

3 ERGEBNISSE

Die Ergebnisse werden im Folgenden in fünf Teilen dargestellt (A bis E). Ergebnisteil A beleuchtet, durch eine Winkelmessung der Kopfposition im Helm zwischen Ausgangs- und Endposition, die methodische Genauigkeit des 3D- Rumpfxkursionsstuhls.

Die diagnostischen und posturalen Stabilitätsparameter werden placebokontrolliert in Teil B beschrieben. Der darauffolgende Teil C untersucht ob über die Zervikalafferenzen ein zervikookulärer Nystagmus, ein so genannter *zervikotoner Provokationsnystagmus (C-PN)* auf dem 3D-Rumpfxkursionsuntersuchungsstuhl bei gesunden Probanden nachweisbar ist (**Konzept der tonischen Afferenzen Typ II**). Der Nachweis erfolgt in dem die Nystagmusaufzeichnungen mit den individuellen Ergebnissen in Leerposition verglichen werden.

Die Nystagmusaufzeichnung erfolgt unter reinen statisch gehaltenen Rumpfbewegungen. Diese statisch verschiedenen Rumpfxkursionen werden in Teil D miteinander verglichen und auf ihr individuelles placebokontrolliertes Ansprechen auf C-TENS untersucht.

Der fünfte Ergebnisteil E stellt den so genannten subjektiven Nulldurchgang dar, welcher die kraniozephale kinästhetische Sensibilität in einer phasischen Bewegung der Probanden im Vergleich vor und nach der C-TENS- oder Gelkissenbehandlung (Placebo) wiedergibt (**Konzept der dynamischen Afferenzen Typ Ia**).

3.1 Ergebnisteil A: Evaluation der Methodik

Um eine Aussage über die Validität und die Qualität der Messmethode im 3D-Rumpfxkursionsstuhl treffen zu können wurde die Winkelabweichung im Helm während der Untersuchung bestimmt. Die Winkelabweichung ist an dieser Stelle entscheidend, da nur bei stabilisierter und konstanter Kopfposition eine gezielte Überprüfung der extrakraniellen Rezeptorsysteme, der zervikalen Propriozeption gewährleistet ist. Die erhobenen Winkelabweichungen im Helm des 3D- Rumpfxkursionsstuhls wurden mit der Ausgangsposition verglichen (Abb. 1) und im arithmetischen Mittel (Tab. 2) dargestellt. Während der Untersuchung kam es zu keiner signifikanten Kopfabweichung im Helm, untersucht durch den t-Test, der für normalverteilte Stichproben verwendet wird (Tab.1). Der Wilcoxon Rangsummentest ist ein verteilungsfreier Signifikanztest für zwei miteinander verbundene Variablen.

Tab. 1 Untersuchung der Winkelabweichungen im Helm bei zervikotonischer Rumpfxursion (Rumpfkippung, Rumpfflexion) im Vergleich zur Nullstellung (Differenz). Die Winkelabweichung im Helm verändert sich nicht signifikant bei den beschriebenen Rumpfauslenkungen.

Test	Variable	p-Wert
t-Test	Rumpfkippung nach links	0,803
t-Test	Rumpfkippung nach rechts	0,330
t-Test	Rumpfretroflexion	0,600
Wilcoxon Rangsummentest	Rumpfanteflexion	0,477

Tab. 2 Darstellung der erhobenen Gradzahlen in Nullposition (Ausgangswert) von 11 zufällig gewählten Stichproben des Probandenkollektivs. Die Endwerte zeigen die bei maximaler Rumpfauslenkung erhobenen Gradzahlen im Helm. Die daraus gebildeten Differenzen werden in den umrahmten Kästen als Mittelwerte zusammengefasst. Ausreißer sind in die Mittelwertsberechnung mit einbezogen worden. **Legende:** P.: Proband; 0: nicht auswertbar.

Winkelabweichungen des Kopfes im 3D- Rumpfxursionsstuhl

Rumpfkippung nach links												
	P. 01	P. 02	P. 03	P. 04	P. 05	P. 06	P. 07	P. 08	P. 09	P. 10	P. 11	
Ausgangswert	30,2	26,7	32,3	28,3	32,1	28,7	35,6	30,6	27,7	30,4	26,1	
Endwert	30,1	29	27,8	26,7	33,5	29,3	35,6	33,4	28,5	28,9	24,1	
Differenz	0,1	-2,3	4,5	1,6	-1,4	-0,6	0	-2,8	-0,8	1,5	2	0,163
Rumpfkippung nach rechts												
	P. 01	P. 02	P. 03	P. 04	P. 05	P. 06	P. 07	P. 08	P. 09	P. 10	P. 11	
Ausgangswert	30,2	26,7	32,3	28,3	32,1	28,7	35,6	30,6	27,7	30,4	26,1	
Endwert	31,8	26,6	29,5	27,5	31,6	27,5	35,6	30,7	27,9	29,9	26,4	
Differenz	-1,6	0,1	2,8	0,8	0,5	1,2	0	-0,1	-0,2	0,5	-0,3	0,336
Rumpfretroflexion												
	P. 01	P. 02	P. 03	P. 04	P. 05	P. 06	P. 07	P. 08	P. 09	P. 10	P. 11	
Ausgangswert	29	14,2	46,5	23,6	46,4	2,1	11,5	0	16,3	17,1	3,3	
Endwert	29,4	13,2	46,2	26,9	47,6	0,9	12,1	0	13,2	18,2	5,4	
Differenz	-0,4	1	0,3	-3,3	-1,2	1,2	-0,6	0	3,1	-1,1	-2,1	-0,281
Rumpfanteflexion												
	P. 01	P. 02	P. 03	P. 04	P. 05	P. 06	P. 07	P. 08	P. 09	P. 10	P. 11	
Ausgangswert	29	0	46,5	23,6	46,4	2,1	11,5	0	16,3	17,1	3,3	
Endwert	31,8	0	47	23,1	45,2	3	12,1	0	21,1	14,9	3,2	
Differenz	-2,8	0	-0,5	0,5	1,2	-0,9	-0,6	0	-4,8	2,2	0,1	-0,622

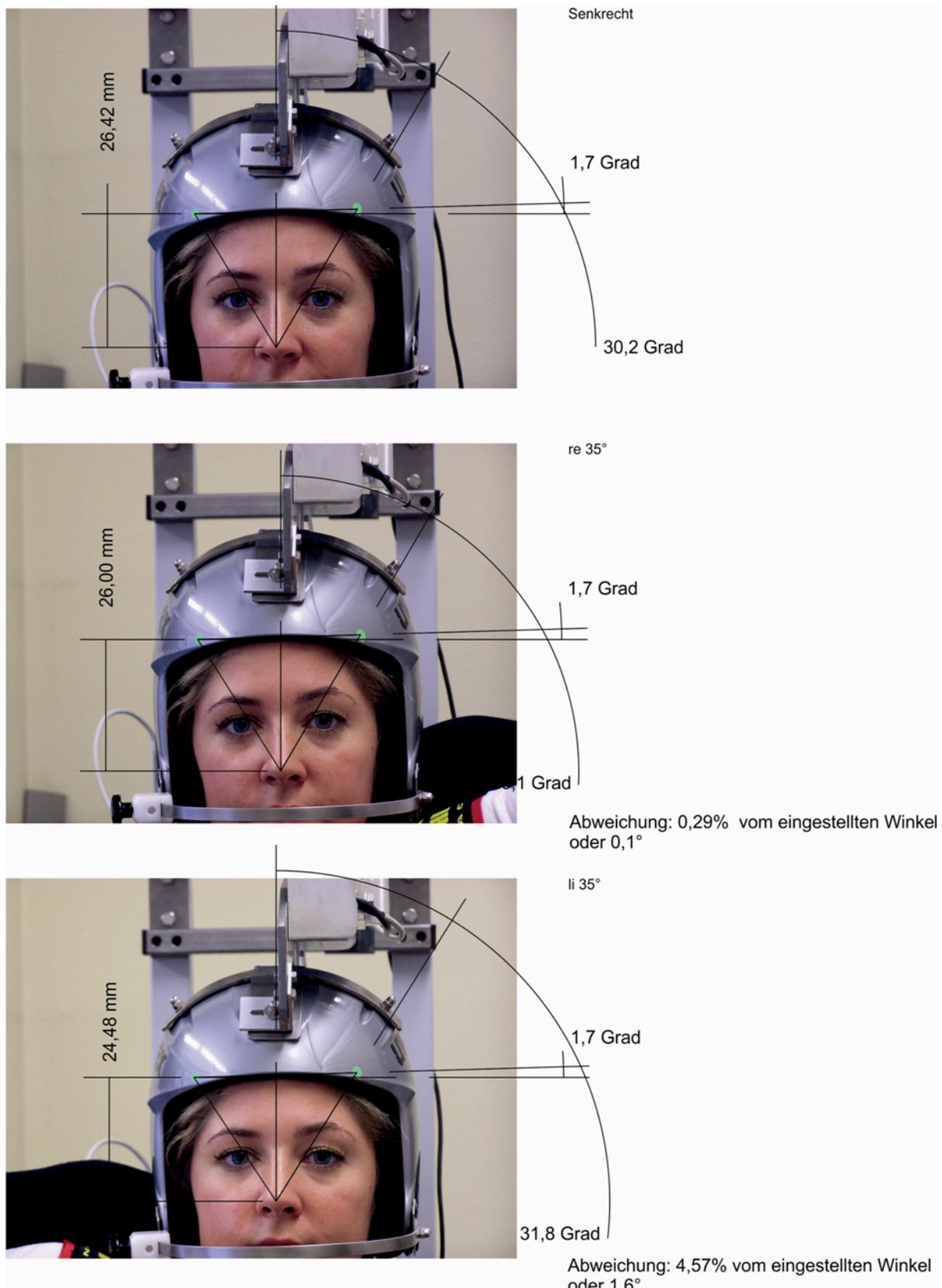


Abb. 1 zeigt die Berechnung der Winkelabweichung des Kopfes innerhalb des fixierten Helmes während der Rumpfauslenkenden Position zur Seite (35°) im Vergleich zur Ausgangsposition (0°) ohne zervikale Provokationshaltung. Die grünen Punkte am Helm dienen neben der Nasenspitze als Fixpunkte für die Berechnung der Winkelabweichungen.

