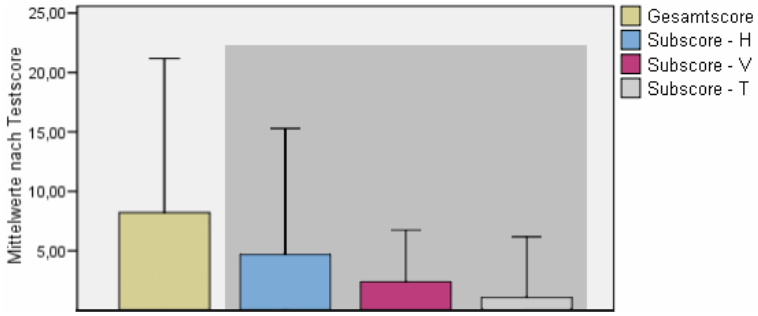
Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen

3.1.3 Der dreidimensionale Halsdrehtest bei Gesunden

Wie bereits in Kapitel 2.5.2 (Seite 43) beschrieben haben wir Gesunde mit zwei Patientengruppen (Patienten mit einseitiger vestibulärer Läsion und zervikalem Defizit) nach Alter und Geschlecht gematcht und sie prospektiv mit dem 3D-HDT Untersuchungsansatz miteinander verglichen. In diesem Kapitel werden die 3D-HDT Ergebnisse der 50 gesunden Testpersonen dargestellt.

Abbildung 19 zeigt bei Gesunden die Ergebnisse im 3D-HDT einen entsprechend des in Kapitel 2.2.2 (Seite 33) dargestellten Punkteschemas. Dargestellt sind die Mittelwerte des gesamten Testscores (hellgrau), welcher sich aus den Subscores der einzelnen Nystagmusdimensionen (dunkelgrau) zusammensetzt. Es ist zu sehen, dass bei Gesunden Nystagmen aller drei Dimensionen im 3D-HDT nachweisbar werden.

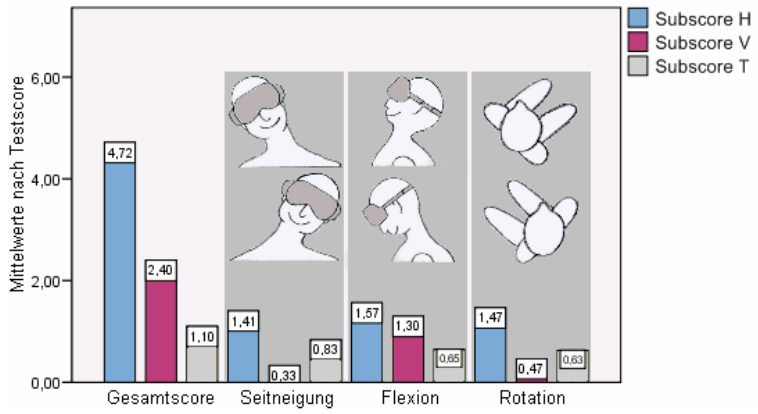
Abbildung 19 Das 3D-HDT Ergebnis im Balkendiagramm bei Gesunden



Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen

Die zervikookuläre Nystagmusauswertung in den einzelnen Kopf-Rumpfpositionen (Flexion, Seitneigung und Rotation) ist in und Abbildung 20 und Tabelle 9 zu entnehmen. An den jeweiligen p-Werten kann belegt werden, dass der Horizontalnystagmus (HN) gegenüber den anderen Nystagmusdimensionen in den einzelnen Untersuchungspositionen vorherrschend ist. Im Vergleich zwischen den unterschiedlichen Kopf-Rumpfpositionen zeigen weder die Torsions- noch die Horizontalnystagmen einen signifikanten Unterschied. Auffallend ist der signifikante Anstieg des Vertikalnystagmus in der Flexionsuntersuchung (Subscore V).

Abbildung 20 Das 3D-HDT Ergebnis in unterschiedlichen Kopf-zu-Rumpf-Positionen bei Gesunden



Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen. Zur Verdeutlichung sind die Untersuchungspositionen eingezeichnet.

Tabelle 9 p-Werte der dreidimensionalen Nystagmusreaktionen in unterschiedlichen Kopf-zu-Rumpf-Positionen bei Gesunden im t-Test

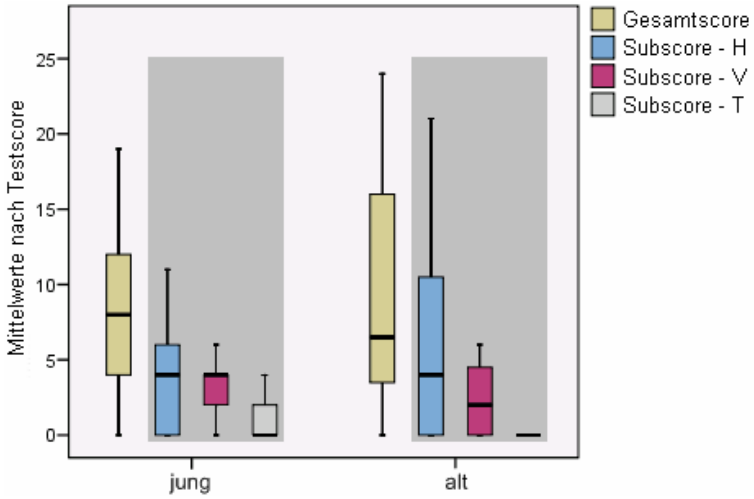
	Rumpfrotation			Kopfseitneigung		
Subscore	H	V	T	H	V	T
Kopfflexion H	0,700	<0,0005	<0,0005	0,378	<0,0005	0,003
Kopfflexion V	0,546	<0,0005	0,002	0,722	<0,0005	0,290
Kopfflexion T	<0,0005	0,300	0,880	0,001	0,550	0,225
Rumpfrotation H				0,730	<0,0005	0,012
Rumpfrotation V				0,002	0,419	0,060
Rumpfrotation T				0,001	0,089	0,129

Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell. Dargestellt sind die Subscores für die einzelnen Untersuchungspositionen. H=Horizontalnystagmus; V=Vertikalnystagmus; T=Torsionalnystagmus

3.1.3.1 Alterseffekt auf die 3D-HDT Ergebnisse bei Gesunden

Um einen eventuellen Alterseffekt auf die Ergebnisse des 3D-HDT beurteilen zu können, haben wir die Untersuchungsergebnisse des Kollektivs nach dem Alter sortiert und das obere und untere Altersdrittel des Kollektivs miteinander verglichen. Abbildung 21 und Tabelle 10 zeigen, dass die Untersuchung im 3D-HDT jedoch nicht vom Alter beeinflusst wird.

Abbildung 21 Altersvergleich in der gesunden Gruppe



Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen

Tabelle 10 p-Werte für den Altersvergleich bei Gesunden im t-Test

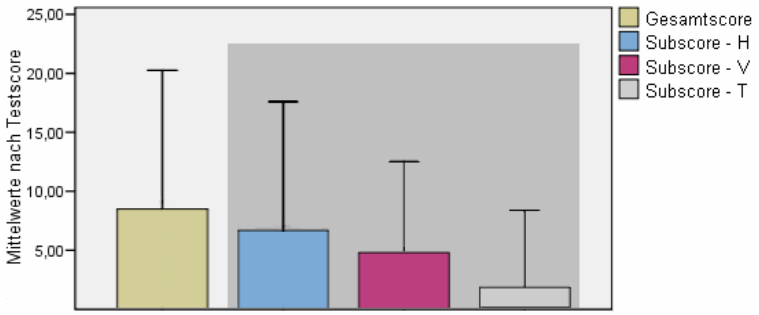
Gruppe	Durchschnittsalter (range)	3D-HDT Gesamtscore	3D-HDT Score-H	3D-HDT Score-V	3D-HDT Score-T
jung n=21	27 (7)	0,927	0,518	0,260	0,465
alt n=20	60 (3)				

Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen

3.1.4 Der dreidimensionale Halsdrehtest bei Patienten mit einseitigem vestibulären Defizit

Entsprechend den Beschreibungen aus Kapitel 2.5.2 haben wir 54 Patienten mit einseitigem vestibulären Defizit mit dem 3D-HDT prospektiv untersucht. Abbildung 22 zeigt, dass bei Patienten mit einseitigem vestibulären Defizit ebenfalls Nystagmen aller drei Dimensionen nachweisbar werden. Ausgehend vom Horizontal-, zum Vertikal- hin zum Torsionalnystagmus besteht im Vergleich zu Gesunden eine absteigende Verteilung der Nystagmushäufigkeit, allerdings vergleichsweise zu Gesunden auf einem höheren Reaktionsniveau.

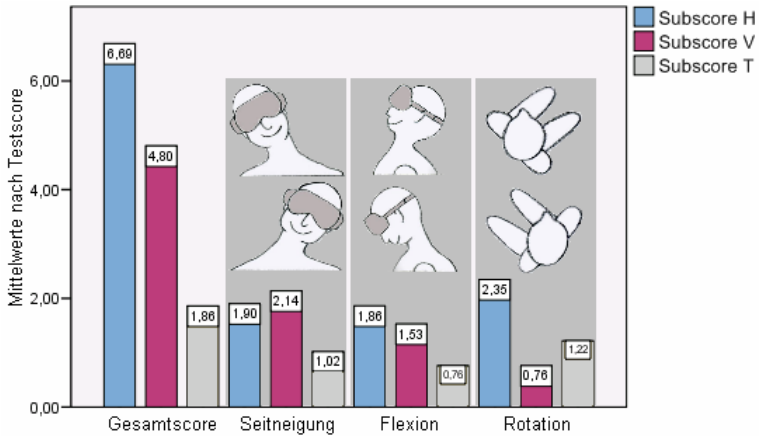
Abbildung 22 Das 3D-HDT Ergebnis im Balkendiagramm bei Patienten mit vestibulärem Defizit



Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen

Wie aus Abbildung 23 und den jeweiligen p-Werten der Tabelle 11 entnommen werden kann, findet sich beim Horizontalnystagmus in den einzelnen Untersuchungspositionen kein signifikanter Unterschied in der Ergebnishäufigkeit (Subscore H). Im Vergleich zu den Gesunden ist der Vertikalnystagmus in der Flexionsuntersuchung wieder signifikant häufiger zu der Rotationsuntersuchnung, allerdings in der Seitneigungs- gleich häufig zu der Flexionshaltung (Subscore V). Die Torsionalnystagmen zeigen wie bei den Gesunden keine signifikant unterschiedliche Verteilung in den einzelnen Untersuchungspositionen (Subscore T). Aspekte des statistischen Gruppenunterschieds werden im folgenden Kapitel 3.1.6.2 (Seite 63) dargestellt.

Abbildung 23 Das 3D-HDT Ergebnis in unterschiedlichen Kopf-zu-Rumpf-Positionen bei Patienten mit vestibulärem Defizit



Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen. Zur Verdeutlichung sind die Untersuchungspositionen eingezeichnet.

Tabelle 11 p-Werte der dreidimensionalen Nystagmusreaktionen in unterschiedlichen Kopf-zu-Rumpf-Positionen bei Patienten mit vestibulärem Defizit im t-Test

	Rumpfrotation			Kopfseitneigung		
Subscore	H	V	T	H	V	T
Kopfflexion H	0,145	0,005	0,048	0,913	0,545	0,008
Kopfflexion V	0,016	0,008	0,249	0,258	0,078	0,045
Kopfflexion T	<0,0005	0,927	0,045	<0,0005	<0,0005	0,161
Rumpfrotation H				0,214	0,315	0,001
Rumpfrotation V				0,015	0,004	0,398
Rumpfrotation T				0,069	0,056	0,395

Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell. Dargestellt sind die Subscores für die einzelnen Untersuchungspositionen. H=Horizontalnystagmus; V=Vertikalnystagmus; T=Torsionalnystagmus

3.1.4.1 Alterseffekt auf die 3D-HDT Ergebnisse bei Patienten mit vestibulärem Defizit

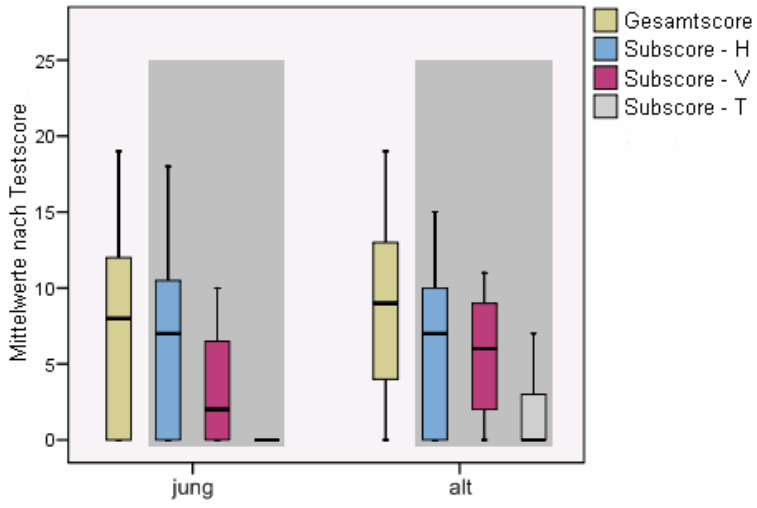
Um einen eventuellen Alterseffekt auf die Ergebnisse des 3D-HDT beurteilen zu können, haben wir die Untersuchungsergebnisse des Kollektivs nach dem Alter sortiert und das obere und untere Altersdrittel des Kollektivs miteinander verglichen. Abbildung 24 und Tabelle 12 zeigen, dass die Untersuchung im 3D-HDT nicht vom Alter beeinflusst wird.

Tabelle 12 p-Werte für den Altersvergleich bei Patienten mit vestibulärem Defizit im t-Test

Gruppe	Durchschnittsalter (range)	3D-HDT Gesamtscore	3D-HDT H	3D-HDT V	3D-HDT T
jung n=16	36 (2)	p=0,350	p=0,883	p=0,157	p=0,297
alt n=21	66 (2)				

Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen.

Abbildung 24 Altersvergleich in der Gruppe mit vestibulärem Defizit

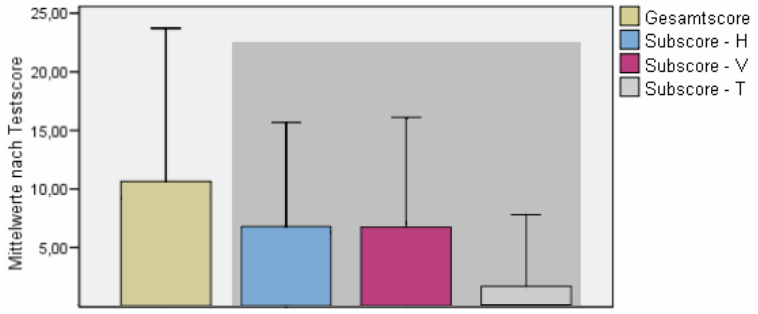


Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen.

3.1.5 Der dreidimensionale Halsdrehtest bei Patienten mit gestörtem kraniozervikalen Übergang

Entsprechend der Kriterien aus Kapitel 2.5.2 (Seite 43) haben wir bei 95 Patienten mit einem gestörten kraniozervikalen Übergang den 3D-HDT durchgeführt und die Untersuchungsergebnisse in Abbildung 25 dargestellt. Auch in dieser Patientengruppe werden alle drei Nystagmusdimensionen im 3D-HDT nachweisbar. Anders als in den beiden anderen Gruppen besteht *keine* absteigende Verteilung der Nystagmushäufigkeit, sondern eine Gleichverteilung zwischen Horizontal- und Vertikalnystagmen.