Fazit 3.1: Zusammenfassend kann bestätigt werden, dass der Versuchsaufbau keine ungewollten signifikanten Winkelverschiebungen des Kopfes zu der Ausgangsposition in den Rumpfkursionen zulässt.

3.2 Ergebnisteil B: Die Erhebung der extraokulären Untersuchungsparameter

3.2.1 Der Dizziness Handicap Inventory

Der *Dizziness Handicap Inventory (DHI)* ist ein validierter, subjektiv eingeschätzter, zum Schwindel krankheitsspezifischer Fragebogen. Er beleuchtet dabei nicht nur die klinischen Symptome (physikalischer Subscale), sondern ebenfalls die sich auf die Lebensqualität (*funktionaler Subscale/ emotionaler Subscale*) des vestibulär erkrankten Patienten auswirkenden Aspekte [Jacobson (1990)]. Eines der Einschlusskriterien für die Probanden unserer Untersuchung stellte ein unauffälliger *DHI* Fragebogen (Scorepunkte= 0) dar. Beide untersuchten Probandengruppen haben eine unauffällige *DHI*-Score und unterschieden sich dadurch nicht signifikant voneinander.

3.2.2 Vestibulospinaler Untersuchungsparameter Teil 1: Die Posturographie- Messplatte

Zur Beschreibung von Haltungsreaktionen wird in diesem und auch im darauffolgenden Diskussionsteil das Wort „*postural*“, ein aus dem Englischen übernommenes Wort „*posture*“, benutzt. Es gilt als ein Überbegriff für Haltungen und Stellungen bei der Koordination der Gleichgewichtserhaltung. Die auf der Posturographie-Messplatte erhobenen posturalen Stabilitätsparameter zeigen in beiden Probandengruppen zwischen der Prä (vor Intervention) und der Post Messung (nach Intervention) keine signifikanten Differenzen (Tab. 3 und Tab. 4). Im Folgenden werden lediglich die Parameter graphisch dargestellt die eine knapp nicht signifikante Differenz zeigen. Die für die Signifikanzberechnung verwendeten Differenzen geben, wie im Methodikteil (Kapitel 2.4) beschrieben wird, die bei dem Rombergarmhalteversuch auf der PUG Platte erhobenen Befunde mit geöffneten und geschlossenen Augen wieder. Die knapp nicht signifikante Differenz (p- Wert = 0,098) (Tab. 3) der Delta Y Abweichung (anteriore/ posteriore Schwankungsdifferenz) zwischen Placebo und C-TENS-Gruppe erklärt sich durch die sich nur minimal verändernde Schwankungsdifferenz der C-TENS-Gruppe.

Die Placebogruppe hat eine durchschnittliche Schwankungsdifferenz in der ersten Messung von 2,18 cm. Die C-TENS Gruppe zeigt ein ähnliches Schwankungsverhalten mit durchschnittlich 2,5 cm. Die Placebogruppe hat eine durchschnittliche Zunahme der Schwankungsdifferenz von 0,52 cm, die C-TENS Gruppe hingegen bleibt annähernd gleich mit durchschnittlichen 2,6 cm (Abb. 2).

Tab. 3 Darstellung des im t-Test durchgeführten Differenzvergleiches (*Prä-Post-Vergleich*) im Gruppenvergleich.

Legende: *DeltaY:* maximale anteriore/ posteriore Schwankungsdifferenz, *DeltaX:* maximale laterale Schwankungsdifferenz

t-Test	p-Wert	Mittelwert
DeltaY Augen geöffnet	0,551	0,19
DeltaY Augen geschlossen	0,098	0,38
DeltaX Augen geschlossen	0,342	0,19

Tab. 4 Darstellung des im Mann-Whitney U Test durchgeführten Differenzvergleiches (*Prä-Post-Vergleich*) im Gruppenvergleich. **Legende:** *Sway:* Sway Area nach Diener/Dichgans/Bacher Gleichung, *lateral:* Summe der absoluten x-Anteile der einzelnen Bewegungssektoren, *ap:* Summe der absoluten y-Anteile der einzelnen Bewegungssektoren, *Delta X:* maximale laterale Schwankungsdifferenz, *Delta Y:* maximale anteriore/posteriore Schwankungsdifferenz.

Mann-Whitney-U-Test									
Parameter	sway	lateral	ap	Delta X	DeltaXY	sway	lateral	ap	DeltaXY
Augen	geöffnet	geöffnet	geöffnet	geöffnet	geöffnet	geschlossen	geschlossen	geschlossen	geschlossen
p-Wert	0,804	0,444	0,863	0,462	0,162	0,192	0,431	0,787	0,208
Median	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,00	0,00	0,00	0,95

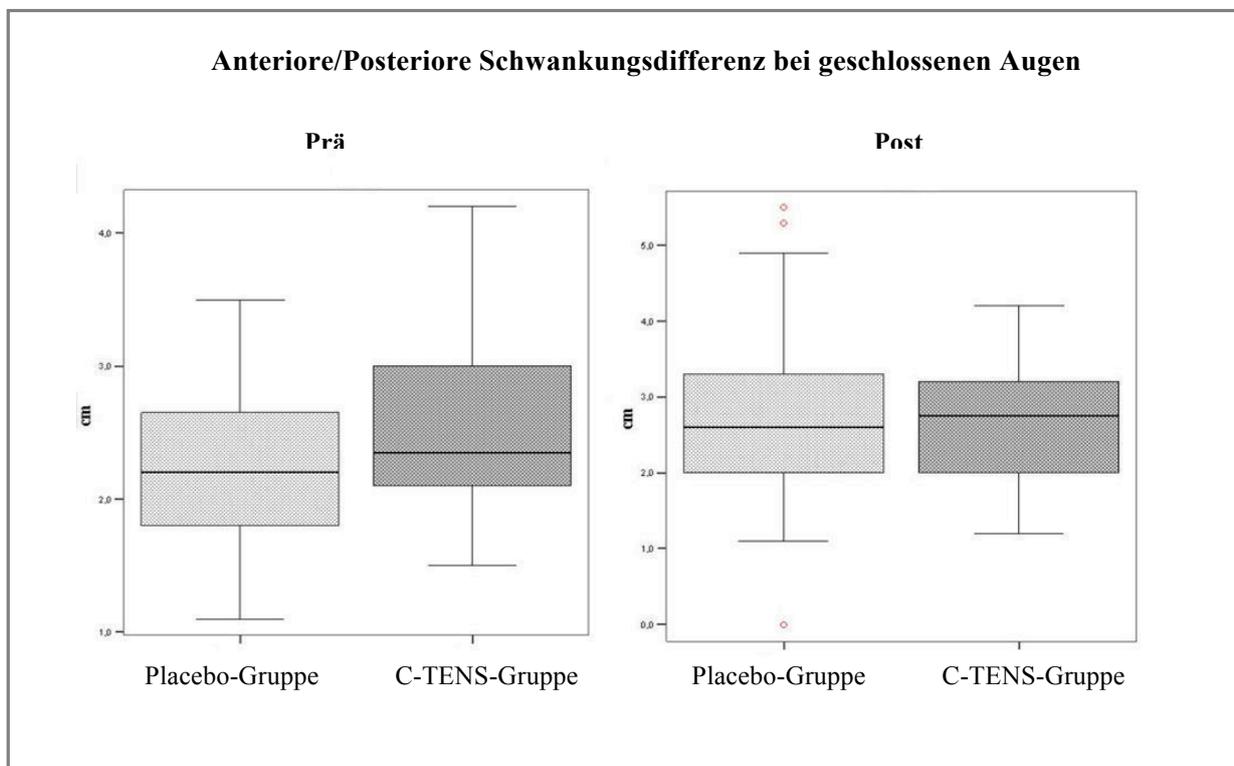


Abb. 2 Box Plot -Darstellung der anterioren/ posteriore Schwankungsdifferenz (Delta Y) mit geschlossenen Augen beider Probandenkollektive in der **Prä** (vor Intervention) und in der **Post** (nach Intervention) Messung. Es besteht kein signifikanter Unterschied zwischen Prä und Post zwischen beiden Gruppen im Differenzvergleich (**p-Wert 0,098**).

3.2.3 Vestibulospinaler Untersuchungsparameter Teil 2: Der Unterberger-Tretversuch

Die meisten der 49 Probanden wichen bei dem *Unterberger*-Tretversuch vor und nach der placebokontrollierten C-TENS Anwendung nicht über $45^{\circ}/-45^{\circ}$ ab (Abb. 3). Keiner der untersuchten Probanden hatte eine vestibuläre Erkrankung oder berichtete über Gleichgewichtsstörungen. Der *Unterberger*-Tretversuch wird im Allgemeinen bei sich ebenso klinisch manifestierender Äußerung als pathologisch ab einer Abweichung von mehr als $-45^{\circ}/45^{\circ}$ angesehen.

Im Gruppenvergleich zwischen Prä (vor Intervention) und Post (nach Intervention) Messung wurde kein signifikanter (p-Wert im Mann-Whitney-U-Test = 0,750) Unterschied der Abweichungen festgestellt (Abb. 3). Die C-TENS Behandlung und die Messungen auf dem 3D-Rumpfxkursionsstuhl schienen keinen Einfluss auf die Abweichung und die posturale Stabilität des *Unterberger*-Tretversuches zu haben.

Die Abb. 3 zeigt ein Box Plot Diagramm welches aufgrund der verschiedenen Verteilung beider Probandengruppen sehr unterschiedlich aussieht. In der Placebo-Gruppe liegt ein großer Teil der Probanden im Differenzvergleich (*Prä-Post Vergleich*) in einem bestimmten Bereich. Die C-TENS- Gruppe hingegen zeigt eine wesentlich geringere Varianz; dies wird durch das weniger breite Box Plot Diagramm deutlich. Die C-TENS- Gruppe ist in der Differenz homogener trotz vereinzelter Ausreißer und Extremwerte, dadurch ist ihr Median in der Differenz sehr ähnlich. Der Median beider Gruppen liegt bei Null. Das Mittel der C-TENS-Gruppe fällt mit dem ersten Quartil zusammen und bildet somit eine einheitliche Linie.

Fazit 3.2: Die C-TENS Anwendung hat sowohl auf den *Unterberger*-Tretversuch als auch auf die auf der PUG gemessenen posturalen vestibulospinalen Stabilitätsparameter keinen sich von der Kontrollgruppe signifikant unterscheidenden Effekt.

Der Unterberger-Tretversuch

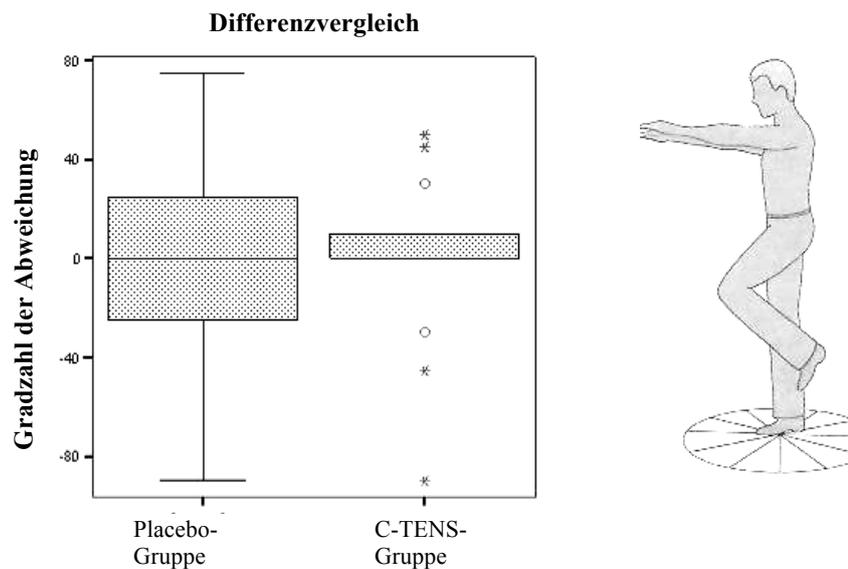


Abb. 3 Darstellung des *Unterberger-Tretversuchs* in einem in Winkelgrade unterteilten Kreis (rechts) [Stoll]. Im Box Plot werden die Differenzen des *Unterberger-Tretversuchs* zwischen Prä und Post Messung der beiden Probandengruppen gezeigt. Der nicht signifikante Unterschied wurde im **Mann-Whitney-U Test** untersucht. Der **p-Wert** liegt bei **0,750**.

3.3 Ergebnisteil C: Die Erhebung der okulären Untersuchungsparameter

3.3.1 Analyse der zervikotonen Provokationshaltungen im Vergleich zum Spontannystagmus

Um den *zervikotonen Provokationsnystagmus (C-PN)* während der gehaltenen Rumpfflexionen evaluieren zu können ist eine Differenzbetrachtung zur Leermessung, durch einen zuvor aufgezeichneten Spontannystagmus (SPN) (Nullmessung) oder auch keinem erhobenen SPN, zu einem Nystagmus in tonischer Rumpfflexion erforderlich (n= 49).

Der Vergleich zwischen der Leermessung und einem zervikal provozierten Nystagmus bei Rumpfflexionshaltung wurde im Wilcoxon test, als ein Paardifferenztest, da die gleichen ordinalskalierten Stichproben hinsichtlich ihrer zentralen Tendenz zwischen zwei Positionen verglichen werden sollten, durchgeführt. Die Stichproben umfassen das gleiche Kollektiv (Placebo-Gruppe oder C-TENS-Gruppe) in zwei unterschiedlichen Messungen, sie sind demzufolge miteinander verbunden.

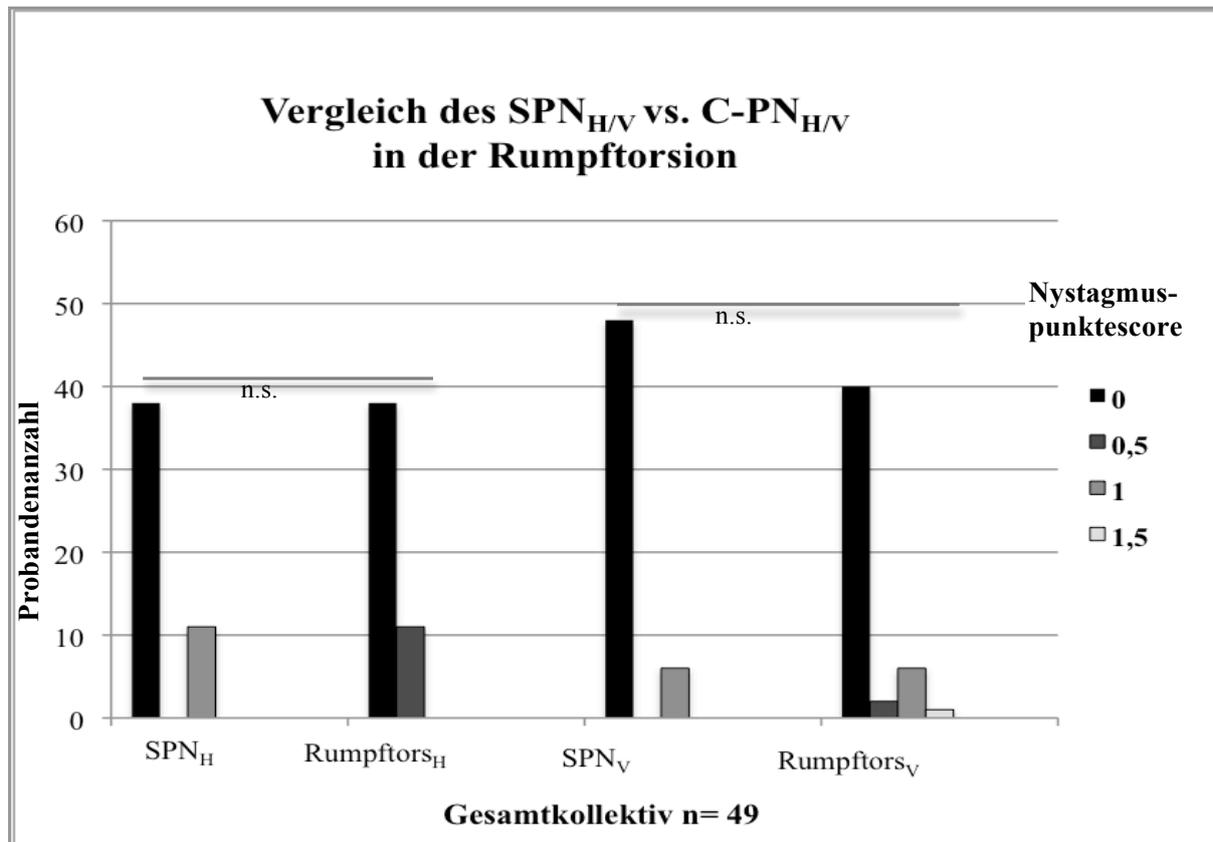


Abb. 4 Darstellung des im Wilcoxon-Test durchgeführten Vergleiches zwischen der Nystagmusaktivität während der Leermessung (SPN) und der Rumpftorsion für die vertikale und horizontale Nystagmusdimension. Die Rumpftorsion ist eine zervikale Provokationshaltung und führt zu einem nicht signifikant ansteigenden *zervikalen Provokationsnystagmus* (C-PN). Der **p-Wert** liegt hier für den Horizontalnystagmus (*H*) bei **0,913** und für den Vertikalnystagmus (*V*) bei **0,273**. **Legende:** *Nystagmuspunktescore:* Die Zahlen von 0 - 3 zeigen den Punktescore der Nystagmusaktivität (0: keiner, 1: leichter, 2: mittelmäßiger, 3: stark ausgeprägter Nystagmus. Die Zahlen 0,5 und 1,5 ergeben sich durch die Zusammenfassung zweier Nystagmusableitungen für die Rumpftorsion nach rechts und nach links. Diese Werte wurden zusammengerechnet und halbiert), **SPN:** Spontannystagmus (Baseline), **Rumpftors:** Rumpftorsion bei statischer Kopfposition, **n.s.:** nicht signifikant.

Der Übersicht halber werden in Abb. 4 die erhobenen Nystagmuswerte dargestellt und nicht die im Wilcoxon-Rangsummentest verglichenen Mediane. Die p-Werte beziehen sich dabei auf den Wilcoxon-Paardifferenztest, welcher die Nullhypothese dass der Pseudomedian der Paardifferenzen gleich Null ist prüft. Dabei wird für jedes Wertepaar (SPN vs. C-PN) eine Differenz gebildet. Ist diese gleich Null wird sie eliminiert. Die Differenzen werden in Rangzahlen (Rn) sortiert und in positive und negative Differenzen unterteilt und zu Rn zusammengefasst. Die Rn wird dann auf die Nullhypothese oder eine Alternativhypothese hin überprüft. Bei jeder statistischen Paardifferenzanalyse werden der vertikale Anteil des SPN sowie bei der Rumpfxekursion (SPN_V/ C-PN_V) und der horizontale Anteil des SPN wie bei der Rumpfxekursion (SPN_H/ C-PN_H) voneinander getrennt miteinander verglichen.

In der ersten Untersuchung zeigte sich kein signifikanter Unterschied des Horizontal- (p-Wert= 0,918) und des Vertikalnystagmus (p-Wert= 0,273) in der Nystagmusantwort zwischen ermittelter Nystagmusaktivität in der Leermessung und C-PN in der Rumpftorsion (Abb. 4).