Abbildung 25 Das 3D-HDT Ergebnis im Balkendiagramm bei Patienten mit zervikalem Defizit



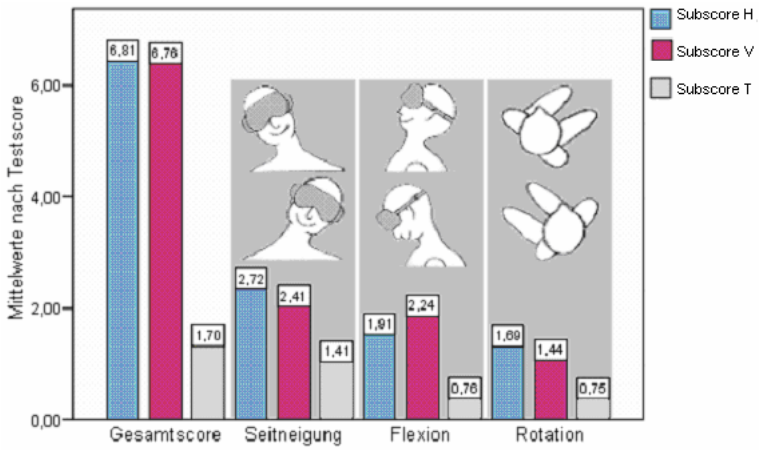
Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen.

Die 3D-HDT Ergebnisanalyse nach den einzelnen Untersuchungspositionen bei Patienten mit zervikalem Defizit werden in Abbildung 26 aufgezeigt. Den zugehörigen p-Werten der Tabelle 13 ist zu entnehmen, dass anders als in den beiden anderen Gruppen sowohl für den Vertikal-, als auch für den Horizontal- und für den Torsionalnystagmus Verteilungsunterschiede in den einzelnen Untersuchungspositionen signifikant werden. Im Vergleich zur Rotationsuntersuchungsposition ist die Vertikalnystagmushäufung signifikant geringer als in der Seitneigungs- und Flexionsposition. Nur bei zervikal defizitären Patienten finden sich in der

Seitneigungsuntersuchungsposition signifikant mehr Horizontal- und Torsional-nystagmen als in der Flexions- und Rotationsprüfung.

Aspekte des statistischen Gruppenunterschieds werden im folgenden Kapitel 3.1.6.2 (Seite 63) dargestellt.

Abbildung 26 Das 3D-HDT Ergebnis in unterschiedlichen Kopf-zu-Rumpf-Positionen bei Patienten mit zervikalem Defizit



Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen. Zur Verdeutlichung sind die Untersuchungspositionen eingezeichnet.

Tabelle 13 p-Werte der dreidimensionalen Nystagmusreaktionen in unterschiedlichen Kopf-zu-Rumpf-Positionen bei Patienten mit zervikalem Defizit im t-Test

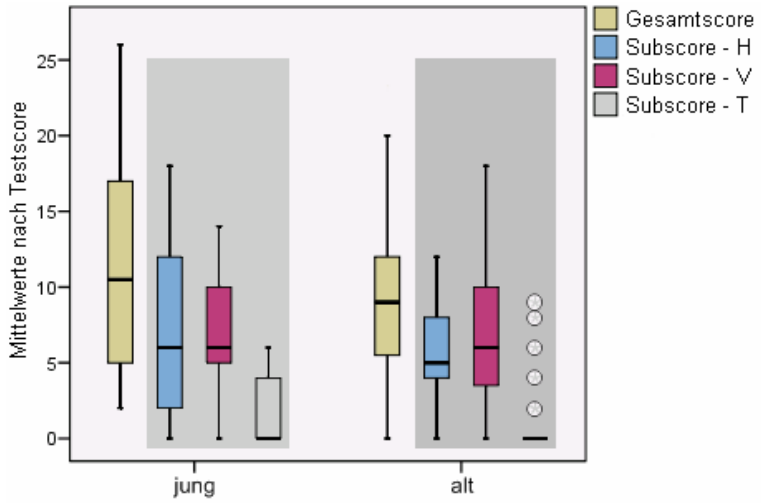
	Rumpfrotation			Kopfseitneigung		
Subscore	H	V	T	H	V	T
Kopfflexion H	0,422	0,219	<0,0005	0,006	0,079	0,063
Kopfflexion V	0,029	0,001	<0,0005	0,065	0,502	<0,0005
Kopfflexion T	<0,0005	<0,0005	1,000	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Rumpfrotation H				<0,0005	0,006	0,496
Rumpfrotation V				<0,0005	<0,0005	0,958
Rumpfrotation T				<0,0005	<0,0005	0,001

Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell. Dargestellt sind die Subscores für die einzelnen Untersuchungspositionen. H=Horizontalnystagmus; V=Vertikalnystagmus; T=Torsionalnystagmus

3.1.5.1 Alterseffekt auf die 3D-HDT Ergebnisse bei Patienten mit zervikalem Defizit

Um einen eventuellen Alterseffekt auf die Ergebnisse des 3D-HDT beurteilen zu können, haben wir die Untersuchungsergebnisse des Kollektivs nach dem Alter sortiert und das obere und untere Altersdrittel des Kollektivs miteinander verglichen. Abbildung 27und Tabelle 14 zeigen, dass die Untersuchung im 3D-HDT nicht vom Alter beeinflusst wird.

Abbildung 27 Altersvergleich in der Gruppe mit zervikalem Defizit



Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen.

Tabelle 14 p-Werte für den Altersvergleich bei Patienten mit zervikalem Defizit im t-Test

Gruppe	Durchschnittsalter (range)	3D-HDT Gesamtscore	3D-HDT Subscore-H	3D-HDT Subscore-V	3D-HDT Subscore-T
jung n=22	36 (1)	0,663	0,627	0,915	0,127
alt n=36	64 (6)				

Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen.

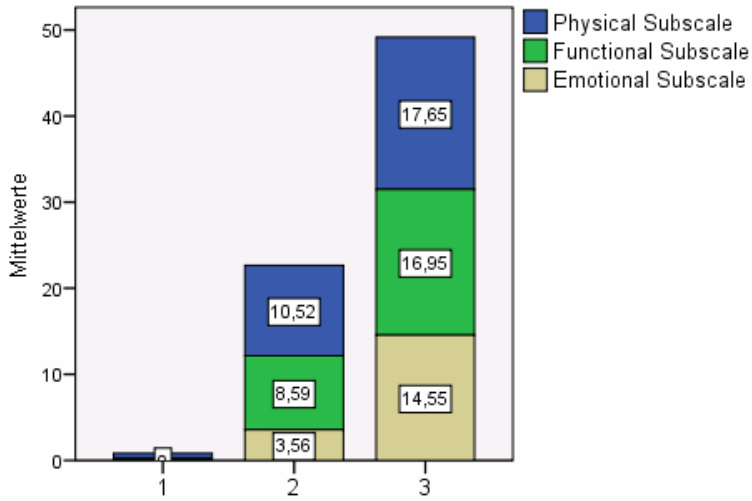
3.1.6 Ergebnisse im Gruppenvergleich

Um die Untersuchungsergebnisse des 3D-HDT zwischen Gesunden, Patienten mit einseitigem peripher vestibulären Defizit und Patienten mit zervikalem Defizit besser vergleichen können, stellen wir im folgenden Kapitel die Ergebnisse der standardisierten Erfassung der subjektiven Beschwerden der Patienten voran.

3.1.6.1 Ergebnisse des Dizziness Handicap Inventory im Gruppenvergleich

Für die standardisierte Selbsteinschätzung der Beschwerden wurde gemäß der Darstellung aus Kapitel 2.4 (Seite 41) der Dizziness Handicap Inventory (DHI) einheitlich verwendet. Abbildung 28 gibt den DHI-Gesamtscore, seine physischen, funktionalen und emotionalen Fragebogenkomponenten im Gruppenvergleich wieder.

Abbildung 28 Das DHI Stapeldiagramm im Gruppenvergleich



Legende: Gruppe 1: Gesunde; Gruppe 2: einseitig peripher vestibulär defizitär; Gruppe 3: zervikal defizitär

Folgende Tabelle 15 gibt die Ergebnisse des Mann-Whitney-Tests wieder. Die verzeichneten Mediane des DHI-Gesamtscores, seiner physischen und funktionalen

Komponenten der zervikal defizitären Patienten unterscheiden sich von jenen der einseitig peripher vestibulär defizitären nicht signifikant, da das Signifikanzniveau gemäß den Ausführungen von Kapitel 2.6 (Seite 45) auf 0.0125 korrigiert wurde. Nur bezüglich der emotionalen Fragebogenkomponente bestehen signifikante Unterschiede.

Die Mediane des Gesamtscores und aller Subscores der zervikal defizitären Patienten unterscheiden sich von jenen der Gesunden signifikant:

Tabelle 15 p-Werte für den DHI-Gruppenvergleich im Mann-Whitney-Tests

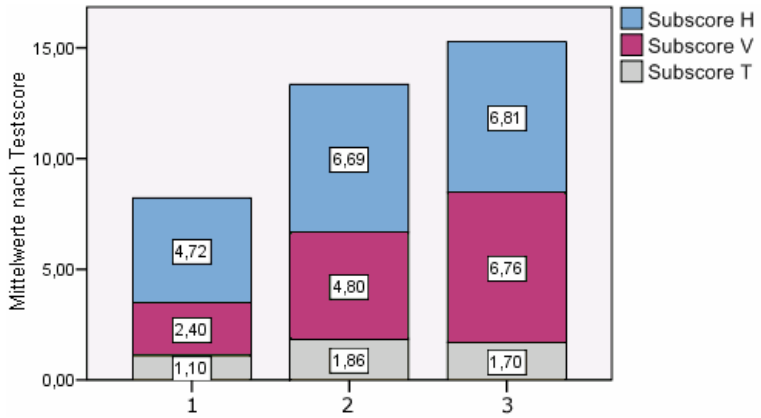
Gruppen	DHI (gesamt)	physical_subscale	functional_subscale	emotional_subscale
Gruppe 2 vs. Gruppe 3	0.040	0.253	0.155	0.001
Gruppe 1 vs. Gruppe 3	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005

Legende: DHI = Dizziness Handicap Inventory: Gruppe 1: Gesunde; Gruppe 2: einseitig peripher vestibulär defizitär; Gruppe 3: zervikal defizitär

3.1.6.2 Die 3D-HDT Ergebnisse im Gruppenvergleich

Wir haben die Gruppen nach ihren Gesamtergebnissen im 3D-HDT und seinen drei Nystagmusdimensionen (horizontal, vertikal und torsional) untersucht. Abbildung 29 zeigt den Subscore der drei Nystagusdimensionen aus dem 3D-HDT. Die zugehörigen p-Werte der Tabelle 16 verdeutlichen, dass sich die jeweils verglichenen Gruppen nur hinsichtlich der Vertikalnystagmen im 3D-HDT signifikant unterscheiden. Sie haben den maßgeblichen Anteil an den Unterschieden, die der 3D-HDT insgesamt zwischen den Gruppen aufzeigt.

Abbildung 29 Das 3D-HDT Stapeldiagramm im Gruppenvergleich



Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen.

Tabelle 16 p-Werte dreidimensionaler Nystagmen im Gruppenvergleich im t-Test

Gruppen	3D-HDT Gesamtscore	3D-HDT Subscore-H	3D-HDT Subscore-V	3D-HDT Subscore-T
1 vs 2	0,279	0,632	0,004	<0,001
2 vs. 3	0.121	0.977	<0.0005	0.952
1 vs 3	0.014	0.195	<0.0005	0.601

Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen.Gruppe 1: Gesunde; Gruppe 2: einseitig peripher vestibulär defizitär; Gruppe 3: zervikal defizitär

Tabelle 17 zeigt die Ergebnisse des Chi-Quadrat Tests aufgezeigt. Dieser Test gibt darüber Aufschluss, ob einzelne Nystagmusdimensionen in den jeweiligen Kopf-Rumpfpositionen einen signifikanten Unterschied zwischen den drei Gruppen aufweist oder nicht. Damit können Untersuchungskriterien für die angestrebte Gruppenunterscheidung gefunden werden. Die Ergebnisse zeigen, dass in der vertikalen Dimension ein Gruppenunterschied durch die Vertikalnystagmen insbesondere in der Ante- und Retroflexion zu erzielen ist. In der letzten Spalte sind die unterschrittenen Signifikanzniveaus hervorgehoben sowie für jede Dimension das erste, nicht unterschrittene Signifikanzniveau angegeben (sequentielle Bonferroni-Korrektur nach Holm, Kapitel 2.6, Seite 45).

Tabelle 17 Signifikanzen über die drei Gruppen in Abhängigkeit der Kopfposition

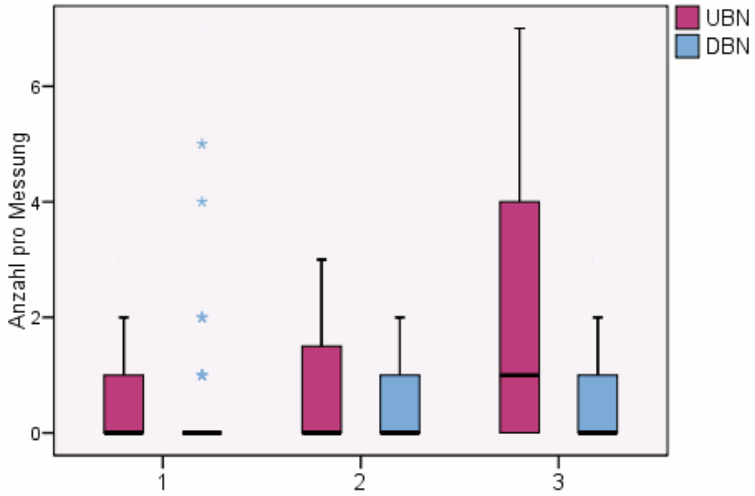
Dimension	Kopf-Rumpf-Position	Chi-Quadrat (Kennwert)	p-Wert	Rangfolge der Kennwerte (K)	Signifikanzniveau korrigiert 0.05/(7-K +1)
vertikal	SPN	10,75	0,0050	3	**0.013**
	Anteflexion	15,81	0,0004	1	**0.008**
	Reklination	11,43	0,0030	2	**0.010**
	Seitneigung rechts	3,45	0,1134		
	Seitneigung links	2,90	0,1456		
	Rumpf rechts	4,19	0,1230		
	Rumpf links	6,61	0,0370	4	0.025

Legende: SPN = Spontannystagmus

3.1.6.3 Der Vertikalnystagmus im Gruppenvergleich

Die Vertikalnystagmusreaktionen haben wir im Gruppenvergleich untersucht und in Abbildung 30 abgebildet. Die mediane Häufigkeit des Auftretens der Upbeat-Nystagmen (UBN) in der Gruppe zervikal defizitärer Patienten ist stets größer als in den beiden Vergleichsgruppen.

Abbildung 30 Gruppenvergleich der Upbeat- und Downbeat-Nystagmen im 3D-HDT



UBN = Upbeatnystamgus; DBN = Downbeatnysagmus

Gruppe 1: Gesunde; Gruppe 2: einseitig peripher vestibulär defizitär; Gruppe 3: zervikal defizitär

Die p-Werte der Tabelle 18 heben die Bedeutung der Upbeat-Nystagmen (UBN) hervor. Der Anteil der UBN an den Vertikalnystagmen ist besonders hoch in der Gruppe der zervikal defizitären Patienten, hingegen in der medianen Häufung der Downbeat-Nystagmen unterscheiden sich die Gruppen nicht. Die mediane Häufigkeit der UBN ist in der Gruppe zervikal defizitärer Patienten signifikant größer als der Median der einseitig peripher vestibulär defizitären Patientengruppe und als der Median der Gesunden.

Tabelle 18 p-Werte des Gruppenvergleichs im Upbeat- und Downbeat-Nystagmus im t-Test

Gruppe	DBN	UBN
1 versus 2	0,112	0,849
1 versus 3	0.055	0.002
2 versus 3	0.435	<0.0005

Legende: Upbeat-Nystagmus = UBN; Downbeat-Nystagmus = DBN; Gruppe 1: Gesunde; Gruppe 2: einseitig peripher vestibulär defizitär; Gruppe 3: zervikal defizitär

Im 3D-HDT untersuchen wir die zervikookulären Bahnen in drei unterschiedlichen Kopfhaltepositionen (Seitneigung, Flexion, Rumpfrotation). Wir haben in den dargestellten Ergebnissen gesehen, dass der UBN einen Gruppenunterschied aufweist.