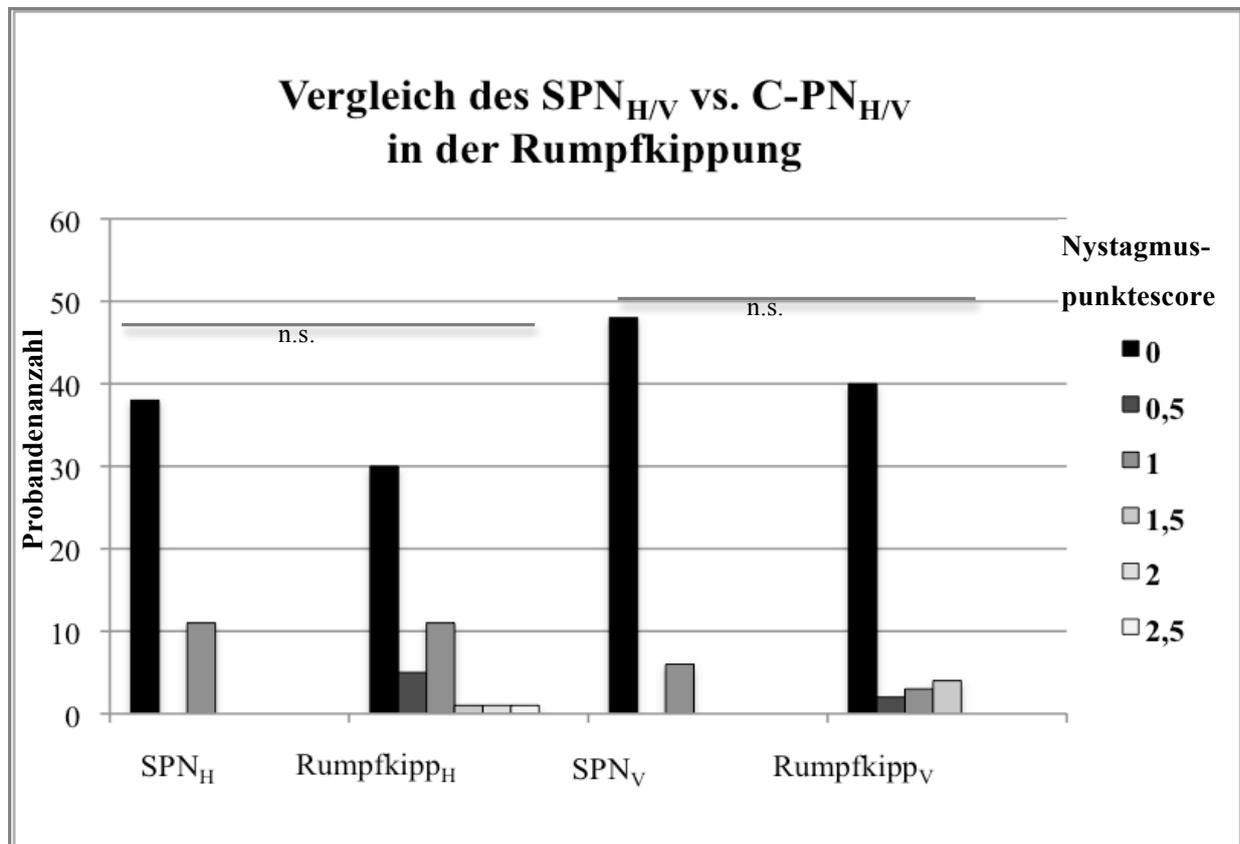


Abb. 5 Darstellung des im Wilcoxon-Test durchgeführten Vergleichs zwischen der Nystagmusaktivität der Baseline (SPN) und der Rumpfkippung für die vertikale und horizontale Nystagmusdimension. Die Rumpfkippung ist eine zervikale Provokationshaltung und führt zu einem *zervikalen Provokationsnystagmus* (C-PN). Der **p-Wert** liegt hier für den Horizontalnystagmus (H) bei **0,077** und für den Vertikalnystagmus (V) bei **0,284**. **Legende: Nystagmuspunktescore:** Die Zahlen von 0-3 zeigen den Punktescore der Nystagmusaktivität (0: keiner, 1: leichter, 2: mittelmäßiger, 3: stark ausgeprägter Nystagmus. Die Zahlen 0,5, 1,5 und 2,5 ergeben sich durch die Zusammenfassung zweier Nystagmusableitungen für die Rumpfkippung nach rechts und nach links. Diese Werte wurden zusammengerechnet und halbiert), **SPN:** Spontannystagmus (Baseline), **Rumpfkipp:** Rumpfkippung bei statischer Kopfposition, **n.s.:** nicht signifikant.

Abb. 5 zeigt die ebenfalls sich nicht signifikant (p-Wert= 0,284) verändernde Nystagmusaktivität in der zervikal provozierenden Rumpfkippung im Vergleich zum SPN. Während der tonisch gehaltenen Rumpfkippung ist die horizontale Nystagmusaktivität eindeutig, aber nicht signifikant gesteigert.

Abb. 6 veranschaulicht das einzige signifikante Ergebnis in dieser Analyse. Unter tonischer Rumpfflexionsbedingung lässt sich ein signifikanter Unterschied zwischen Nystagmusaktivität

in der Leermessung zur zervikotonen Provokationshaltung darstellen. Für den horizontalen Anteil des *C-PN* zeigt sich ein Trend aber kein signifikantes Ergebnis.

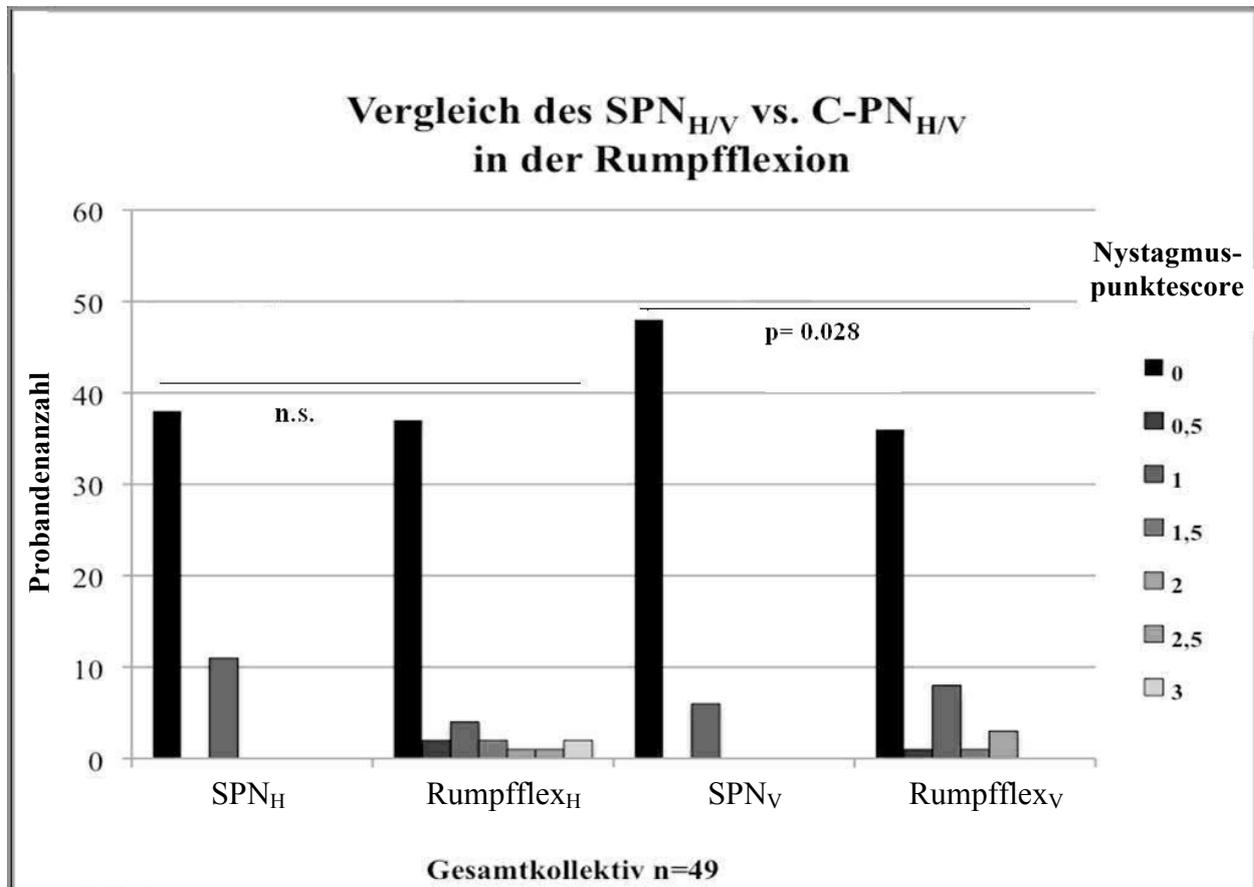


Abb. 6 Darstellung des im Wilcoxon-Test durchgeführten Vergleichs zwischen der Nystagmusaktivität der Baseline (SPN) und der Rumpfflexion für die vertikale (_V) und horizontale (_H) Nystagmusdimension. Die Rumpfflexion ist eine zervikale Provokationshaltung und führt zu einem *zervikalen Provokationsnystagmus (C-PN)*. Der **p-Wert** liegt hier für den Horizontalnystagmus bei **0,263**, der Vertikalnystagmus unterscheidet sich signifikant zwischen dem SPN und dem *C-PN* mit einem p-Wert von **0,028**. **Legende:** *Nystagmuspunktescore:* Die Zahlen von 0-3 zeigen den Punktescore der Nystagmusaktivität (0:keiner, 1: leichter, 2:mittelmäßiger, 3: stark ausgeprägter Nystagmus. Die Zahlen 0,5, 1,5, 2,5 ergeben sich durch die Zusammenfassung zweier Nystagmusableitungen für die Rumpfflexion nach vorne und nach hinten. Diese Werte wurden zusammengerechnet und halbiert), **SPN:** Spontannystagmus (Baseline), **Rumpfflex:** Rumpfflexion bei statischer Kopfposition **n.s.:** nicht signifikant.