3.1.7 Der dreidimensionale Halsdrehtest im Gruppenvergleich zum eindimensionalen Halsdrehtest

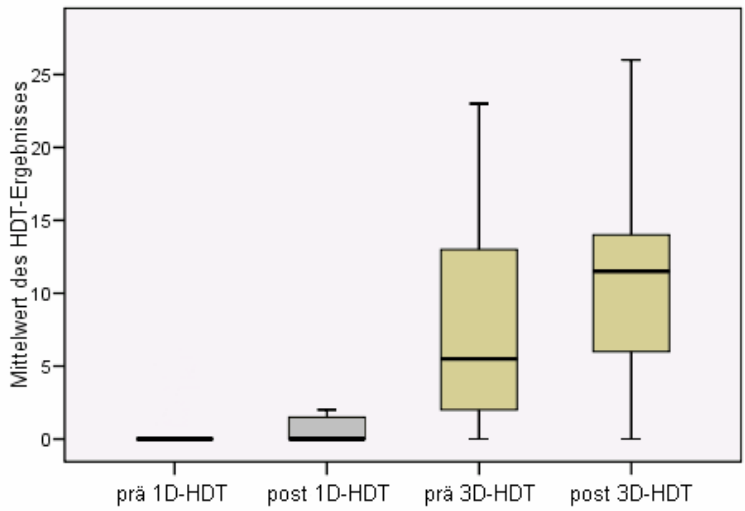
Wie in Kapitel 2.2 (Seite 31) beschrieben, haben wir den 3D-HDT auf der Basis des 1D-HDT entwickelt. Die Ergebnisse aus dem zweiten Vorversuch ließen im Prä-post-Vergleich einen Anstieg im 3D-HDT nach zervikaler Provokation erkennen (Kapitel 3.1.2, Seite 51). Um am Ergebnis orientiert einschätzen zu können, ob sich der

diagnostische Mehraufwand des 3D-HDT lohnt, müssen wir die Sensitivität beider Tests miteinander vergleichen.

3.1.7.1 Vergleich des 3D-HDT versus 1D-HDT im zweiten Vorversuch

In Abbildung 31 sind die Ergebnisdifferenzen der beiden Testsysteme abgebildet. Im Vergleich zum 1D-HDT zeigt sich im 3D-HDT ein höherer Ausgangswert (prä 3D-HDT), aber auch höhere Messwerte nach zervikaler Provokation (post 3D-HDT).

Abbildung 31 Prä-post-Vergleich nach zervikaler Provokation zwischen 1D-HDT und 3D-HDT bei Probanden



Legende: Ergebniserfassung gemäß 3D-HDT Auswertungsmodell: Gesamtscore = Ergebnis aller Nystagmen; Subscore H = Ergebnis aller Horizontalnystagmen; Subscore V = Ergebnis aller Vertikalnystagmen; Subscore T = Ergebnis aller Torsionalnystagmen.Gruppe 1: Gesunde; Gruppe 2: einseitig peripher vestibulär defizitär; Gruppe 3: zervikal defizitär; 3D-HDT= dreidimensionaler Halsdrehtest; 1D-HDT= eindimensionaler Halsdrehtest; n= 30

Tabelle 19 p-Werte des Prä-post-Vergleichs bei Probanden im t-Test

Vergleich im T-Test	p-Wert
prä 3D-HDT - post 3D-HDT	0,009
prä 1D-HDT - post 1D-HDT	0,692
prä 1D-HDT - prä 3D-HDT	<0,001
post 1D-HDT - post 3D-HDT	<0,001

Legende: 3D-HDT= dreidimensionaler Halsdrehtest; 1D-HDT= eindimensionaler Halsdrehtest; n= 30

Tabelle 19 gibt die zugehörigen t-Testergebnisse wider, die zeigen, dass nach zervikaler Provokation im Gegensatz zum 1D-HDT nur das 3D-HDT-Ergebnis signifikant angestiegen ist. Die Auswertungskriterien sind in Kapitel 2.2.2 (Seite 33) festgelegt. Bei einem angestiegenen HDT Ergebnis nach zervikaler Provokation (post HDT) gehen wir für beide Testversionen (1D-HDT und 3D-HDT) von einem richtig positiven Testergebnisse und im umgekehrten Falle von einem falsch negativen. Tabelle 20 zeigt, dass der 3D-HDT 60% richtig positive Testergebnisse erkennt. Im Vergleich hierzu kann der 1D-HDT nur 10% identifizieren und weist zudem 90% falsch negative Ergebnisse auf. Hier schneidet der 3D-HDT mit 40% besser ab.

Tabelle 20 Sensitivität des 1D-HDT und 3D-HDT bei zervikaler Provokation bei 30 Probanden

	1D-HDT	3D-HDT
falsch negativ (in %)	27/30 (90)	12/30 (40)
richtig positiv (in %)	3/30 (10)	18/30 (60)

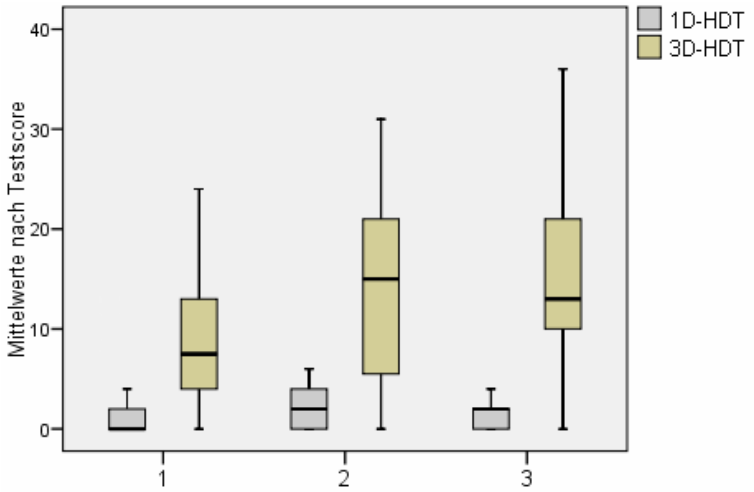
Legende: 3D-HDT= dreidimensionaler Halsdrehtest; 1D-HDT= eindimensionaler Halsdrehtest; n= 30

3.1.7.2 Gruppenvergleich des 3D-HDT versus 1D-HDT

Nach der Untersuchung an Probanden haben wir diesen Testvergleich auch für die Patientengruppen durchgeführt. Entsprechend der klinischen Auswertung und gemäß der Testkriterien aus Kapitel 2.2.2 (Seite 33) haben wir den dreidimensionalen Halsdrehtest (3D-HDT) im Gruppenvergleich zum eindimensionalen HDT (1D-HDT) ausgewertet und in Abbildung 32 graphisch dargestellt. Wie den p-Werten der Tabelle 21 zu entnehmen ist, kann der 1D-HDT die zervikal defizitären Patienten weder von den Gesunden, noch von den einseitig peripher vestibulär defizitären Patienten signifikant abgegrenzt werden. Der 3D-HDT kann zervikal defizitäre Patienten signifikant von Gesunden unterscheiden, allerdings

nicht von einseitig peripher vestibulär defizitären Patienten. Die signifikanten Gruppenunterscheidungsmerkmale sind in Kapitel 3.1.6.2 dargestellt.

Abbildung 32 Der 3D-HDT im Gruppenvergleich zum 1D-HDT



Legende: 3D-HDT= dreidimensionaler Halsdrehtest; 1D-HDT= eindimensionaler Halsdrehtest; Gruppe 1: Gesunde; Gruppe 2: einseitig peripher vestibulär defizitär; Gruppe 3: zervikal defizitär

Tabelle 21 p-Werte des Gruppenvergleichs zwischen dem 3D- und dem 1D-HDT im t-Test

Gruppe	3D-HDT-Vergleich	1D-HDT-Vergleich
1 versus 2	0,004	0,068
2 versus 3	0,480	0,295
1 versus 3	<0,001	0,252

Legende: 3D-HDT= dreidimensionaler Halsdrehtest; 1D-HDT= eindimensionaler Halsdrehtest; Gruppe 1: Gesunde; Gruppe 2: einseitig peripher vestibulär defizitär; Gruppe 3: zervikal defizitär

Basierend auf der in Kapitel 2.2.2 festgelegten und definierten Testkriterien haben wir für die Gruppen die Sensitivität des 1D-HDT und 3D-HDT ermittelt und in Tabelle 22 dargestellt. Es ist den Ergebnissen zu entnehmen, dass der 1D-HDT eine Spezifität von nur 43% im Vergleich zu einer Spezifität von 83% von dem 3D-HDT aufweist.

Tabelle 22 Spezifität des 1D-HDT und 3D-HDT im Gruppenvergleich

	Gruppe 1	
	1D-HDT	3D-HDT
falsch positiv **(%)**	34/60 **(57%)**	10/60 **(17%)**
richtig negativ **(%)**	26/60 **(43%)**	50/60 **(83%)**

Legende: 3D-HDT= dreidimensionaler Halsdrehtest; 1D-HDT= eindimensionaler Halsdrehtest; Gruppe 1: Gesunde

Aus Tabelle 23 kann entnommen werden, dass die Sensitivität des 1D-HDT bei zervikal defizitären Patienten im 3D-HDT bei 87% und im 1D-HDT bei 21% liegt.

Tabelle 23 Sensitivität des 1D-HDT und 3D-HDT im Gruppenvergleich

	Gruppe 2		Gruppe 3	
	1D-HDT	3D-HDT	1D-HDT	3D-HDT
falsch negativ **(%)**	29/46 **(63)**	16/51 **(31)**	64/81 **(79)**	12/93 **(13)**
richtig positiv **(%)**	17/46 **(37)**	35/51 **(69)**	17/81 **(21)**	81/93 **(87)**

Legende: 3D-HDT= dreidimensionaler Halsdrehtest; 1D-HDT= eindimensionaler Halsdrehtest; Gruppe 1: Gesunde

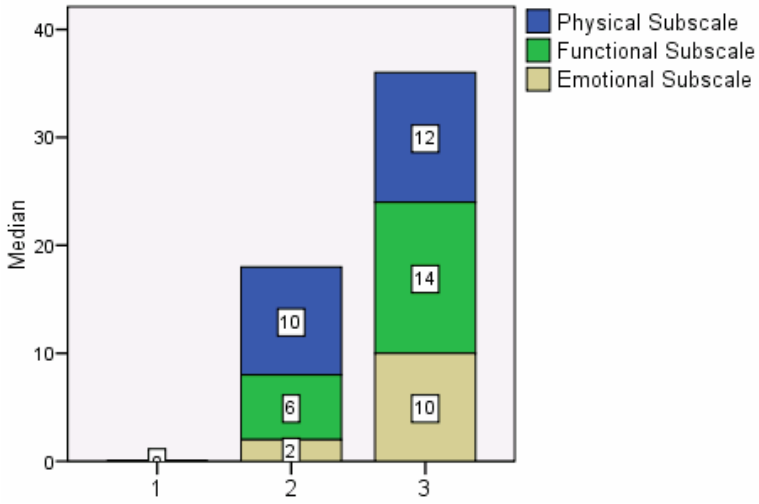
3.2 Kraniozephale kinästhetische Sensibilität

Die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität beschreibt die Eigenwahrnehmung der Kopf-Rumpf-Position (2.3.1). Verantwortlich für diese zentral vestibuläre Funktion sind die Halspropriozeptoren. In dem bisher hierfür vorgesehenen Untersuchungsgang des „Re-positionings“ muss der Patient aktiv von einem Referenzpunkt im Raum seine Kopf-im-Raum-Position „zurückpositionieren“. Dies bedingt eine Mitreizung der vestibulären Sensoren. Wir wollen anhand von 2 neuen Untersuchungsmethoden evaluieren, ob ein Versuchsaufbau zur kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität ohne Kopfbewegung realisierbar ist.

3.2.1 Der Dizziness Handicap Inventory (DHI) im Gruppenvergleich

Abbildung 33 veranschaulicht über alle Gruppen den Gesamtscore und deren Subskalen in einem Stapeldiagramm. In der gesunden Probandengruppe betrug der Median und der Interquartilsabstand (IQR) des Gesamt-DHI und all seiner Dimensionen Null (Einschlusskritierium). Im Gesamt-DHI erzielten die zervikal defizitären Patienten bei einem IQR von 34 einen medianen Punktwert (Md) von 38.
Die statistischen Ergebnisse des Mann-Whitney-Tests sind in Tabelle 24 abgebildet. Der Median des Gesamt-DHI der zervikal defizitären Patienten war signifikant größer als der der einseitig peripher vestibulär defizitären (Md= 18, IQR =20). Signifikante Unterschiede zwischen den Medianen ergaben sich hinsichtlich der funktionalen und emotionalen Dimension des Fragebogens. Nur in der physischen Dimension konnte keine signifikante Differenz festgestellt werden.

Abbildung 33 DHI Stapeldiagramm über alle Gruppen



Gruppe 1: Gesunde; Gruppe 2: einseitig peripher vestibulär defizitär; Gruppe 3: zervikal defizitär

Tabelle 24 p-Werte des DHI im Gruppenvergleich im Mann-Whitney-Test

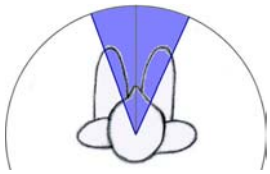
Gruppe	Gesamt DHI	Physische Dimension	Funktionale Dimension	Emotionale Dimension
2	18 (20)	10 (8)	6 (12)	2 (6)
3	38 (34)	12 (12)	14 (16)	10 (6)
	0,011	*0,218*	*0,044*	*<0,0005*

Legende: DHI=Dizziness Handicap Inventory; Gruppe 2: einseitig peripher vestibulär defizitär; Gruppe 3: zervikal defizitär

3.2.2 Der subjektive Nulldurchgang der Kopfgelenke im Gruppenvergleich

Der subjektive Nulldurchgang der Kopfgelenke ist der erste Untersuchungsgang zur kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität, der ohne Kopfbewegung realisierbar ist. Bei fixiertem Kopf war es möglich, Drehbewegungen des Rumpfes durchzuführen, wobei ein Gradmesser kontinuierlich die Auslenkung des Drehstuhls von der Nullposition anzeigte. Als Nullposition wurde die gedachte Linie zwischen Kinn und Knie beim Sitzenden definiert (Abbildung 34).

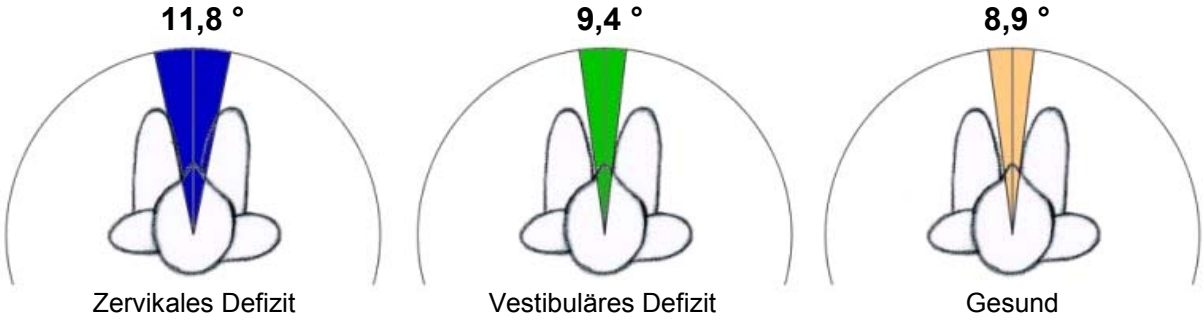
Abbildung 34 Zielparameter bei der Untersuchung: der subjektive Nulldurchgang



Der Proband sollte den Moment per Knopfdruck anzeigen, wenn er den subjektiven Eindruck hat, dass der unter dem Kopf durchrotierende Rumpf die Nullposition zum Kopf durchläuft. Die Abweichung (in Winkelgrad) zwischen der vom Probanden so angegebenen subjektiven und der objektiven Nullposition wurde aufgezeichnet.

Wir haben die Gruppenergebnisse des subjektiven Nulldurchgangs der Kopfgelenke statistisch verglichen. Bei 15 Patienten waren insgesamt 32 fehlende Messungen zu verzeichnen. Die gesunde Kontrollgruppe verfehlte die Nullposition in der ersten von fünf Messeinheiten im Mittel um 8.95° bei einem Standardfehler (SE) von 0.66.

Abbildung 35 Der subjektive Nulldurchgang im Gruppenvergleich



Legende: Gruppe 1: Gesunde; Gruppe 2: einseitig peripher vestibulär defizitär; Gruppe 3: zervikal defizitär

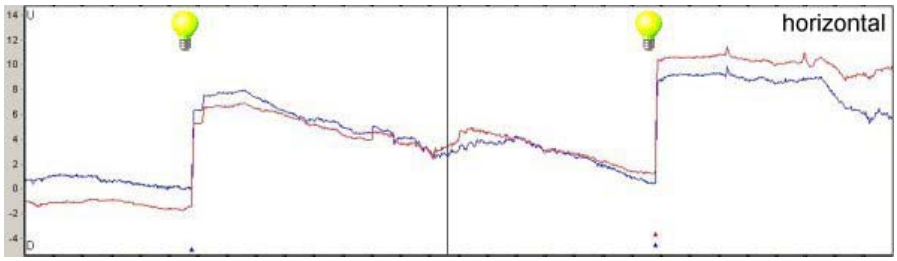
Diese Abweichung ist signifikant von Null verschieden ($p<0.0001$). Bei Patienten mit zervikalem Defizit wurde eine um 2.81° (SE = 0.95) höhere mittlere Abweichung festgestellt. Dieser Unterschied ist ebenfalls signifikant ($p=0.003$). Die Patienten mit vestibulärem Defizit wiesen hingegen im Mittel nur eine um 0.45° (SE = 0.85) höhere Abweichung als die Kontrollgruppe auf, die nicht signifikant ist ($p=0.596$). Die Abweichung der zervikal defizitären Gruppe ist jedoch signifikant größer (um 2.81 – 0.45 = 2.36°; SE = 0.98) als die der einseitig peripher vestibulär defizitären

(p=0.016). Mit jeder weiteren der vier Messwiederholungen nimmt die Abweichung von der Nullposition bei allen Gruppen durchschnittlich um 0.51° (SE = 0.16) ab, was als Lerneffekt gedeutet werden kann (p=0.002).

3.2.3 Der Augenrückstelltest nach Rumpfdrehung im Gruppenvergleich

Der Augenrückstelltest nach Rumpfdrehung ist der zweite Untersuchungsgang zur kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität, der ohne Kopfbewegung realisierbar ist. Hierzu wird dem auf einem Drehstuhl sitzenden Probanden in der Nullposition (Kinn-Knie-Linie) über die 3D-VOG-Brille eine Leuchtdiode angeboten. Der Proband hatte die Aufgabe, mit dem Blick diese Nullposition nach Ausschalten der Diode auch in Dunkelheit weiter zu halten. Der Rumpf wurde nun bei fixierter Kopfposition um 45° im Uhrzeigersinn gedreht. In der tonischen Haltephase bei 45° Rumpfauslenkung wurde die Positionsdiode wieder eingeschaltet. Sollte der Proband beim erneuten Einschalten der Positionsdiode aufgrund einer bewegungsinduzierten unbewussten Augenabweichung nicht mehr die ursprüngliche Nullposition eingestellt haben, so konnte durch die 3D-VOG die ophthalmologische Blickzielbewegung (Augenrückstellsakkade) erfasst werden (Abbildung 36).

Abbildung 36 Beispiel einer deutlich zu erkennenden Augenrückstellsakkade

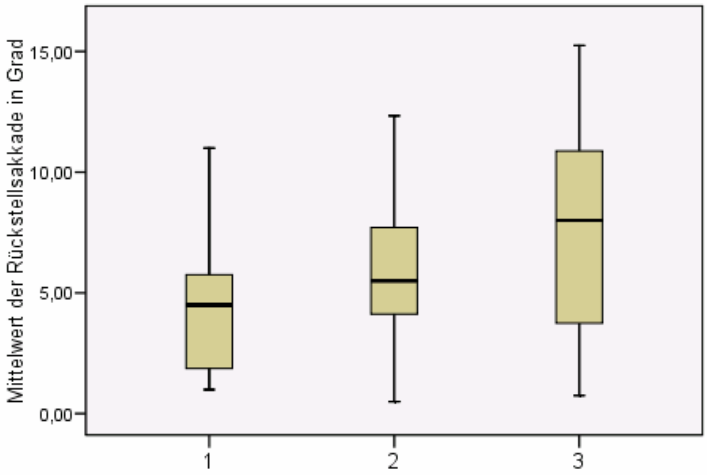


Legende: Birne= Einschalten der Leuchtdiode

Wir haben die Gruppenergebnisse des Augenrückstelltestes nach Rumpfdrehung statistisch miteinander verglichen und in dargestellt. Die zervikal defizitäre

Patientengruppe führte im Mittel in den 4 Messpositionen die bei weitem größte Augenrückstellsakkade durch (Median = 8°, Interquartilsabstand = 7,25 °). Einseitig peripher vestibulär defizitäre Patienten wiesen die zweitgrößte mediane Rückstellsakkade (5,5°, IQR= 3,75°) auf. Die gesunden Probanden hingegen vollzogen die kleinsten mittleren Augenrückstellungen (Md=4,5°, IQR=4,75). Der Median des gemittelten Gradmaßes der zervikal defizitären Gruppe ist signifikant höher als derjenige der gesunden Kontrollgruppe (p=0,025). Die Gruppen der zervikal und einseitig vestibulär defizitären Patienten weisen hingegen keine signifikant verschiedenen Verteilungen des mittleren Gradmaßes auf (p=0,135)

Abbildung 37 Mittelwerte der Augenrückstellsakkade nach Rumpfdrehung im Gruppenvergleich



Legende: Gruppe 1: Gesunde; Gruppe 2: einseitig peripher vestibulär defizitär; Gruppe 3: zervikal defizitär

Tabelle 25 Mann-Whitney-Test für Augenrückstellsakkade nach Rumpfdrehung im Gruppenvergleich

Gruppe	p-Werte
2 vs. 3	0,135
1 vs. 3	0,025
1 vs. 2	0,106

Legende: Gruppe 1: Gesunde; Gruppe 2: einseitig peripher vestibulär defizitär; Gruppe 3: zervikal defizitär; Md = Median

4 Diskussion

Die Erfassung von anamnestischen Angaben zu Schwindelbeschwerden ist komplex und schwer zu vereinheitlichen. Um eine Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Gruppen erzielen zu können, hat sich der Dizziness Handicap Inventory (DHI) in wissenschaftlichen Publikationen etabliert (Kapitel 2.4, Seite 41). Aus den DHI-Ergebnissen ergeben sich interessante Aspekte für die Gruppencharakterisierung

Der DHI wurde in beiden Hauptuntersuchungen zur kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität und zum dreidimensionalen Halsdrehtestes durchgeführt. Die Ergebnisse beider Erhebungen sind von gleicher Aussage und somit als reproduzierbar einzustufen. Die zervikal defizitären Patienten unterscheiden sich in dem medianen Beschwerdescore nicht von den Patienten mit einseitigem peripher vestibulären Defizit. Bei der Symptomatik der Patienten mit einseitigem peripher vestibulären Defizit handelt es sich am ehesten um die Restbeschwerden der strukturellen Läsion im Vestibularorgan. Gesunde zeigen erwartungsgemäß den geringsten DHI-Score. Es ist also festzuhalten, dass die Ergebnisse im DHI-Score für Gesunde und für die Patienten mit einseitigem peripher vestibulären Defizit plausibel sind. Patienten mit fehlendem Korrelat in den neurootologischen Befunden stellen den behandelnden Arzt vor eine Herausforderung. Von einigen Autoren wird in vergleichbaren Fällen die Diagnose „phobischer Schwankschwindel“ geprüft [8], denn der auch in unserer Erhebung signifikant erhöhte emotionale Subscale im DHI könnte für einen psychischen Faktor dieser Gruppe wegweisend sein. Allerdings sind neben den peripher vestibulären Beschleunigungssensoren und ophthalmologischen Informationen die vestibulären Zervikalafferenzen am schwierigsten zu untersuchen. Sollte ein pathologischer manualmedizinischer Befund in solch einer

Patientengruppe durch weitere Untersuchungsbefunde objektivierbar sein, so könnte die hohe emotionale Komponente im DHI als sekundär eingestuft werden und wäre bei der „Diagnoseunsicherheit“, welche meist über mehrere Arztbesuche hinweg anhält, durchaus nachzuvollziehen.

Kraniozervikale Symptome, die auf Störungen der propriozeptiven suboccipitalen Afferenzen zurückzuführen sind, werden in der Fachwelt eben kritisch diskutiert. Hingegen ist das hohe Konvergenzverhalten der somatosensiblen Muskelspindeln auf spinaler Ebene mit Projektionen in die Vestibulariskerne unstrittig [75, 76]. Als Hauptaufgabe wird den Halspropriozeptoren zugesprochen, somatosensible Informationen über die Stellung des Kopfes zum Rumpf für das Vestibularissystem zu generieren [63, 69].

Sollte es ein von zervikal ausgelöstes Unsicherheitsgefühl oder - ganz allgemein gesprochen - eine zervikale Gleichgewichtsstörung geben, dann wären die Symptome am ehesten als Ausdruck einer im Rahmen der räumlichen Orientierung gestörten Kopf-Körper Koordination zu verstehen. Die klinische Erfassung der vestibulären Zervikalafferenzen beim Menschen ist bisher immer noch ein ungelöstes Problem.

4.1 Prinzipielles zur Erfassung der vestibulären Zervikalafferenzen

Einige Autoren favorisieren den „Zervikalnystagmus“ im Halsdrehtest als Messparameter für den Cerviko-okulären Reflex (COR) [36, 40, 79, 90]. Dabei werden die zervikal induzierten Augenbewegungen während der Rumpfdrehung unter fixiertem Kopf aufgezeichnet und bewertet (phasische Untersuchungsbedingungen). Holtmann schlussfolgert aus seinen Untersuchungsergebnissen, dass phasische Ergebnisse im COR in der klinischen

Aussage als unspezifisch eingestuft werden müssen, da der COR auch bei Gesunden nachweisbar ist [36, 37].

Arbeiten neueren Datums widerlegen diese Schlussfolgerung, dass bei zervikal defizitären Patienten die phasische COR-Untersuchung keinen Stellenwert einnimmt. Dabei untersuchen diese Arbeitsgruppen unter zervikaler Provokation die veränderte Wechselwirkung zwischen dem COR und dem Vestibulo-okulären Reflex (VOR), dem Optokinetischen Reflex (OKN) und dem Smooth Pursuit. Hintergrund dieser Untersuchungsmethoden ist die Beobachtung, dass die Blickfeldstabilisierung bei Kopfbewegung größtenteils über Reflexmechanismen gesteuert wird. Nach Untersuchungen verschiedener Autoren sollen der COR mit dem VOR und dem OKN synergistische Funktionen aufweisen [50, 88]. Dabei regelt der VOR die Augenbewegung auf der Basis von vestibulären Informationen. Der OKN reagiert auf visuelle Bewegungsstimulation. Im Gegensatz zum VOR antworten der COR und der OKN am besten auf langsame Geschwindigkeiten der Kopfbewegung. Als Zielparameter gilt ein definierter „Gain“ (Verstärkung), der aus dem Quotienten der Geschwindigkeit der langsamen Phase der Nystagmen und zur Rumpfrotationsgeschwindigkeit gebildet wird. Kelders et al. fanden Unterschiede im Gain in Abhängigkeit vom Alter [49]. Mandellos et al. beschrieben 2006 bei Patienten mit einer Labyrinthdysfunktion einen Anstieg im Gain und sieht im Rahmen einer Literaturübersicht seine Ergebnisse bestätigt [58]. Die Autoren interpretieren diese Erhöhung des Gains als zervikale Unterstützung für die Aufrechterhaltung der Blickfeldstabilität. Die Arbeitsgruppe um Kelders et al. berichteten in den Jahren 2005 und 2006 über einen signifikanten Anstieg des Gains bei Whiplash-Patienten gegenüber altersgematchten Kontrollgruppen [50, 72].

Andere Autoren weisen auf die zervikalpropriozeptive Bedeutung bei der langsamen Blickfolge (Smooth Pursuit) hin. Treleaven et al. berichten im Jahr 2006 über eine

prospektive Studie mit Whiplash-Patienten, in der sie Patienten mit einer gestörten Halspropriozeption in einem so genannten „smooth pursuit neck torsion test“ identifizieren konnten [106, 109].

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass die Arbeit von Holtmann als sehr exakt und wegweisend für die phasischen Untersuchungsbedingungen des COR eingestuft werden muss. Aufgrund der physiologischen Reflexvernetzung nimmt, der COR einen wichtigen Stellenwert in der Kopf-Körper-Koordination ein. Er muss auch bei Gesunden nachweisbar sein. Die Schlussfolgerung Holtmanns allerdings, dass bei zervikal defizitären Patienten die phasische COR-Untersuchung keinen Stellenwert besitzt, wird von Arbeiten neueren Datums widerlegt.

4.2 Der dreidimensionale Halsdrehtest

Bisher wurde der Halsdrehtest nur eindimensional durchgeführt (1D-HDT). Im tonischen Untersuchungsgang wurde der Rumpf unter dem fixierten Kopf durchrotiert und nur ein Horizontalnystagmus für die Bewertung der zervikookulären Bahnen herangezogen. Es wurden weder die dreidimensionalen Freiheitsgrade der Kopfgelenke noch die dreidimensionalen Nystagmusqualitäten untersucht. Die Kopfgelenke wurden nur in einer von drei möglichen Bewegungsdimensionen und in einer von drei möglichen Nystagmusqualitäten auf ein Defizit hin geprüft.

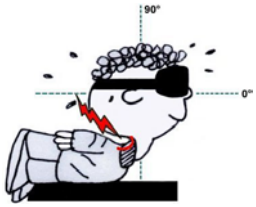
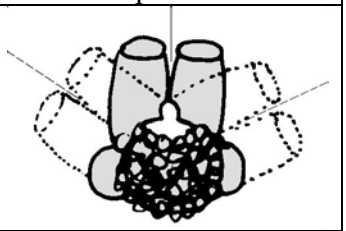
4.2.1 Vorversuche zum dreidimensionalen Halsdrehtest

Wir wollten zunächst bei gesunden Probanden unter Ausschluss des vestibulookulären Reflexbogens (VOR) und optischer Bewegungsreize (OKN) eine zervikotonische Provokation suchen. Diese isolierte Vorgehensweise hat zum Vorteil,

dass etwaige Fehlerquellen und Schwankungsbreiten der Messparameter anderer Methoden unberücksichtigt bleiben.

Die von uns angestrebte Versuchsdurchführung stellt sicher, dass die Kopf-Raum-Lage konstant bleibt und nur die Rumpfposition geändert wird. Dies ist wie beschrieben durch Drehung des Rumpfes unter fixierter Kopfposition möglich. Selbstverständlich kann auch bei konstanter Kopfposition durch Bauch- oder Rückenlage die Kopf-Rumpf-Beziehung geändert werden und stellt damit zur Rumpfdrehung eine gleichberechtigte Testsituation dar (Abbildung 10).

Abbildung 10, Seite 36:Messablauf zervikaler Provokationen bei stationärem Kopf

Spontan	Rumpfanteflexion	Rumpfretroflexion	Rumpfrotation
			

Über diese Untersuchungsmöglichkeit der propriozeptiv-somatosensorischen Halsafferenzen des vestibulären Systems ist bisher in der bestehenden Literatur noch nicht systematisch berichtet worden.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass durch eine segmentale Bewegung der Halswirbelsäule, die über ein gewohntes Bewegungsmaß hinausgeht, ein höchst signifikanter Anstieg der Nystagmusaktivität provozierbar ist (Abbildung 16, Seite 49). Der Vertikalnystagmus ist in den Rumpfhaltepositionen der Flexion und der Rotation gleich stark erhöht und es besteht kein signifikanter Unterschied. Anders der Horizontalnystagmus: dieser ist signifikant häufiger während der Haltephase der Rumpfrotation provoziert worden.

Diese Datenlage unterstreicht die mindestens gleichwertige diagnostische Bedeutung des vertikalen im Vergleich zum horizontalen Nystagmus als Diagnostik

bei zervikaler Provokation. Es ist hervorzuheben, dass unter den Vertikalnystagmus fast ausschließlich Upbeat-Nystagmen vorliegen (Tabelle 6, Seite50).