Fazit: Die Annahme, dass sich die Nystagmusaktivität zwischen *C-PN* und der Nystagmusaktivität, die sich in der Leermessung im Rahmen eines SPN erheben ließ, signifikant unterscheidet, konnte für eine der drei Rumpfflexionshaltungen bestätigt werden. In der tonischen Rumpfflexionshaltung zeigt sich ein signifikanter Vertikalnystagmusanstieg (Abb. 6). Die anderen Rumpfflexionshaltungen zeigen einen nystagmussteigernden Trend.

3.4 Ergebnisteil D: Anwendung der zervikalen transkutanen Elektronervenstimulation auf dem dreidimensionalen- Rumpfxursionsstuhl

In dem folgenden Kapitel prüfen wir die Arbeitshypothesen 2 und 3. Eine placebokontrollierte monophasische C-TENS Applikation sollte auf die Auswirkung der Nystagmusaktivität in der Leermessung, also einer Position *ohne zervikale Provokationen*, auf Veränderungen Nystagmusaktivität überprüft werden.

Desweiteren interessiert in der Untersuchung der 3. Arbeitshypothese, ob durch ein zervikotones Untersuchungskonzept zervikotonische Provokationsnystagmen in unterschiedlich gehaltenen Rumpfxursionen auszulösen sind und diese placebokontrolliert durch C-TENS zu modulieren sind.

3.4.1 Einfluss der placebokontrollierten C-TENS Anwendung auf den Spontannystagmus

Nach der C-TENS Anwendung, bzw. nach der Gelkissenanwendung (Placebo) (Post) zeigt sich im Vergleich zur Leermessung ohne placebokontrollierte C-TENS Anwendung ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen für den Post SPN_H (p-Wert = 0,241) (Abb. 8) und den Post SPN_V (p-Wert= 0,213) (Abb. 11). Untersucht wurden die Unterschiede zwischen beiden Gruppen vor der Intervention mit Hilfe des Chi-Quadrat Tests, im Besonderen mit dem exakten Fisher Test. Zur übersichtlicheren Darstellung für den Leser wird neben der Ausgangssituationsdarstellung (Prä SPN_H (Abb. 7) und Prä SPN_V (Abb. 10))an dieser Stelle auch der Post-Zustand graphisch dargestellt. In den Post-Messungen der vertikalen und horizontalen SPN-Werte lässt sich bei der C-TENS-Gruppe eine nicht signifikante Spontannystagmuszunahme im Vergleich zur Prä-Messung beobachten (Abb. 8 und Abb. 11).

Die Differenzbetrachtungen erfolgen wie in den Kapiteln zuvor ebenfalls durch eine *Post minus Prä Berechnung* und einen Differenzvergleich zwischen beiden Gruppen. Die Ergebnisdifferenz, *Post- Messung minus der Prä- Messung*, im Probandengruppenvergleich zeigt keine signifikanten Veränderungen der in der Leermessung ermittelten Nystagmusaktivität durch die C-TENS Behandlung (Abb. 9 und Abb. 12).

Der analysierte Differenzwert des horizontalen Anteils des SPN unterschied sich nicht signifikant zwischen beiden Probandenkollektiven (p-Wert = 0,536 im exakten Fisher Test), (Abb. 9). Im Differenzvergleich des spontanen Vertikalnystagmus (SPN_V) konnte ebenfalls keine sich zwischen den Probandenkollektiven signifikante Differenz nachgewiesen werden (p-Wert im exakten Fisher Test = 0,395), Abb. 12.

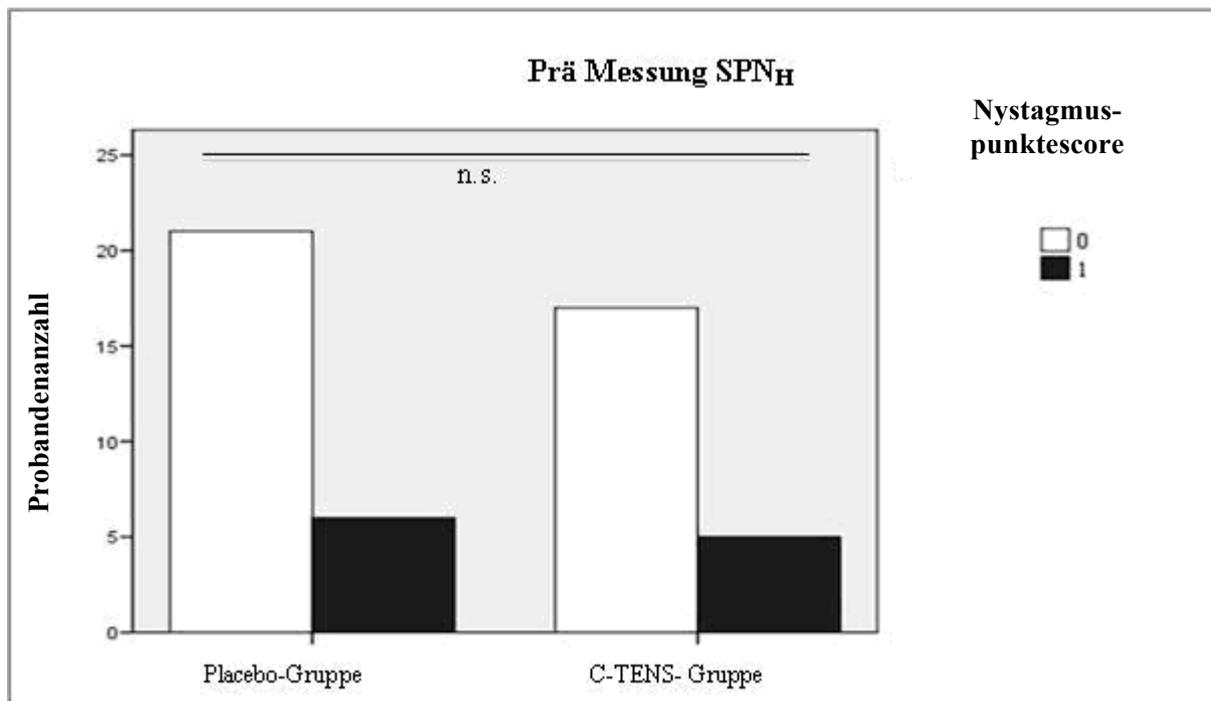


Abb. 7 Darstellung des Spontannystagmus (SPN) in horizontaler Dimension (_H) vor C-TENS- Anwendung (*Prä* Messung) im Balkendiagramm. Der Vergleich der Unterschiedlichkeit beider Gruppen wurde durch den **exakten Fisher-Test** im Chi-Quadrat durchgeführt, der **p-Wert** liegt hier bei **1,000** (nicht signifikant= **n.s.**). Der Mittelwert liegt für die Placebo-Gruppe bei 0,22 und für die C-TENS- Gruppe bei 0,23.

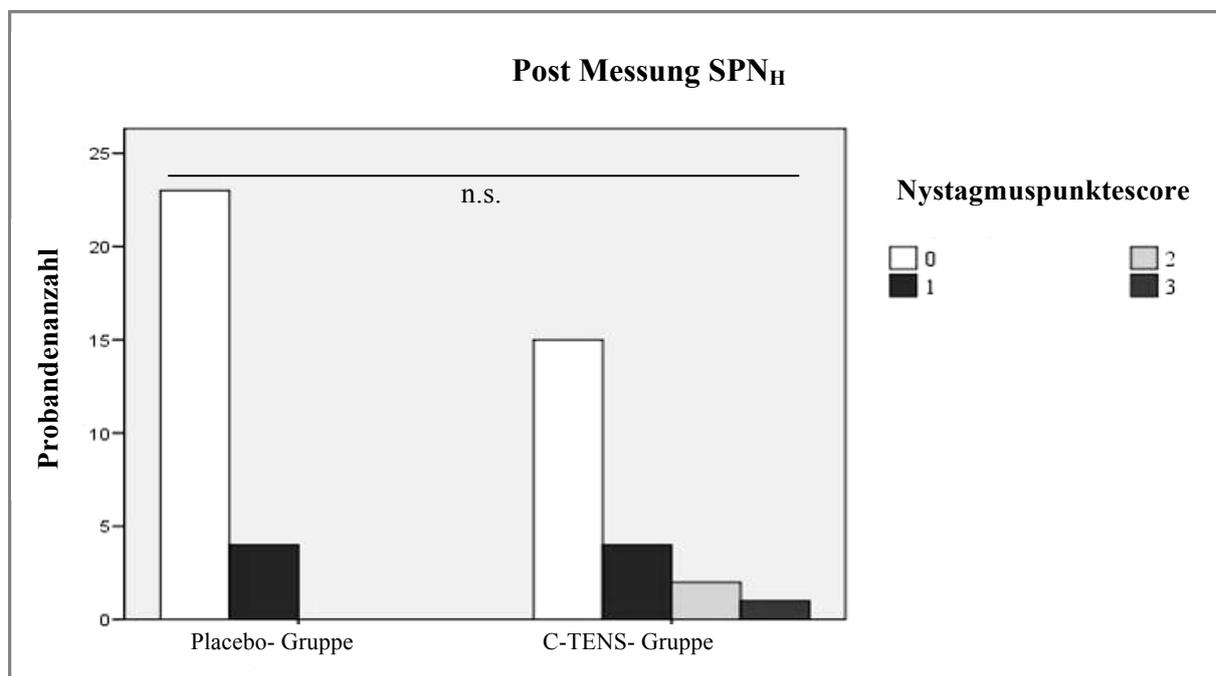


Abb. 8 Darstellung des Spontannystagmus (SPN) in horizontaler Dimension (_H) nach C-TENS- Anwendung (*Post* Messung) im Balkendiagramm. Der Vergleich der Unterschiedlichkeit beider Gruppen wurde durch den **exakten Fisher-Test** im Chi-Quadrat durchgeführt, der **p-Wert** liegt hier bei **0,241** (nicht signifikant= **n.s.**). Der Mittelwert der Post- Messung liegt für die Placebo-Gruppe bei 0,15 und für die C-TENS- Gruppe bei 0,50.