In einem zweiten Schritt wollen wir untersuchen, ob sich 3D-HDT-Ergebnisse vor und nach den zervikotonischen Provokationsbedingungen (prä-post Vergleich) unterscheiden lassen. Aus Tabelle 8 (Seite 52) wird ersichtlich, dass im Prä-post Vergleich des 3D-HDT nur in Flexionshaltung des Kopfes ein signifikanter Unterschied vor und nach der Provokation besteht. Hauptverantwortlich hierfür ist wieder der Vertikalnystagmus (Abbildung 18, Seite 65).

Ob eine Abhängigkeit der Nystagmusantworten von der Provokationsdimension (Flexion versus Rotation) vorliegt, ist mit dieser Datenlage nicht eindeutig zu beantworten. Wir hatten erwartet, dass der Vertikalnystagmus bei einer zervikotonischen Flexionsprovokation und der Horizontalnystagmus bei einer Rotationsprovokation vorherrschen. Die statistische Prüfung bestätigt diese Annahme für den Horizontalnystagmus. Der Vergleich zwischen einer Flexions- und einer Rotationsprovokation zeigt, dass der Horizontalnystagmus signifikant häufiger ($p<0.005$) durch eine Rotationsprovokation ausgelöst wird. Es bestätigt sich, dass durch Rumpfflexion signifikant mehr VN (Md=1) als HN (Md=0; $p=0.045$) nachweisbar werden. Hierin sehen wir eine Bestätigung unserer Annahmen, auch wenn der erwartete Unterschied für den Vertikalnystagmus zwischen den Provokationsdimensionen nicht eingetreten ist. Eine Erklärung könnte sein, dass die Randomisierung der Provokationen zu einer Vermischung der Messergebnisse führt. Dieses durchaus gängige Studiendesign einer Provokationsrandomisierung hat sich im Nachhinein speziell für diese Fragestellung als Nachteil herausgestellt. Es wäre besser gewesen, wenn in einem mehrarmigen Studiendesign jeder Proband nur mit einer Provokationsdimension (Flexion/Rotation) getestet worden wäre.

Ausnahmslos waren alle Nystagmusreaktionen durch Fixation eines Lichtpunkts auslöschbar.

Am besten sind die beobachteten Nystagmen als Aktivierung des vestibulären Systems über die zervikookulären Bahnen zu verstehen. Denn ohne Beschleunigung des Kopfes besteht normalerweise kein Nystagmus. Ist ein Nystagmus durch eine tonische Haltung auslösbar, so ist auf eine Asymmetrie innerhalb des vestibulären Systems zu schließen. Wir stellen fest, dass die beschriebenen zervikalen Nystagmen im Halsdrehtest als ein physiologisches Phänomen unter unphysiologischen Bedingungen verstanden werden können. An den „zervikalen Provokationen“ ist unphysiologisch, dass die Provokationsbewegungen (Flexion/Rotation) über den weichen Gelenkstopp bis an die knöcherne Gelenkbarriere geführt und dort für mehr als 60 Sekunden gehalten werden. Dies ist für jedes zervikale Bewegungssegment der Halswirbelsäule eine unphysiologische und nicht alltägliche Haltung. Die Messparameter werden unter Provokationsbedingungen erfasst.

Bei Patienten führen muskulär wie kapsulär gestörte Halswirbelsäulensegmente zwischen C0-C3 zu einer eingeschränkten Bewegungsfreiheit. Wir vertreten die Auffassung, dass in solch einer Situation schon Alltagsbewegungen eine „zervikale Provokation“ für das vestibuläre System darstellen können.

4.2.2 Hauptuntersuchung zum dreidimensionalen Halsdrehtest

Nach unserem Auswertungsmodell beträgt der 3D-HDT-Gesamtscore für Gesunde 8,22 Punkte. D.h. auch bei Gesunden kann in der zervikotonischen Untersuchungsphase ein Nystagmus ausgelöst werden. Dies war auch schon im zweiten Vorversuch zum 3D-HDT zu sehen. Wie aus Abbildung 29 und Tabelle 16 (Seite 64) zu entnehmen ist, unterscheiden sich die jeweils verglichenen Gruppen

nur im Vertikalnystagmus signifikant, jedoch nicht im Torsionalnystagmus und nicht im Horizontalnystagmus. Der Subscore des Vertikalnystagmus hat den maßgeblichen Anteil an den Unterschieden, die der 3D-HDT Gesamtscore zwischen den Gruppen aufzeigt. Von diesem Ergebnis ausgehend haben wir den Vertikalnystagmus weiter untersucht. Aus Tabelle 17 (Seite 65) wird ersichtlich, dass ein signifikanter Gruppenunterschied in der Ante- und Retroflexionsuntersuchung im 3D-HDT nachzuweisen ist. Zervikal defizitäre Patienten lassen sich in diesen Kopf-Rumpfpositionen von den anderen beiden Gruppen abgrenzen. Die mediane Häufigkeit der UBN ist in der Gruppe zervikal defizitärer Patienten signifikant größer als der Median bei der einseitig peripher vestibulär defizitären Patientengruppe und als der Median bei den Gesunden (Tabelle 18, Seite 66).

Es ist nicht von Bedeutung, mit welcher Messmethode die zervikovestibulären und zervikookulären Bahnen in den unterschiedlichen Publikationen bisher untersucht wurden. Zum einen benutzen alle Arbeiten bei fixierter Kopfposition die Rumpfrotation als zervikopropriozeptiven Reiz und definieren die Zielparameter nur in horizontaler Dimension. Zum anderen werden vornehmlich phasische Untersuchungsbedingungen verwendet. Vorteil ist, dass diese Untersuchungsformen den physiologischen Reflexbedingungen sehr nahe kommen. Nachteilig wirkt sich aus, dass das Ergebnis schnell durch unterschiedlichste Messparameter gestört werden kann und im Versuchsaufbau sehr aufwändig ist.

Aufgrund klinischer Beobachtungen verfolgen wir einen modifizierten Untersuchungsansatz.

Wir berücksichtigen, dass außer bei einer Wirbelsäulenskoliose die Rotationsebene der Kopfgelenke höchst selten betroffen ist. Klinische Alltagssituationen rufen vielmehr in der Ante- und Retroflexionsebene propriozeptive Fehlinformationen

hervor. Neben traumatischen Anteflex- und Retroflexionsbelastungen bei Auffahrunfällen (Peitschenschlag, engl. whiplash), sind es besonders chronische Kopf-Rumpffehlhaltungen. Ein klinisch häufig zu beobachtendes Beispiel wäre hier die so genannte „Späherhaltung des Kopfes“. Bei dieser Fehlhaltung wird der Schwerpunkt des Kopfes vor dem Rumpf getragen. Begünstigt wird diese muskuläre Dysbalance durch eine einseitige muskuläre Belastung (beispielsweise bei vorwiegend sitzender Tätigkeit am Schreibtisch und vor dem PC, Abbildung 38).

Abbildung 38 Fehlhaltung der Kopfgelenke bei der „Späherhaltung“ am Schreibtisch

In dieser beschriebenen „Späherhaltung“ wird eine Retroflexion im Kopfgelenk C0/C1 eingestellt. Propriozeptiv ist über die beschriebenen Bahnen ein Sinneskonflikt der vertikalen Blickfolge zu erwarten. Denn im zentralvestibulären System könnte ein regelrechtes visuelles Horizontbild im Widerspruch zu den propriozeptiven Informationen einer Retroflexion stehen und einen vestibulären Sinneskonflikt verursachen. Bei chronischer Exposition erfordert dieses eine kontinuierliche visookulomotorische Kompensation der vertikalen Blickfolge. Wir sind der Auffassung, dass nicht nur deren Wegfall (z.B. Dunkelheit, geminderte Vigilanz) eine Minderung der vestibulären Leistungsfähigkeit mit sich bringt.

In unserer Klinik werden zervikal provozierte Nystagmen nur unter tonischen Untersuchungsbedingungen, d.h. erst nach eingenommener Rumpfhalteposition gewertet, um dem pathologischen Geschehen nahe zu kommen. Da der COR physiologischerweise nur während der Relationsbewegung zwischen Kopf- und Rumpfbewegung auftritt, ist klar, dass unter unseren Untersuchungsbedingungen definitionsgemäß nicht eindeutig von einem COR gesprochen werden kann, sondern von einem „*zervikotonischen Provokationsnystagmus*“.

Vorteil dieser Untersuchungsmethode ist, dass die hierfür erforderlichen Untersuchungsbedingungen vergleichbar einfach sind. Hülse und Scherer beschreiben aufgrund ihrer Untersuchungsbeobachtungen das Auftreten von Vertikalnystagmen im HDT [31, 40, 89]. Allerdings fehlt bisher eine systematische Untersuchung speziell zu der Frage der vertikalen Nystagmusrichtung.

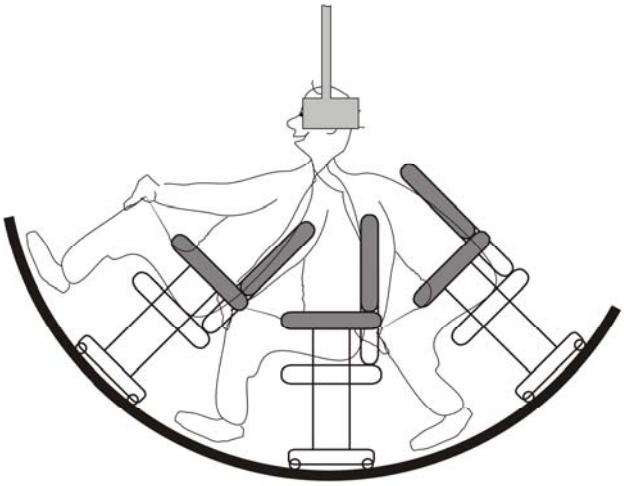
Unter Berücksichtigung unserer Ergebnisse einer Nystagmusmodulation in Abhängigkeit der Kopfposition schlussfolgern wir, dass die Prüfung von 6 unterschiedlichen Kopfhaltepositionen sinnvoll erscheint. Wir konnten unter Verwendung einer 3D-VOG eine signifikante Differenzierung zwischen den Gruppen im 3D-HDT nachweisen. Denn wie Abbildung 30 (Seite 65) zeigt, lassen sich zervikal defizitäre Patienten in der tonischen Kopfhaltephase in Kopf Ante- und Retroflexion vorwiegend durch einen Upbeat-Nystagmus von den beiden anderen Kollektiven abgrenzen.

Da sich weder bei dem Kontrollkollektiv, noch bei dem Kollektiv mit vestibulärem Defizit ein funktionelles Defizit der Kopfgelenke tasten ließ, stellten wir fest, dass eine hohe Koexistenz zwischen einem Upbeat-Nystagmus und einem Funktionsdefizit der Kopfgelenke besteht.

Das für uns überraschend hohe Ergebnis des 3D-HDT-Gesamtscores auch schon bei Gesunden erfordert weitere Analysen des 3D-HDT Untersuchungsgangs. Der in

Abbildung 39 dargestellte Schlitten wurde von uns in Auftrag gegeben. Mit Hilfe dieses Apparates soll der „*zervikotonische Provokationsnystagmus*“ bei standardisierten Rumpfexkursionen in unterschiedlichen Flexionswinkeln in der 3D-VOG evaluiert werden.

Abbildung 39 Halfpipe für Rumpfexkursionen in unterschiedlichen Flexionswinkeln



4.3 Der Vertikalnystagmus

Der Vertikalnystagmus (VN) ist im Halsdrehtest bisher nicht systematisch untersucht worden und generell in der HNO-Diagnostik unterrepräsentiert. Er ist bisher in seiner Differentialdiagnose hauptsächlich zentralneurologischen, medikamentösen und stoffwechselbedingten Ursachen zugeordnet worden. Nach gängiger Lehrbuchmeinung entsteht ein Vertikalnystagmus, wenn eine mittelliniennahe oder bilaterale Läsion (oder Stimulation) eines paarigen Wegs im Hirnstamm oder Flocculus des Kleinhirns zugrunde liegt [31]. Bei einem Vertikalnystagmus muss grundsätzlich zwischen einem nach oben gerichteten Nystagmus (Upbeat-

Nystagmus) und einem nach unten gerichteten Nystagmus (Downbeat-Nystagmus) unterschieden werden. Sie sind in ihrer Bedeutung verschieden.

Die neurobiologischen Erkenntnisse eines Upbeat-Nystagmus sind weitestgehend unklar. Im Gegensatz zum Downbeat-Nystagmus finden sich zum Upbeat-Nystagmus wenig Publikationen. Die bisherigen Modellvorstellungen beruhen lediglich aufgrund von Rückschlüssen weniger klinischer Untersuchungsbefunde. Als mögliche Ursachen für eine Störung, die einen Upbeat-Nystagmus auslösen, kommen neben einer pontinen Läsion vor allem Läsionen in der kaudalen Medulla oblongata in Betracht [26, 27, 60, 82].

Auch wenn der Vertikalnystagmus vorwiegend ein zentralvestibuläres Phänomen bleibt, so stellen wir uns aufgrund unserer klinischen Beobachtungen die Frage, ob ein Vertikalnystagmus auch von zervikal her ausgelöst oder in seiner Stärke moduliert werden kann. Im Tiermodell weisen zwei Arbeiten auf neuronale Konvergenzen der zervikalen Afferenzen in den Nucleus präpositus hypoglossi hin [23, 111].

Dieser wiederum wird in der Übersichtsarbeit von Helmchen et al. in der kaudalen Medulla oblongata überwiegend als Läsionsort für einen Upbeat-Nystagmus verantwortlich gemacht [31].

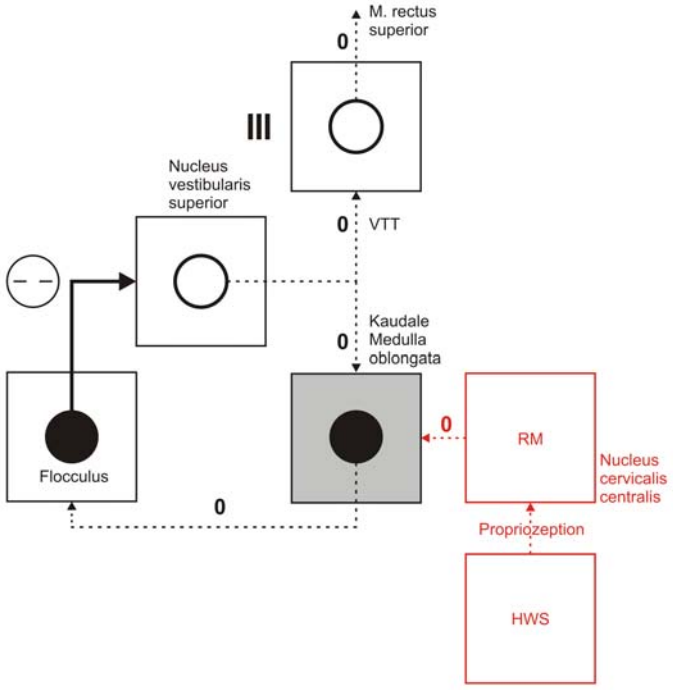
Pierrot-Deseilligny C et al. haben ihre Modellvorstellung eines Upbeat-Nystagmus nach einer Läsion in der caudalen Medulla oblongata skizziert, welche in Abbildung 40 modifiziert wiedergegeben wird [82].

Hauptaussage nach Pierrot-Deseilligny et al. ist, dass eine Störung in dem inhibitorischen Kontrollkreis zwischen der caudalen Medulla oblongata, dem Kleinhirn und dem Nucleus vestibularis superior einen Upbeat-Nystagmus verursachen soll.

Nach den Vorstellungen am Tiermodell erfüllt die zervikale Afferenz in der kaudalen Medulla oblangata (Abbildung 40) zumindest die theoretische Voraussetzung für das

Auftreten eines Upbeat-Nystagmus: sie ist bilateral, mittelliniennah und macht aus neurophysiologischer Sichtweise nachvollziehbar, dass eine als „Läsion“ auch als Ausdruck eines „funktionellen Sinneskonflikt“ auf Hirnstammebene verstanden werden kann.

Abbildung 40 Modellvorstellung zum funktionellen Upbeat-Nystagmus



Eine modifizierte Abbildung nach Pierrot-Deseilligny C et al. [82]
VTT = Tractus tegmentalis ventralis; RM = Rückenmark; HWS = Halswirbelsäule

Ein Vertikalnystagmus nach oben wird in der Literatur durch einen mittelliniennahen Defekt in der Medulla definiert. Unsere Patienten mit Schwindelbeschwerden waren alle von neurologischer Seite betrachtet als unauffällig bezeichnet worden.

Es ist als unwahrscheinlich zu erachten, dass diese 93 Patienten mit Schwindelbeschwerden trotz eines unauffälligen neurologischen Untersuchungsbefundes eine nicht diagnostizierte und vor allem isolierte caudale Medullaläsion aufweisen. Hervorhebenswert erscheint in diesem Zusammenhang,

dass alle Modellvorstellungen auf eine strukturelle und bildmorphologisch nachweisbare Läsion abzielen.

Es kann kritisch bemerkt werden, dass es im Untersuchungsgang des 3D-HDT beispielsweise während der Ante- bzw. Retroflexion zu einer Änderung der auf das Gleichgewichtsorgan gerichteten Schwerkraft kommt. Experimentelle Untersuchungsergebnisse, die auf eine schwerkraftabhängige Ursache (Kopfposition im Raum) für den Upbeat-Nystagmus hinweisen, finden sich weit weniger als für den Downbeat-Nystagmus. Die bislang beschriebenen Schwerkrafteinflüsse auf den Upbeat-Nystagmus müssen massiver Natur sein und werden einer Störung der zentralen Signalverarbeitung der Otolithenorgane zugeschrieben (Übersicht [82]). Durch eine „upsidedown“ Körperrotation verstärkt sich der UBN, während der UBN bei Gesunden durch Schwerkraftverstärkung (Zentrifuge) ausgelöst wird und der vertikale VOR sich in der Schwerelosigkeit abschwächt.

Aus der experimentellen Datenlage schlussfolgern Pierrot et al., dass der Einfluss der Schwerkraft auf den Upbeat-Nystagmus gering ist [82].

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in ca. 30% der Fällen die Ursache eines Vertikalnystagmus bisher nicht geklärt werden kann und der Upbeat-Nystagmus viel weniger von der Schwerkraft abzuhängen scheint als der Downbeat-Nystagmus [26, 82]. Unsere Ergebnisse legen nahe, dass ein Upbeat-Nystagmus auch als Symptom einer zervikalen somatosensorischen Fehlinformation im vertikalen VOR System interpretierbar sein sollte.

4.4 Der dreidimensionale Halsdrehtest im Gruppenvergleich zum eindimensionalen Halsdrehtest

Der dreidimensionale Untersuchungsgang des 3D-HDT stellt im Vergleich zum herkömmlichen eindimensionalen Halsdrehtest (1D-HDT) einen diagnostischen Mehraufwand dar. Deshalb schließt sich die Frage an, ob der 3D-HDT durch die diagnostische Erweiterung dem 1D-HDT in Sensitivität oder Spezifität überlegen ist.

Hierfür haben wir alle Untersuchungsreihen nach dem Modell des 1D-HDT und des 3D-HDT ausgewertet. Basierend auf die in Kapitel 2.2.2 (Seite 33) dargelegten Kriterien eines positiven oder negativen Testergebnisses haben wir den 1D-HDT mit dem 3D-HDT statistisch miteinander verglichen.

Unter zervikalen Provokationsbedingungen stieg im Vorher-Nachher-Vergleich bei 30 Probanden nur das 3D-HDT-Ergebnis signifikant an. Der 1D-HDT konnte nur in 10% der Fälle die zervikale Aktivierung abbilden, was für eine geringe Sensitivität spricht. Damit weist der 3D-HDT 60% richtig positive Testergebnisse auf.

Die gleichen Aussagen bestätigen sich in dem dreiarmigen Untersuchungskollektiv. Altersunabhängig erkennt der 1D-HDT nur 21% der Fälle im Vergleich zu 87% im Vergleich zum 3D-HDT, was die hohe Sensitivität des 3D-HDT unterstreicht. Hinsichtlich der Spezifität kann gesagt werden, dass sie im 3D-HDT bei 83% und im 1D-HDT bei 43% liegt.

4.5 Die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität

Neben der Betrachtung dieser reflektorischen Haltungssysteme scheint auch die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität in die Kopf-Körper-Koordination involviert zu sein [29, 30, 98, 103, 108].

Bezüglich des Kopfes besitzt insbesondere der Hals eine tragende Stabilisierungs- sowie eine Balance- und Bewegungsfunktion. Für die Kopf-Rumpfkoordination zur Orientierung im dreidimensionalen Raum stehen neben intrakraniellen Informationen aus dem vestibulären und visuellen System vor allem die extrakraniellen halspropriozeptiven Signale für eine exakte Kopf-Rumpf Positionsmeldung zur Verfügung. Extrakranielle Afferenzen benötigt das vestibuläre System zum einen für die Kopf-Rumpf-Koordination im Rahmen der räumlichen Orientierung, zum anderen für die langsame sowie schnelle Blickfeldstabilisierung.

Über vestibuläre und zervikale Reflexe ist eine Interaktion und Feinabstimmung dieser Subsysteme gewährleistet [32, 44, 68]. Der Einfluss des zervikalen propriozeptiven Systems auf das visuelle und vestibuläre System wurde unter anderem von Barlow et al. und Kobayashi et al. dargelegt [5, 6, 51].

In der Diagnostik von Koordinations- und Gleichgewichtsstörungen spielen okulomotorische Funktionstests (Optokinetischer Test, Eye Trecking Test, Smooth Pursuit Test) eine wichtige Rolle. Üblicherweise werden diese zum Nachweis von Läsionen im Hirnstamm und Zerebellum verwendet, da die Steuerung von langsamen Augenfolgebewegungen und Sakkaden im Hirnstamm und Kleinhirn wichtige Relaisstationen besitzen [31]. Doch auch bei Patienten mit Schleudertraumata wurden pathologische Okulomotorik-Tests beschrieben, die durch eine Beeinträchtigung der vestibulär relevanten zervikalen Propriozeptoren erklärt werden können [33, 34, 80]. Bei Koordinations- und Gleichgewichtsstörungen aufgrund zervikaler Dysfunktionen werden Untersuchungen mit einbezogen, die die zerviko-okuläre Reflexbahnen berücksichtigen. Für schnelle Anforderungen der Blickfeldstabilisierung wird im Halsdrehtest der zervikookuläre Reflex getestet [36, 40, 79, 89, 91]. Da der kraniozervikale Übergang aber ebenso bei langsamen

Blickfolgebewegungen involviert ist, haben Tjell und Rosenhall den „smooth pursuit neck torsion test“ eingeführt [106]. Dieser konnte anhand zahlreicher Untersuchungsreihen validiert werden und besitzt inzwischen einen wichtigen Stellenwert in der zervikalen propriozeptiven Diagnostik [59, 108, 109].

Revel et al. führten 1991 einen Test ein, um den Stellungssinn, die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität, als Leistung des zervikalen propriozeptiven Systems direkt zu messen [85]. Dabei wird die Fähigkeit des Probanden untersucht, den Kopf nach einer Bewegung aus der Referenzposition heraus wieder in diese zurückzuführen. Es konnte gezeigt werden, dass die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität von Informationen aus den Muskel- und Gelenkrezeptoren des zervikalen propriozeptiven Systems abhängt und eine Störung derselben zum einen durch direkte Schädigung oder funktionelle Beeinträchtigung der rezeptortragenden Strukturen, zum anderen durch eine Veränderung der afferenten Integration erklärt werden kann [54, 102, 114].

Wir stellen zwei erste Ergebnisse aus neu eingeführten Testreihen zur Untersuchung der kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität vor: den „subjektiven Nulldurchgang der Kopfgelenke“ und die „Rückstellsakkade bei Rumpfrotation“.

Im „subjektiven Nulldurchgang der Kopfgelenke“ geschieht die Messung der kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität nicht wie bisher über Rekapitulation von Kopfbewegungen, sondern über das zervikale propriozeptive System, welches bei fixiertem Kopf durch Drehbewegungen des Rumpfes getestet wird. Dadurch gelingt es, potentielle Störungen aus den Bogengängen und Otolithenorganen auszuschalten.

Abbildung 13, Seite 39: Zielparameter bei der Untersuchung: der subjektive Nulldurchgang

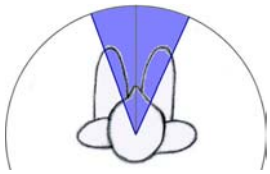


Abbildung 13 (Seite 39) verdeutlicht noch einmal den Zielparameter, der für den subjektiven Nulldurchgang definiert wurde. Es zeigte sich, dass sich Patienten mit einer funktionellen Störung im Bereich des zervikalen propriozeptiven Systems in der mittleren Abweichung um die objektive Nullposition sowohl von der anderen Test- wie auch Kontrollgruppe signifikant unterscheiden lassen.

Im „subjektiven Nulldurchgang der Kopfgelenke“ ließ sich durch die Messung der „mittleren Abweichung von der objektiven Nullposition“ ein Parameter definieren, mit dem es uns möglich wurde, eine gestörte kraniozervikale kinästhetische Sensibilität abzubilden.

Der „Augenrückstelltest bei Rumpfdrehung“ beleuchtet die Zusammenhänge zwischen propriozeptivem und visuell-okulomotorischem System in der Kontrolle der Kopf-Körperkoordination. Karlberg et al. zeigten, dass Änderungen in der Qualität der zervikalen propriozeptiven Information willkürliche Augenbewegungen beeinflussen können [48].

Die Messung der Augenrückstellsakkade bei Rumpfdrehung erfolgte ebenfalls aufgrund der Beobachtung, dass eine gestörte Integrität der Halspropriozeption zu einer Dysfunktion der Kopf-Körperkoordination führt. Hypothese war, dass diese Dysfunktion die Unfähigkeit zur Folge haben müsse, nach Rumpfdrehung in Dunkelheit einen virtuellen visuellen Fixpunkt zu halten. Patienten mit einem gestörten kraniozervikalen Übergang benötigen eine wesentlich größere Rückstellbewegung als „Halsgesunde“.

In der statistischen Analyse der Messungen des Augenrückstelltestes bei Rumpfdrehung ergab sich - wie beim „subjektiven Nulldurchgang“ - ein relevanter und signifikanter Gruppenunterschied zwischen zervikal defizitären Patienten und Gesunden (Mediandifferenz 3.5°). Der Unterschied zwischen zervikal und einseitig peripher vestibulär defizitären Patienten ist beträchtlich aber nicht signifikant (Mediandifferenz 2.5°), während die Differenz zwischen einseitig peripher vestibulär defizitären Patienten und Gesunden als irrelevant erscheint (Mediandifferenz 1°). Diese Ergebnisse sind als weitere Hinweise für die Hypothese zu werten, dass zervikale propriozeptive Afferenzen in das System der langsamen Blickfolge mit „eingespeist“ werden. Es könnte die Aufgabe dieser Halspropriozeption sein, die Rumpfdrehung im gleichen Maß okulär gegenzusteuern, um die nicht mehr sichtbare Diodennullposition zu halten. Nur bei intakter zervikaler Propriozeption scheint eine exakte Diodenposition während der Rumpfrotation ohne okuläre Fixation möglich zu sein.

4.5.1 Anwendungsorientierte Bewertung

Nach Maßgabe der oben genannten statistisches Ergebnis wird als Arbeitsmodell für den „subjektiven Nulldurchgang“ ein mittlerer Abweichungswinkel von > 10° als pathologisch vorgeschlagen. Im „Augenrückstelltest“ wird eine Rückstellsakkade > 6° als pathologisch erachtet. Diese Werte haben einen modellhaften Charakter und dienen zunächst als Arbeitsmodell.

Die Tabelle 26 listet die Testauswertung auf. Es ist hervorzuheben, dass bei der Gruppe mit einem zervikalen Defizit insgesamt 34 von 48 durchgeführten Testungen pathologisch ausfallen.

Tabelle 26 Anwendungsorientierte der Bewertung der kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität

Gruppe	Nulldurchgang	Sakkadenrückstelltest
Zervikal defizitäre Gruppe		
12	pathologisch	pathologisch
8	pathologisch	o.B.
2	o.B.	pathologisch
2	o.B.	o.B.
1		nicht auswertbar
Vestibulär defizitäre Gruppe		
4	pathologisch	pathologisch
8	pathologisch	o.B.
7	o.B.	pathologisch
4	o.B.	o.B.
Kontrollgruppe		
2	pathologisch	pathologisch
3	pathologisch	o.B.
3	o.B.	pathologisch
14	o.B.	o.B.
3		nicht auswertbar

Bei 12 Patienten dieser Gruppe sind beide Testläufe pathologisch. Dies hebt sie von den beiden anderen Gruppen ab. Patienten mit einem vestibulären Defizit weisen pathologische Ergebnisse in 23 von 46 durchgeführten Testungen auf. Lediglich 4 Patienten dieser Gruppe werden nach beiden Testprozeduren für pathologisch befunden. In der Kontrollgruppe zeigen nur 2 Probanden in beiden Testungen pathologische Ergebnisse.

Es ist wichtig, einfach durchzuführende und gut miteinander kombinierbare Tests zu entwickeln, um den logistischen und apparativen Aufwand zu begrenzen. Die hier vorgestellten Untersuchungen erfüllen diese Anforderungen.

Aus den in 3.4 bewerteten Ergebnissen wird deutlich, dass insbesondere der „mittlere Abweichungswinkel“ im subjektiven Nulldurchgang einen hohen Stellenwert in der Diagnostik zervikaler Gleichgewichtsstörungen zukommt und dass die Sensitivität durch die Kombination mit der „Rückstellsakkade“ noch gesteigert werden kann.

5 Zusammenfassung

Das vestibuläre System bezieht Informationen über unsere Bewegungen im Schwerefeld der Erde mithilfe vieler unterschiedlicher Sensoren. Die Halspropriozeptoren erweitern das Erfassungsspektrum der Kopf-Rumpf-Position für die räumliche Orientierung. Sie liefern zum einen statische Informationen über den Dehnungszustand der suboccipitalen Muskulatur und zum anderen liefern sie Stellungsinformationen im unterschwelligen vestibulären Funktionsbereich. Die Projektionswege der dickkalibrigen Muskelafferenzen, auch Typ-Ia-Fasern, genannt können als gut untersucht angesehen werden.

Heute ist nicht mehr die Existenz der zervikookulären Bahnen strittig, sondern vielmehr die Frage, ob - vergleichbar zu einer vestibulären Rezeptorstörung - eine zervikalsomatosensorische Rezeptordysfunktion zu einer Bewegungsillusion führen kann oder nicht.

5.1 Der Halsdrehtest

Eine der Untersuchungsmöglichkeiten von halspropriozeptiven Funktionsstörungen stellt der sogenannte Halsdrehtest dar. Hierbei werden die Kopfgelenke nur in einer von drei möglichen Bewegungsdimensionen innerhalb einer von drei möglichen Nystagmusqualitäten auf ein Defizit hin geprüft. Nach unserer Auffassung bildet diese eindimensionale Form des Halsdrehtestes (1D-HDT) weder die dreidimensionalen Freiheitsgrade der Kopfgelenke im Alltagsgebrauch noch die dreidimensionalen Nystagmusqualitäten ab.

Aus diesem Grund haben wir den Halsdrehtest dahingehend modifiziert, dass sowohl der Dreidimensionalität der Halswirbelsäulenbewegung (Seitneigung, Flexion,

Rotation) als auch der Nystamusdimensionen Rechnung getragen wird. Für diesen Test haben wir ein Auswertungsmodus entwickelt, der einen Test als Gesamtscore berechnen lässt. Weiter können mit diesem System unterschiedliche Subscores errechnet werden.