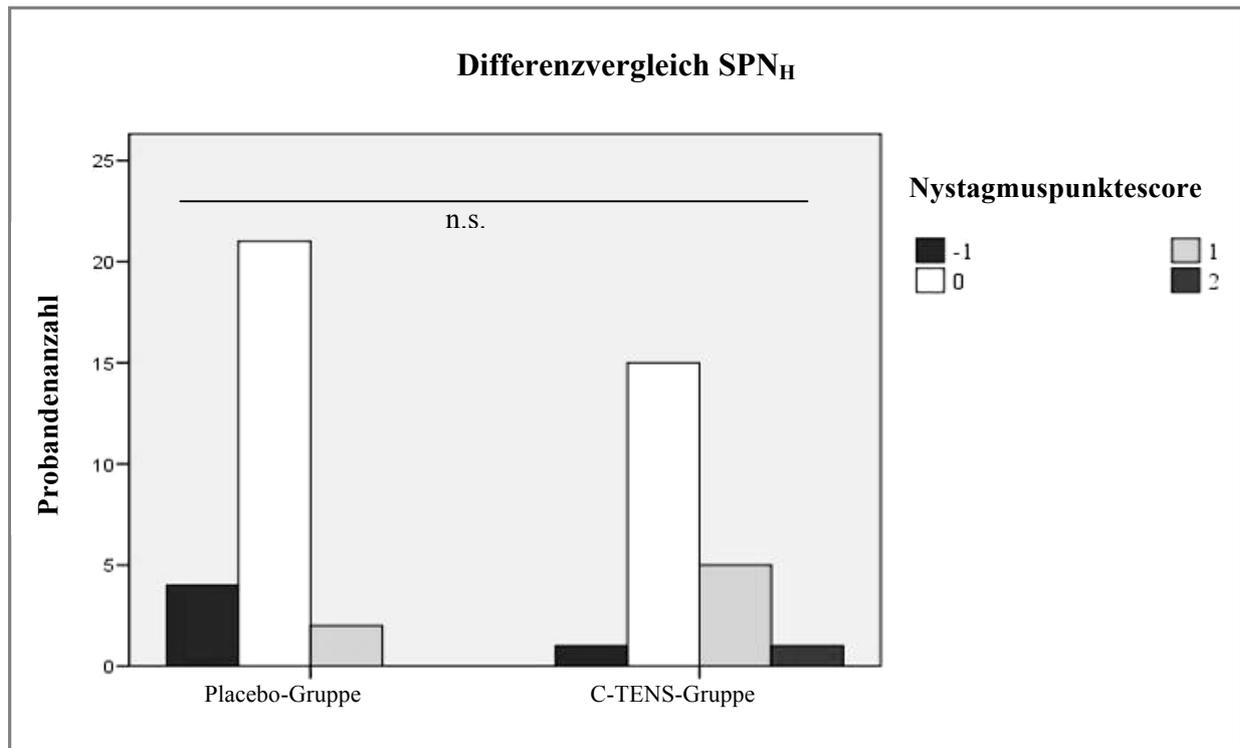


Abb. 9 Darstellung des **Differenzvergleichs** („Prä minus Post“) im Balkendiagramm. Der Vergleich der Unterschiedlichkeit beider Gruppen wurde durch den **exakten Fisher-Test** im Chi-Quadrat durchgeführt, der **p-Wert** ist nicht signifikant (**n.s.**) und lag hier bei **0,536**. Der Mittelwert des Gesamtkollektivs (n= 49) entspricht für die Differenz der horizontalen spontanen Augenbewegung 0,08.

Fazit 3.4.1: Die placebokontrollierte C-TENS Applikation zeigt keine signifikant messbare Veränderung in der Leermessung (Post) im Vergleich zur Messung vor der placebokontrollierten C-TENS Anwendung (Prä). Eine nicht signifikante Veränderung der Post-Werte *ohne zervikale Provokation* der C-TENS Gruppe, im Sinne einer Zunahme der SPN Aktivität, ist jedoch zu beobachten.

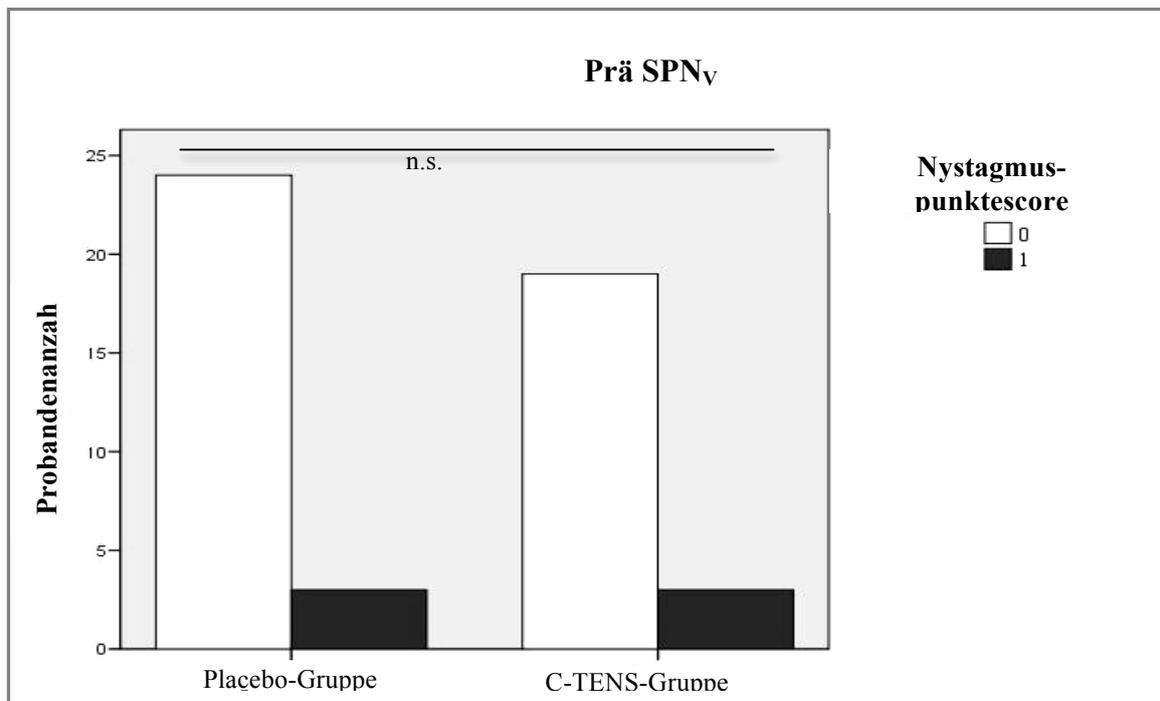


Abb. 10 Darstellung des Spontannystagmus (SPN) in vertikaler Nystagmusdimension (v) vor C-TENS- Anwendung (**Prä** Messung) im Balkendiagramm. Der Vergleich der Unterschiedlichkeit beider Gruppen wurde durch den **exakten Fisher-Test** im Chi-Quadrat durchgeführt, der **p-Wert** liegt hier bei **1,000**. Der Mittelwert liegt für die Placebo-Gruppe bei 0,11 und für die C-TENS- Gruppe bei 0,14.

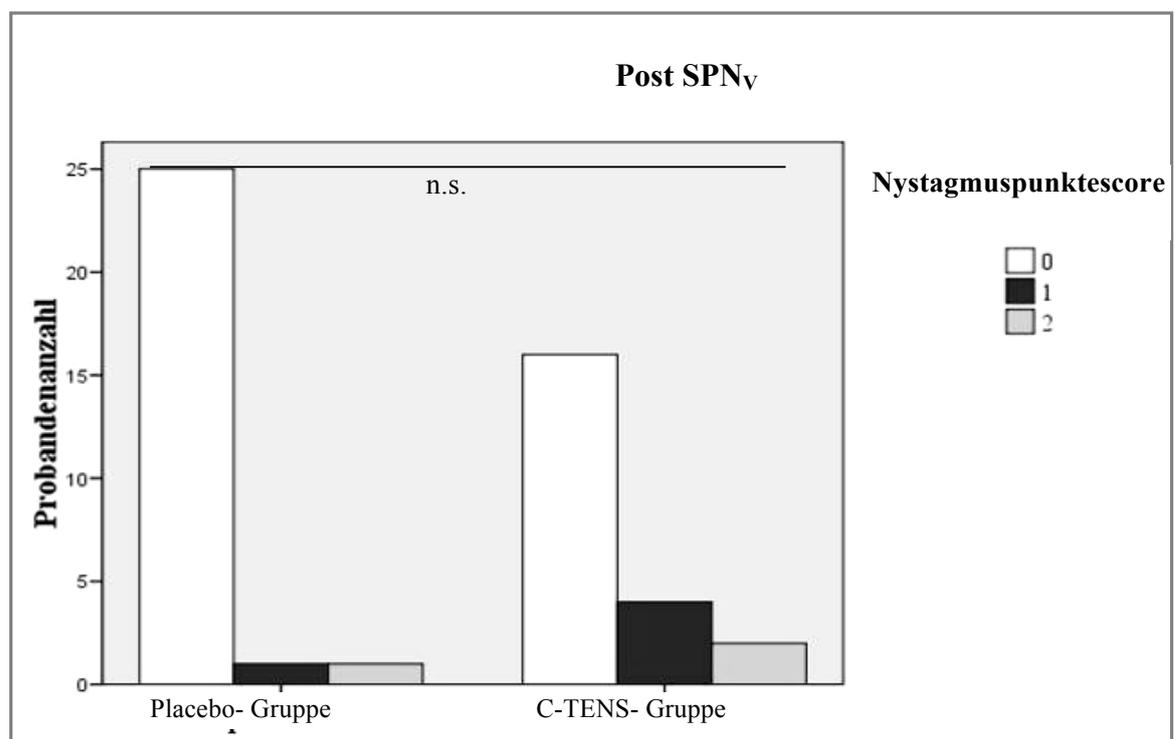


Abb. 11 Darstellung des Spontannystagmus (SPN) in vertikaler Nystagmusdimension (v) nach C-TENS- Anwendung (**Post** Messung) im Balkendiagramm. Der Vergleich der Unterschiedlichkeit beider Gruppen wurde durch den **exakten Fisher-Test** im Chi-Quadrat durchgeführt, der **p-Wert** liegt hier bei **0,213**. Der Mittelwert der Post- Messung liegt für die Placebo-Gruppe bei 0,11 und für die C-TENS- Gruppe bei 0,36.