5.1.1 Vorversuche zum dreidimensionalen Halsdrehtest

Da keine systematischen Voruntersuchungen zum tonischen Zervikalnystagmus in der Literatur bekannt sind, sollte ein Vorversuch klären, ob eine dreidimensionale zervikotonische „Provokation“ der Halswirbelsäule mit einer dreidimensionalen Nystagmusreaktion korrespondiert.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei stationärer Kopf-im-Raum-Position signifikante Nystagmusreaktionen in dreidimensionaler Richtung während der Änderung der Rumpf-im-Raum-Position nachweisbar wurden. Dieser Nystagmus kann als „*zervikotonischer Provokationsnystagmus*“ bezeichnet werden. Unter zervikotonischen Provokationsbedingungen mittels Rumpfrotation sind im Vergleich zur Ante- und Retroflexion mehr Horizontalnystagmen nachweisbar ($p=0,001$). Der Vertikalnystagmus ist in beiden Provokationsformen gleich häufig verteilt und präsentiert somit den dominierenden Messparameter. Bei den Vertikalnystagmen handelt es sich fast ausschließlich um Upbeat-Nystagmen.

In einem zweiten Vorversuch haben wir vor und nach der zervikotonischen Provokation (Vorher-Nachher-Vergleich) die Ergebnisse des 3D-HDT miteinander verglichen. Der 3D-HDT Gesamtscore zeigt hier keinen signifikanten Effekt. Allerdings ist im Vorher-Nachher-Vergleich der 3D-HDT Subscore für den Vertikalnystagmus signifikant ($p<0,002$) erhöht. Zu sehen ist, dass der VN in den Flexionsuntersuchungsgängen hauptverantwortlich für den Ergebnisanstieg ist. Innerhalb dieser VN liegen fast ausschließlich Upbeat-Nystagmen vor.

5.1.2 Hauptuntersuchung zum dreidimensionalen Halsdrehtest

Nach diesen Vorversuchen an Probanden wurde in einer dreiarmig prospektiven Untersuchungsreihe evaluiert, ob sich zervikaldefizitäre Patienten von Gesunden und von einseitig peripher vestibulär defizitären Patienten abgrenzen lassen.

Die Ergebnisse zeigen, dass auch bei Gesunden ein zervikotonischer Provokationsnystagmus nachweisbar ist. Die Gruppen lassen sich deutlich und hochsignifikant durch den 3D-HDT Gesamtscore unterscheiden. Patienten mit einem gestörten kraniozervikalen Übergang weisen den höchsten Score auf. Die jeweils verglichenen Gruppen unterscheiden sich nicht im Torsionalnystagmus, nicht im Horizontalnystagmus, sondern nur im Vertikalnystagmen signifikant. Der Subscore des Vertikalnystagmus hat den maßgeblichen Anteil an den Unterschieden, die der 3D-HDT Gesamtscore zwischen den Gruppen aufzeigt.

Der Upbeat-Nystagmus stellt einen signifikanten Zusammenhang zu dem Untersuchungsabschnitt der Flexionsuntersuchungen (Kopfante- und retroflexion) her, jedoch nicht bezüglich einer Untersuchung während der Rumpfdrehung. In der Analyse der Kopfpositionen fällt auf, dass eine signifikante Gruppenunterscheidung in den Haltepositionen der Kopfante- und retroflexion durch die Upbeat-Nystagmen (Patienten mit zerviko-somatosensorischen Defizit weisen die meisten auf) möglich ist.

Der dreidimensionale Untersuchungsgang des 3D-HDT stellt im Vergleich zum herkömmlichen eindimensionalen Halsdrehtest (1D-HDT) einen diagnostischen Mehraufwand dar. Nach unserer Einschätzung lohnt sich der Aufwand. Der 3D-HDT weist eine Sensitivität von 87% im Vergleich zu 21% im 1D-HDT auf. Hinsichtlich der Spezifität kann gesagt werden, dass sie im 3D-HDT bei 83% und im 1D-HDT bei 43% liegt.

Die Erklärungen unserer Untersuchungsergebnisse stehen noch ganz am Anfang, denn in der Literatur finden sich zu diesen Beobachtungen kaum anwendbare Daten. In neurologischen Publikationen bleibt die Genese eines Upbeat-Nystagmus weitestgehend unklar. Von neurologischer Seite wird der Halsdrehtest (HDT) nicht zur Diagnostik verwendet. Der Vertikalnystagmus (VN) ist im HDT bisher nicht systematisch untersucht und generell in der HNO-Diagnostik unterrepräsentiert. In erster Linie wird der VN von HNO Ärzten nicht beachtet, weil er in seiner Differentialdiagnose hauptsächlich zentralneurologischen, medikamentösen und stoffwechselbedingten Ursachen zuzuordnen ist.

Als mögliche Ursachen für einen Vertikalnystagmus kommen neben einer pontinen Läsion vor allem Läsionen in der kaudalen Medulla oblongata in Betracht [26, 27, 60, 82]. Im Tiermodell weisen zwei Arbeiten auf neuronale Konvergenzen der zervikalen Afferenzen in den Nucleus präpositus hypoglossi hin. [23, 111]. Nach Tiermodellvorstellungen konvergieren ein Teil der propriozeptiven Fasern über den Nucleus cervicalis centralis auch in den Nucleus präpositius hypoglossi [75, 76]. Damit erfüllt die zervikale Afferenz zumindest die theoretische Voraussetzung für das Auftreten eines VN: denn sie ist bilateral, mittelliniennah und macht aus neurophysiologischer Sichtweise nachvollziehbar, dass eine als „Läsion“ verstandene Störung in dem Kerngebiet auch als Ausdruck einer „funktionellen Aktivierung“ auf Hirnstammebene verstanden werden kann.

Aus den Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass ein *„zervikotonischer Provokationsnystagmus“* auch bei Gesunden auslösbar ist und weitere Analysen erfordert. Bei Patienten mit Verdacht auf ein zervikal-somatosensorisches Defizit erscheint die zervikotonische Prüfung von dreidimensionalen Kopf-Rumpf-Positionen sinnvoll. Die Untersuchungsvoraussetzungen hierfür sind denkbar einfach.

5.2 Die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität

In einem weiteren, aber gleich aufgebauten dreiarmigen Untersuchungsgang wurden Aspekte der kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität untersucht.

Allgemein versteht man unter kinästhetischer Sensibilität die (Eigen-) Wahrnehmung der Gelenk- als auch der Körperstellung. Die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität beschreibt die Eigenwahrnehmung der Kopf-Rumpf-Position. Grundlegend für diese Körperfunktion sind ebenfalls die Halspropriozeptoren. Erst in den letzten Jahren haben Forschungsarbeiten diesen Aspekt der Körpereigenwahrnehmung aufgegriffen, um die halspropriozeptive Sensorfunktion zu beschreiben und zu messen. Damit wird die propriozeptive Funktion nicht nur im Rahmen der rein zervikovestibulären Funktion verstanden, sondern auch als zervikal-afferente Sensorinformation aus den Muskelspindeln, Sehnenorganen, Gelenk- und Hautsensoren, die zu den komplexen Wahrnehmungen der Körperstellung und –bewegung zwischen Kopf und Rumpf zählen.

Mit dem Untersuchungsgang des „Re-positionings“ konnten bisher in mehreren Studien Patienten mit einer Beschleunigungsverletzung der Halswirbelsäule von Gesunden unterschieden werden [29, 57]. Aus unserer Sicht haben diese Untersuchungen einen gravierenden methodischen Schwachpunkt, denn der Untersuchungsgang sieht eine aktive Veränderung der Kopf-im-Raum-Position durch den Patienten vor. Dies bedeutet für das gesamtvestibuläre System, dass eventuelle peripher vestibuläre Rezeptordefizite mit denen der kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität nicht differenziert werden können. Wir haben deshalb einen phasischen („subjektive Nulldurchgang der Kopfgelenke“) und einen tonischen Untersuchungsgang („Augenrückstell-Test nach Rumpfdrehung“) für die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität konzipiert.

Im „subjektiven Nulldurchgang der Kopfgelenke“ geschieht die Messung der kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität nicht wie bisher über Rekapitulation von Kopfbewegungen, sondern das zervikalpropriozeptive System wird bei fixiertem Kopf durch Drehbewegungen des Rumpfes getestet. Der Proband muss per Knopfdruck angeben, wann der Rumpf die „Kinn-Knie Linie“ durchläuft.

Die Messung der Augenrückstellsakkade nach Rumpfdrehung erfolgte mit der dreidimensionalen Videookulographie. Hypothese war, dass diese Dysfunktion die Unfähigkeit zur Folge haben müsse, nach Rumpfdrehung in Dunkelheit einen virtuellen visuellen Fixpunkt zu halten. Patienten mit einem gestörten kraniozervikalen Übergang benötigen eine wesentlich größere Rückstellbewegung als „Halsgesunde“.

Sowohl im Augenrückstelltest wie auch bei der Erfassung des subjektiven Nulldurchgangs ergab sich ein relevanter und signifikanter Gruppenunterschied zwischen zervikal defizitären Patienten und Gesunden.

Aus den bewerteten Ergebnissen wird deutlich, dass der subjektive Nulldurchgang und die Rückstellsakkade nach Rumpfdrehung in der Diagnostik der kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität möglich ist und dass die Testkombination das Ergebnis weiter verbessert.

6 Literaturverzeichnis

1. Allund M, Larsson,SE, Ledin,T, Odkvist,L, Moller,C (1991) Dynamic posturography in cervical vertigo. Acta Otolaryngol Suppl (Stockh): 601-2
2. Arvidsson J, Pfaller K (1990) Central projections of C4-C8 dorsal root ganglia in the rat studied by anterograde transport of WGA-HRP. J Comp Neurol 292: 349-62
3. Bankoul S, Goto T, Yates B, Wilson VJ (1995) Cervical primary afferent input to vestibulospinal neurons projecting to the cervical dorsal horn: an anterograde and retrograde tracing study in the cat. J Comp Neurol 353: 529-38
4. Bankoul S, Neuhuber WL (1992) A direct projection from the medial vestibular nucleus to the cervical spinal dorsal horn of the rat, as demonstrated by anterograde and retrograde tracing. Anat Embryol (Berl) 185: 77-85
5. Barlow D, Freedman W (1980) Cervico-ocular reflex in the normal adult. Acta Otolaryngol 89: 487-96
6. Barlow DE, Freedman W (1981) Human Cervico-ocular reflex in the presence of a visual stimulus. IEEE Trans Biomed Eng 28: 364-6
7. Bizzi E (1981) Eye-head coordination. In Handbook of Physiology. Baltimore: V.Brooks
8. Brandt T, Dieterich M, Strupp M (2004) Vertigo. Leitsymptom Schwindel. Steinkopff Verlag Darmstadt,
9. Brandt TB, W (1983) Augenbewegungsstörungen. Gustav Fischer, Stuttgart, NY
10. Chan YS, Kasper J, Wilson VJ (1987) Dynamics and directional sensitivity of neck muscle spindle responses to head rotation. J Neurophysiol 57: 1716-29
11. Clark B, Stewart JD (1968) Comparison of three methods to determine thresholds for perception of angular acceleration. Am J Psychol 81: 207-16
12. Clarke AH, Teiwes W, Oelhafen P, Scherer H (1993) Three-dimensional aspects of caloric nystagmus in humans: I. The influence of increased gravitoinertial force. Acta Otolaryngol 113: 687-92
13. Clarke AH, Waldmann K, Scherer H (1993) Three-dimensional aspects of caloric nystagmus in humans: II. Caloric-induced torsional deviation. Acta Otolaryngol 113: 693-8
14. Committee on Hearing and Equilibrium (1995) Committee on Hearing and Equilibrium guidelines for the diagnosis and evaluation of therapy in Meniere's diseases. Otolaryngol Head Neck Surg 113: 181-5
15. Davis A, Moorjani P (2003) The epidemilogy of hearing and balance disorders. In Luxon ML, Furmann IM, Martini A, Stephens D, Dunitz M (eds). Textbook of audiological medicine. Martin Dunitz, London, pp 89-99.
16. Depondt M, Ampe W, Van de Calseyde P (1974) Cervical nystagmus. Acta Otorhinolaryngol Belg 28: 313-25
17. Donevan AH, Neuber-Hess M, Rose PK (1990) Multiplicity of vestibulospinal projections to the upper cervical spinal cord of the cat: a study with the anterograde tracer Phaseolus vulgaris leucoagglutinin. J Comp Neurol 302: 1-14
18. Dutia MB (1991) The muscles and joints of the neck: their specialisation and role in head movement. Prog Neurobiol 37: 165-78
19. Ernst A, Freesmeyer W (2007) Funktionsstörungen im Kopf-Hals-Bereich. Thieme Verlag, Stuttgart New York

20. Fuller JH (1980) The dynamic neck-eye reflex in mammals. Exp Brain Res 41: 29-35
21. Gandevia S, McCloskey,DI, Burke,D (1992) Kinesthetic signals and muscle contraction. Trans Neurosci: 62-5
22. Garten H (2004) Lehrbuch der Applied Kinesiologie - Muskelfunktion, Dysfunktion, Therapie, Kap 12. München: Urban und Fischer Verlag
23. Gdowski GT, Belton T, McCrea RA (2001) The neurophysiological substrate for the cervico-ocular reflex in the squirrel monkey. Exp Brain Res 140: 253-64
24. Gianna C, Heimbrand S, Gresty M (1996) Thresholds for detection of motion direction during passive lateral whole-body acceleration in normal subjects and patients with bilateral loss of labyrinthine function. Brain Res Bull 40: 443-7; discussion 8-9
25. Grigg P, Finerman GA, Riley LH (1973) Joint-position sense after total hip replacement. J Bone Joint Surg Am 55: 1016-25
26. Halmagyi GM, Leigh RJ (2004) Upbeat about downbeat nystagmus. Neurology 63: 606-7
27. Halmagyi GM, Rudge P, Gresty MA, Sanders MD (1983) Downbeating nystagmus. A review of 62 cases. Arch Neurol 40: 777-84
28. Hassenstein B (1988) Der Kopfgelenksbereich im Funktionsgefüge der Raumorientierung: systemtheoretische bzw. biokybernetische Gesichtspunkte. In Die Sonderstellung des Kopfgelenksbereichs. Grundlagen, Klinik, Begutachtung., pp. 1-17: Springer, Berlin, Heidelberg
29. Heikkila H, Astrom PG (1996) Cervicocephalic kinesthetic sensibility in patients with whiplash injury. Scand J Rehabil Med 28: 133-8
30. Heikkila HV, Wenngren BI (1998) Cervicocephalic kinesthetic sensibility, active range of cervical motion, and oculomotor function in patients with whiplash injury. Arch Phys Med Rehabil 79: 1089-94
31. Helmchen C (2007) Zentraler Schwindel. Med Welt 58: 180-5
32. Hikosaka O, Maeda M (1973) Cervical effects on abducens motoneurons and their interaction with vestibulo-ocular reflex. Exp Brain Res 18: 512-30
33. Hildingsson C, Wenngren BI, Bring G, Toolanen G (1989) Oculomotor problems after cervical spine injury. Acta Orthop Scand 60: 513-6
34. Hildingsson C, Wenngren BI, Toolanen G (1993) Eye motility dysfunction after soft-tissue injury of the cervical spine. A controlled, prospective study of 38 patients. Acta Orthop Scand 64: 129-32
35. Hirai N, Hongo T, Sasaki S, et al (1984) Neck muscle afferent input to spinocerebellar tract cells of the central cervical nucleus in the cat. Exp Brain Res 55: 286-300
36. Holtmann S, Reiman V, Scherer H (1989) Cervico-ocular eye movements in relation to different neck torsion velocities. Acta Otolaryngol Suppl 468: 191-6
37. Holtmann S, Reiman V, Schops P (1993) Clinical significance of cervico-ocular reactions. Laryngorhinootologie 72: 306-10
38. Hülse M (1983) Die zervikale Gleichgewichtsstörung. Springer, Berlin Heidelberg
39. Hülse M, Neuhuber W, Wolff H (1998) Der kranio-zervikale Übergang. Springer, Berlin Heidelberg New York
40. Hülse M, Neuhuber WL, Wolff H (2005) Die obere Halswirbelsäule. Springer, Berlin, Heidelberg, New York
41. Hülse M, Neuhuber,WL, Wolff,HD (1998) Der kranio-zervikale Übergang. Springer, Berlin Heidelberg New York

42. Hülse M, Neuhuber,WL, Wolff,HD (1998) Der kranio-zervikale Übergang. Grundlagen, Klinik, Pathophysiologie. Springer, Berlin Heidelberg New York,1-176 pp.
43. Hülse M, Partsch,CJ, Wolff,HD (1975) Akuter zervikaler Schwindel. Z Laryngol Rhinol: 263
44. Igarashi M, Alford BR, Watanabe T, Maxian PM (1969) Role of neck proprioceptors for the maintenance of dynamic bodily equilbrium in the squirrel monkey. Laryngoscope 79: 1713-27
45. Jacobson GP, Newman CW (1990) The development of the Dizziness Handicap Inventory. Arch Otolaryngol Head Neck Surg 116: 424-7
46. Jongkees LB (1969) Cervical vertigo. Laryngoscope 79: 1473-84
47. Jongkees LB (1969) On normal and pathological function of the vestibular organ. Arch Klin Exp Ohren Nasen Kehlkopfheilkd 194: 1-110
48. Karlberg M, Magnusson M, Johansson R (1991) Effects of restrained cervical mobility on voluntary eye movements and postural control. Acta Otolaryngol 111: 664-70
49. Kelders WP, Kleinrensink GJ, van der Geest JN, et al (2003) Compensatory increase of the cervico-ocular reflex with age in healthy humans. J Physiol 553: 311-7
50. Kelders WP, Kleinrensink GJ, van der Geest JN, et al (2005) The cervico-ocular reflex is increased in whiplash injury patients. J Neurotrauma 22: 133-7
51. Kobayashi Y, Yagi T, Kamio T (1986) Cervico-vestibular interaction in eye movements. Auris Nasus Larynx 13 Suppl 2: S87-95
52. Kornhuber HH (1969) Physiology and clinical symptoms of the vestibular system. Arch Klin Exp Ohren Nasen Kehlkopfheilkd 194: 111-48
53. Koskimies K, Sutinen P, Aalto H, et al (1997) Postural stability, neck proprioception and tension neck. Acta Otolaryngol Suppl 529: 95-7
54. Lajoie Y, Teasdale N, Bard C, Fleury M (1993) Attentional demands for static and dynamic equilibrium. Exp Brain Res 97: 139-44
55. Lekhel H, Popov K, Anastasopoulos D, et al (1997) Postural responses to vibration of neck muscles in patients with idiopathic torticollis. Brain 120 (Pt 4): 583-91
56. Lewit K (1992) Manuelle Medizin. Johann Ambrosius Barth, Leipzig Heidelberg
57. Loudon JK, Ruhl M, Field E (1997) Ability to reproduce head position after whiplash injury. Spine 22: 865-8
58. Mandellos D, Anastasopoulos D, Becker W (2006) Smooth pursuit rather than visual signals mediate short-term adaptation of the cervico-ocular reflex in humans. Exp Brain Res 169: 153-61
59. Marti S, Bockisch CJ, Straumann D (2005) Prolonged asymmetric smooth-pursuit stimulation leads to downbeat nystagmus in healthy human subjects. Invest Ophthalmol Vis Sci 46: 143-9
60. Marti S, Palla A, Straumann D (2002) Gravity dependence of ocular drift in patients with cerebellar downbeat nystagmus. Ann Neurol 52: 712-21
61. Matsushita M, Gao X, Yaginuma H (1995) Spinovestibular projections in the rat, with particular reference to projections from the central cervical nucleus to the lateral vestibular nucleus. J Comp Neurol 361: 334-4
62. Maurer C, Mergner T, Becker W, Jurgens R (1998) Eye-head coordination in labyrinthine-defective humans. Exp Brain Res 122: 260-74
63. Maurer C, Mergner T, Peterka RJ (2006) Multisensory control of human upright stance. Exp Brain Res 171: 231-50

64. McCloskey DI (1978) Kinesthetic sensibility. Physiol Rev 58: 763-820
65. McCouch G, Deering I, Ling T (1951) Location of receptors for tonic neck reflexes. J Neurophysiol 14: 191-5
66. Mense S (1986) Slowly conducting afferent fibers from deep tissues neurological properties and central nervous actions. Progr Sens Physiol 6: 139-219
67. Mergner T, Anastasopoulos D, Becker W (1982) Neuronal responses to horizontal neck deflection in the group X region of the cat's medullary brainstem. Exp Brain Res 45: 196-206
68. Mergner T, Huber W, Becker W (1997) Vestibular-neck interaction and transformation of sensory coordinates. J Vestib Res 7: 347-67
69. Mergner T, Nasios G, Maurer C, Becker W (2001) Visual object localisation in space. Interaction of retinal, eye position, vestibular and neck proprioceptive information. Exp Brain Res 141: 33-51
70. Mergner T, Siebold C, Schweigart G, Becker W (1991) Human perception of horizontal trunk and head rotation in space during vestibular and neck stimulation. Exp Brain Res 85: 389-404
71. Moberg E (1983) The role of cutaneous afferents in position sense, kinaesthesia, and motor function of the hand. Brain 106 (Pt 1): 1-19
72. Montfoort I, Kelders WP, van der Geest JN, et al (2006) Interaction between ocular stabilization reflexes in patients with whiplash injury. Invest Ophthalmol Vis Sci 47: 2881-4
73. Moser M, Conraux C, Greiner GF (1972) Nystagmus of cervical origin and its statistical evaluation. Monatsschr Ohrenheilkd Laryngorhinol 106: 259-73
74. Neuhauser HK, von Brevern M, Radtke A, et al (2005) Epidemiology of vestibular vertigo: a neurotologic survey of the general population. Neurology 65: 898-904
75. Neuhuber WL (1998) Characteristics of the innervation of the head and neck. Orthopade 27: 794-801
76. Neuhuber WL, Bankoul S (1994) Specifics of innervation of the cranio-cervical transition. Orthopade 23: 256-61
77. Neuhuber WL, Bankoul, S (1992) Der "Halsteil des Gleichgewichtsapparats"-Verbindung zervikaler Rezeptoren zu Vestibulariskernen. Manuelle Medizin 30: 53-7
78. Neuhuber WL, Zenker W (1989) Central distribution of cervical primary afferents in the rat, with emphasis on proprioceptive projections to vestibular, perihypoglossal, and upper thoracic spinal nuclei. J Comp Neurol 280: 231-53
79. Norre ME (1987) Cervical vertigo. Diagnostic and semiological problem with special emphasis upon "cervical nystagmus". Acta Otorhinolaryngol Belg 41: 436-52
80. Oosterveld WJ, Kortschot HW, Kingma GG, et al (1991) Electronystagmographic findings following cervical whiplash injuries. Acta Otolaryngol 111: 201-5
81. Pettorossi VE, Petrosini L (1984) Tonic cervical influences on eye nystagmus following hemilabyrinthectomy: immediate and plastic effects. Brain Res 324: 11-9
82. Pierrot-Deseilligny C, Milea D (2005) Vertical nystagmus: clinical facts and hypotheses. Brain 128: 1237-46
83. Pompeiano O, Barnes CD (1971) Effect of sinusoidal muscle stretch on neurons in medial and descending vestibular nuclei. J Neurophysiol 34: 725-34

84. Reker U (1983) Cervical nystagmus caused by proprioceptors of the neck. Laryngol Rhinol Otol (Stuttg) 62: 312-4
85. Revel M, Andre-Deshays C, Minguet M (1991) Cervicocephalic kinesthetic sensibility in patients with cervical pain. Arch Phys Med Rehabil 72: 288-91
86. Richmond FJ (1977) Physiological characteristics of neck muscle receptors in the cat proceedings. J Physiol 272: 67P-8P
87. Richmond FJ, Bakker DA (1982) Anatomical organization and sensory receptor content of soft tissues surrounding upper cervical vertebrae in the cat. J Neurophysiol 48: 49-61
88. Rijkaart DC, van der Geest JN, Kelders WP, et al (2004) Short-term adaptation of the cervico-ocular reflex. Exp Brain Res 156: 124-8
89. Scherer H (1997) Das Gleichgewicht. Springer, Berlin Heidelberg New York
90. Scherer H (1985) Neck-induced vertigo. Arch Otorhinolaryngol Suppl 2: 107-24
91. 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 (Stuttg) 64: 263-8
92. Schmidt R, Schaible H (2000) Neuro- und Sinnesphysiologie. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, NY
93. Schmidt R, Thews G (1993) Physiologie des Menschen. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York
94. Scholtz J, Buchmann,J, Sievert,U (1988) Erweiterte Fahndung nach dem Zervikalnystagmus. In HNO Prax, pp. 3-8
95. Seifert K (1994) Funktionelle Störung der Halswirbelsäule. In Otorhinolaryngologie in Klinik und Praxis, pp. 256-70. Stuttgart: Thieme
96. Seifert K (1993) Schmerzen im Hals-Nasen-Ohrenbereich und Funktionsstörungen der Halswirbelsäule. Intern Prax 33: 591
97. Skoglund S (1956) Anatomical and physiological studies of knee joint innervation in the cat. Acta Physiol Scand Suppl 36: 1-101
98. Sterling M, Jull G, Vicenzino B, et al (2003) Development of motor system dysfunction following whiplash injury. Pain 103: 65-73
99. Sternberg S (1997) Histology for Pathologists. Lippincott-Raven, Philadelphia
100. Tabak S, Collewijn H, Boumans LJ, van der Steen J (1997) Gain and delay of human vestibulo-ocular reflexes to oscillation and steps of the head by a reactive torque helmet. I. Normal subjects. Acta Otolaryngol 117: 785-95
101. Taylor JL (1992) Perception of the orientation of the head on the body in man. Oxford University Press, New York: 488-90
102. Taylor JL, McCloskey DI (1988) Proprioception in the neck. Exp Brain Res 70: 351-60
103. Teng CC, Chai H, Lai DM, Wang SF (2007) Cervicocephalic kinesthetic sensibility in young and middle-aged adults with or without a history of mild neck pain. Man Ther 12: 22-8
104. Tesio L, Alpini D, Cesarani A, Perucca L (1999) Short form of the Dizziness Handicap Inventory: construction and validation through Rasch analysis. Am J Phys Med Rehabil 78: 233-41
105. Thoden U, Schmidt P (1979) Vestibular-neck interaction in abducens neurons. Prog Brain Res 50: 561-6
106. Tjell C, Rosenhall U (1998) Smooth pursuit neck torsion test: a specific test for cervical dizziness. Am J Otol 19: 76-81
107. Tracey DJ (1979) Characteristics of wrist joint receptors in the cat. Exp Brain Res 34: 165-76

108. Treleaven J, Jull G, LowChoy N (2006) The relationship of cervical joint position error to balance and eye movement disturbances in persistent whiplash. Man Ther 11: 99-106
109. Treleaven J, Jull G, LowChoy N (2005) Smooth pursuit neck torsion test in whiplash-associated disorders: relationship to self-reports of neck pain and disability, dizziness and anxiety. J Rehabil Med 37: 219-23
110. Uemura T, Arai Y, Shimazaki C (1980) Eye-head coordination during lateral gaze in normal subjects. Acta Otolaryngol 90: 191-8
111. Wiksten B (1987) Further studies on the fiber connections of the central cervical nucleus in the cat. Exp Brain Res 67: 284-90
112. Wilson VJ, Maeda M, Franck JI, Shimazu H (1976) Mossy fiber neck and second-order labyrinthine projections to cat flocculus. J Neurophysiol 39: 301-10
113. Wolff H (1996) Neurophysiologische Aspekte des Bewegungssystems. Springer, Berlin Heidelberg New York
114. Wyke B (1979) Cervical articular contribution to posture and gait: their relation to senile disequilibrium. Age Ageing 8: 251-8
115. Zelenka J (1971) Some rare cervical syndromes in otorhinolaryngology. Cesk Otolaryngol 20: 71-8

7 Anhang

Tabelle 27 Ein- und Ausschlusskriterien der Patientenrekrutierung

Gruppe mit zervikogenem Schwindel	
Einschlusskriterien:	positiver Tastbefund der Kopfgelenke und/oder kurzen Nackenmuskeln Schwankschwindel/Trunkenheitsgefühl
Ausschlusskriterien:	<u>Schwindel peripherer Genese</u> - Lagerungsnystagmus; benigner Paroxysmaler Lagerungsschwindel - Neuritis vestibularis - Morbus Menière - Autoimmune Innenohrerkrankungen - Perilymphfistel <u>Schwindel zentraler Genese</u> - Lagenystagmus - TIA im posterioren Stromgebiet - Hirnstamm-/Kleinhirninfarkte - Multiple Sklerose - Tumore der hinteren Schädelgrube - Schädel-Hirn-Trauma - zerebelläre degenerative Erkrankungen Schwindel vaskulärer Genese Polyneuropathie Alkoholabusus <u>Einnahme folgender Medikamente</u> - Antihypertensiva - Anxiolytica - Antiepileptica - Antirheumatika - Aminoglykoside - Alkohol und sonstige Drogen
Gruppe mit einseitigem vestibulären Defizit	
Einschlusskriterien:	einseitige kompensierte vestibuläre Untererregbarkeit Z.n. einseitigem Vestibularisausfall, kompensiert
Ausschlusskriterien:	Schwindel anderer Genese (s.o.) Beschwerden/Erkrankungen der Halswirbelsäule und Halsweichteile Z.n. Trauma der Halswirbelsäule Tinnitus Kopfschmerz Otalgie/Ohrdruck kraniomandibuläre Dysfunktion, Fehlbiß, Dysgnathie
Gesunde Kontrollgruppe	
Einschlusskriterien:	leere Anamnese hinsichtlich Schwindel und Beschwerden/Erkrankungen der Halswirbelsäule und Halsweichteile DHI Punktescore = 0 Ptk.
Ausschlusskriterien:	s.o.

Abbildung 41 Der Dizzines Handicap Inventory

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

8 Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. H. Scherer, meinem hochverehrten Lehrer, möchte ich mich für die großzügige Förderung meiner Arbeit zu allererst und sehr herzlich bedanken. Er war bei allen Fragen ein sehr kompetenter Ansprechpartner. Als prägend empfand ich dabei seine immer gegenwärtige Begeisterung für fachliche Probleme.

Als Betreuer während meiner Promotion hat mich Herr Prof. Dr. med. M. Hülse, Leiter der Abteilung für Phoniatrie, Pädaudiologie und Neurootologie der Univ.-HNO-Klink Mannheim, erstmals an dieses Thema herangeführt und so mein langjähriges Interesse an der wissenschaftlichen Arbeit geweckt.

Dem stellvertretenden Klinikdirektor der HNO-Klinik der Charité Campus Mitte, Herrn Priv.-Doz. Dr. med. B. Sedlmaier möchte ich ganz herzlich danken, der mich für die Realisierung der Versuchsdurchführung im klinischen Alltag stets engagiert unterstützte und nötige Freiräume gewährte.

Bedanken möchte ich mich bei Herrn H. Orawa, aus dem Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie, für seine ausgesprochene fachkompetente und geduldige Betreuung in allen statistischen Fragen und Problemlösungen meiner wissenschaftlichen Arbeit.

Danken möchte ich weiterhin allen Doktoranden, ohne deren Arbeit die Gewinnung der Ergebnisse unserer Studien nicht möglich gewesen wäre. Stellvertretend für alle möchte ich Frau P. Gabel und Herrn S. Weikert an dieser Stelle danken, die unverzichtbare Beiträge zu mehreren publizierten Arbeiten geleistet haben.

Ich danke allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, Kolleginnen und Kollegen sowie allen Schwestern und Pflegern für die Unterstützung meiner wissenschaftlichen Arbeit.

Ganz besonders möchte ich mich an dieser Stelle bei meiner Frau Corinna und meiner Familie bedanken, die durch Ihre unermessliche Geduld und Unterstützung die Voraussetzung für das Gelingen und Beendigen der Arbeit geschaffen haben.

9 Erklärung

gemäß §4 Abs 3 (k) der HabOMed der Charité

Hiermit erkläre ich, dass

- weder früher noch gleichzeitig ein Habilitationsverfahren durchgeführt oder angemeldet wird bzw. wurde.

- die vorgelegte Habilitationsschrift ohne fremde Hilfe verfasst, die beschriebenen Ergebnisse selbst gewonnen sowie die verwendeten Hilfsmittel, die Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern/Wissenschaftlerinnen und mit technischen Hilfskräften sowie die verwendete Literatur vollständig in der Habilitationsschrift angegeben wurden.

- mir die geltende Habilitationsordnung bekannt ist.

Datum Unterschrift