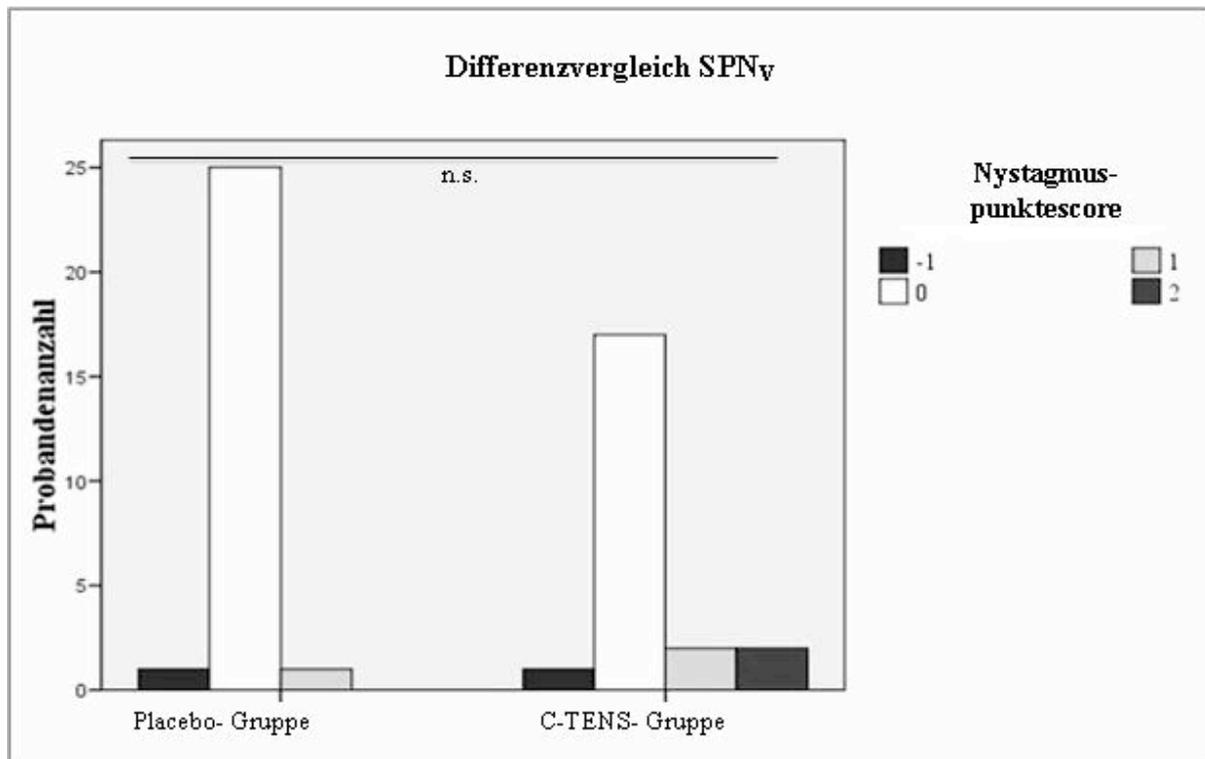


Abb. 12 Darstellung des **Differenzvergleichs** („Prä minus Post“) im Balkendiagramm für den vertikalen Spontan-nystagmus (SPN_V). Der Vergleich der Unterschiedlichkeit beider Gruppen wurde durch den **exakten Fisher-Test** im Chi-Quadrat durchgeführt, der **p-Wert** liegt hier bei **0,395**. Der Mittelwert des Gesamtkollektivs ($n=49$) entspricht für die Differenz der vertikalen spontanen Augenbewegung 0,10.

3.4.2 Der Effekt der C-TENS Behandlung auf die Nystagmusaktivität auf dem dreidimensionalen-Rumpfxursionsstuhl abhängig von verschiedenen Rumpfxursionen

Gegenstand dieser Analyse ist, ob sich ein durch eine zervikale Provokation hervorgegangener Nystagmus durch eine C-TENS Applikation modulieren lässt.

Grundlage ist hierbei zunächst die Betrachtung der Prä und Post Messungen, im Anschluss daran die Analyse des Differenzvergleiches (*Post minus Prä*).

Der Horizontalnystagmus zeigt während der Prä Messung in den Rumpftorsionsbewegungen ($C-PN$ in der Rumpftors_H) zwischen der C-TENS- Gruppe keinen signifikanten Unterschied zur Placebo- Gruppe in der horizontalen Nystagmusdimension (p -Wert= 0,573 im exakten Fisher Test im Chi-Quadrat). Auch nach C-TENS Intervention (Post-Messung) zeigt sich im Vergleich beider Gruppen kein signifikanter Unterschied im exakten Fisher Test (p -Wert= 0,840). In einem Differenzenvergleich (*Prä- Post Vergleich*) der Rumpftorsion_H beider Gruppen gegeneinander zeigt sich ebenfalls kein signifikanter Unterschied (exakter Fisher-Test: p -Wert= 0,368), (Abb. 13). In der genauen Frequenzanalyse wird eine Tendenz in der C-TENS-Gruppe zur Nystagmusabschwächung deutlich.

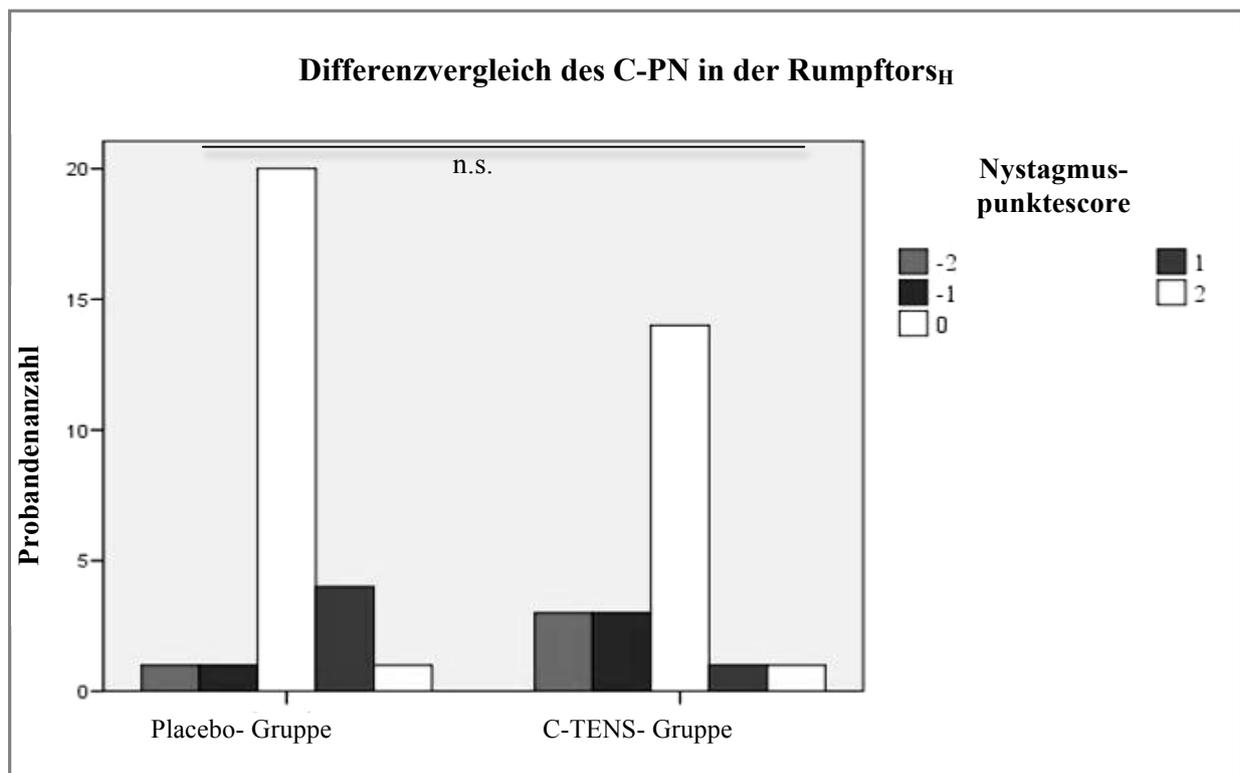


Abb. 13 Darstellung der nicht signifikanten Differenz des Horizontalnystagmus (H) während der statisch gehaltenen Rumpftorsion (**Rumpftors**). Der **Differenzvergleich** (*Prä-Post*) des zervikalen Provokationsnystagmus (**C-PN**) im Gruppenvergleich wurde durch den **exakten Fisher-Test** im Chi-Quadrat durchgeführt, der **p-Wert** liegt hier bei **0,368**. Der Mittelwert Prä- Messung liegt in der Placebo-Gruppe bei 0,37, bei der C-TENS Gruppe bei 0,64. In der Post- Messung in der Placebo-Gruppe bei 0,48 und in der C-TENS- Gruppe bei 0,36.

In der gleichen Rumpfpositionsreihe (Rumpftorsion) zeigt sich im Vertikalnystagmus bereits vor der Anwendung ein signifikanter Unterschied beider Gruppen (p -Wert = 0,005 im exakten Fisher Test). Der Gruppenvergleich nach Anwendung zeigt keinen signifikant Unterschied (p -Wert = 0,536). Betrachtet man den Differenzvergleich (*Prä- Post*) für den Vertikalnystagmus beider Gruppen wird ein hochsignifikanter Unterschied deutlich (p -Wert= 0,005 im exakten Fisher Test), (Abb. 14). In der genaueren Analyse (Frequenzanalyse) wird deutlich, dass die C-TENS-Gruppe beim Vertikalnystagmus einen ausgeprägt abschwächenden Effekt nach C-TENS Intervention zeigt. Der Vertikalnystagmus der Placebo- Gruppe verändert sich hingegen nicht signifikant.

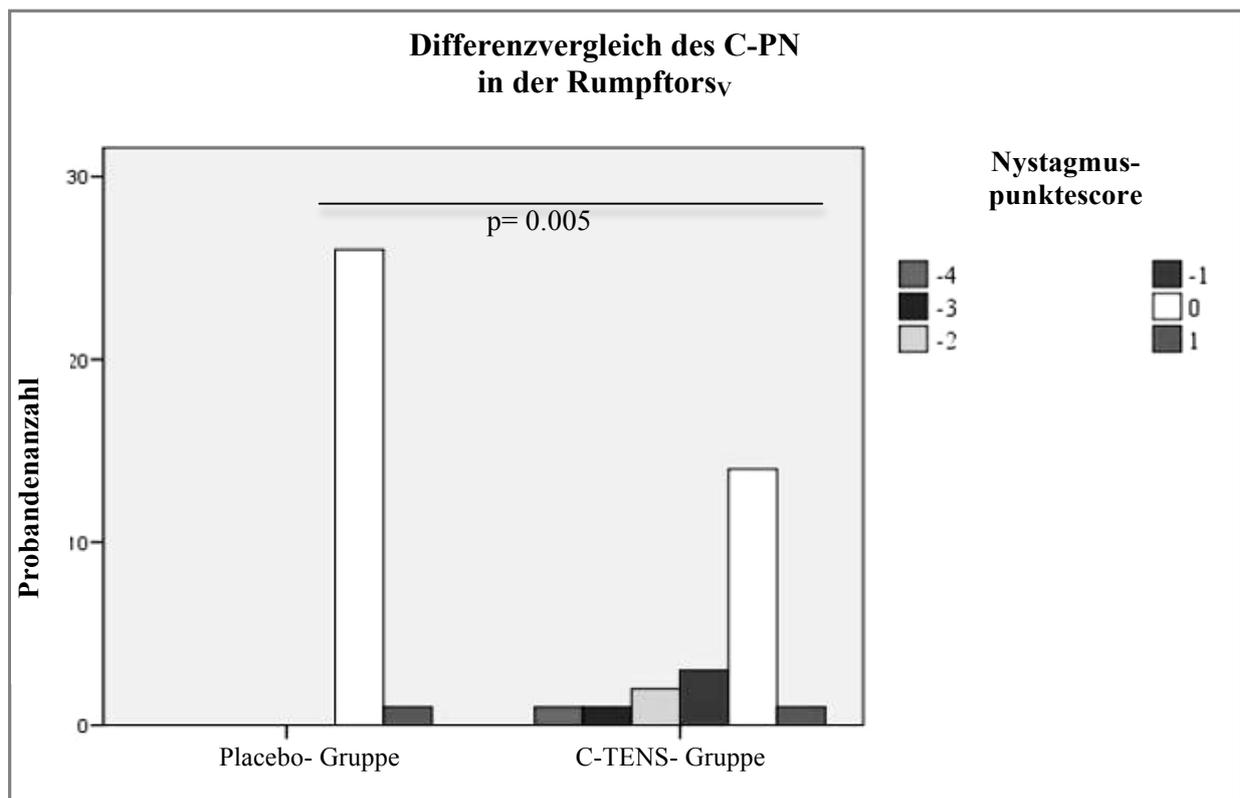


Abb. 14 Darstellung der hoch signifikanten Differenz des Vertikalnystagmus (v) während der statisch gehaltenen Rumpftorsion (**Rumpftors**). Der **Differenzvergleich** (*Prä-Post*) des *zervikalen Provokationsnystagmus (C-PN)* im Gruppenvergleich wurde durch den **exakten Fisher-Test** im Chi-Quadrat durchgeführt, der **p-Wert** liegt hier bei **0,005**. Der Mittelwert Prä- Messung liegt in der Placebo-Gruppe bei 0,07, bei der C-TENS Gruppe bei 0,86. In der Post- Messung in der Placebo- Gruppe bei 0,11 und in der C-TENS- Gruppe bei 0,27.

Die tonisch gehaltenen Rumpfkippungen auf dem 3D- Rumpfxkursionsstuhl sind im Gruppenvergleich in der Prä Messung nicht signifikant unterschiedlich im Horizontalnystagmus (p-Wert = 0,076 im exakten Fisher Test). Nach C-TENS Anwendung zeigt der Vergleich zwischen den Post C-TENS und Post Placebo- Werten keinen signifikanten Unterschied (p-Wert = 0,260 im exakten Fisher Test).

Für eine Beurteilung der C-TENS- Einwirkung auf den Horizontalnystagmus, während statisch gehaltener Rumpfkippung, wurden *Prä* und *Post* Messung nach beschriebenen Prinzip in Differenz zueinander (Differenzvergleich) gesetzt. Dieser Differenzvergleich ist signifikant unterschiedlich (p-Wert = 0,035 im exakten Fisher Test), (Abb. 15).

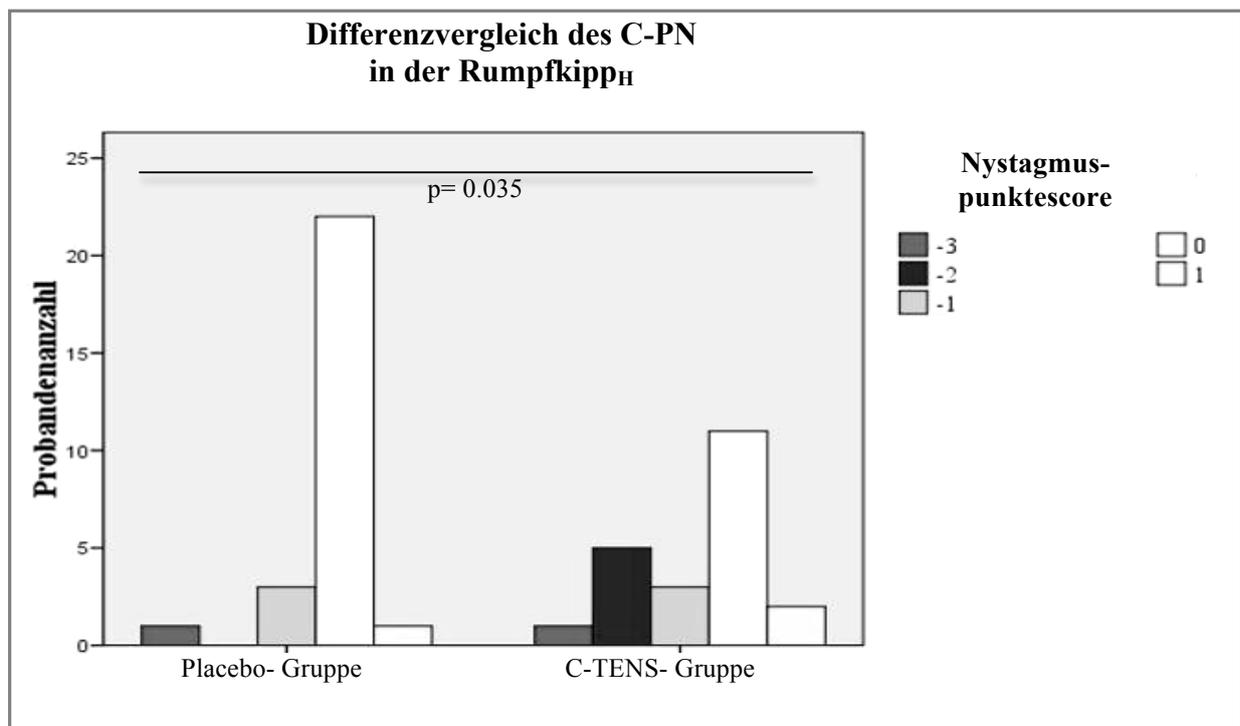


Abb. 15 Darstellung der signifikanten Differenz des Horizontalnystagmus (H) während der statisch gehaltenen Rumpfkippung (**Rumpfkipp**). Der **Differenzvergleich** (Prä-Post) des *zervikalen Provokationsnystagmus (C-PN)* im Gruppenvergleich wurde durch den **exakten Fisher-Test** im Chi-Quadrat durchgeführt, der **p-Wert** liegt hier bei **0,035**. Der Mittelwert Prä- Messung liegt in der Placebo-Gruppe bei 0,48, bei der C-TENS Gruppe bei 1,18. In der Post- Messung in der Placebo- Gruppe bei 0,30 und in der C-TENS- Gruppe bei 0,55.

In der C-TENS-Gruppe nimmt die Horizontalnystagmusaktivität während statisch gehaltener Rumpfkippung im Mittel um 0,64 Nystagmuscorepunkten von Prä zu Post Messung ab. In der Placebo- Gruppe hingegen nur um 0,19 Nystagmuscorepunkte. Das Ergebnis spiegelt demnach eine signifikante Horizontalnystagmusabnahme der C-TENS- Gruppe wieder, sofern ein SPN in der Prä Messung vorlag (Abb. 15).

Für den Vertikalnystagmus in der zervikotonisch gehaltenen Rumpfkippung stellt sich ein hoch signifikanter Unterschied in der Prä Messung vor Intervention zwischen den beiden Gruppen heraus (p -Wert = $< 0,0005$ im exakten Fisher Test). Auch in der Post Messung zeigen die Probandengruppen im Vergleich einen signifikanten Unterschied (p -Wert = 0,017) (Abb. 16).

Um die Wirkung der placebokontrollierten C-TENS- Anwendung zu beurteilen, wird erneut die Interpretation „Differenzvergleichinterpretation“ angewandt. Die Probanden der Placebo-Gruppe zeigen einen leichten Anstieg eines auftretenden Vertikalnystagmus, im Mittel um 0,07 Nystagmus Punktescores von Prä zu Post Messung. Der Vertikalnystagmus der C-TENS Gruppe verändert sich von Prä zu Post Messung im Mittel um -0,5 Nystagmus Punktescores. Dieser Unterschied zwischen beiden Gruppen spiegelt sich im p -Wert des Differenzvergleichs wieder (p -Wert = 0,0006 im exakten Fisher Test), (Abb. 16).

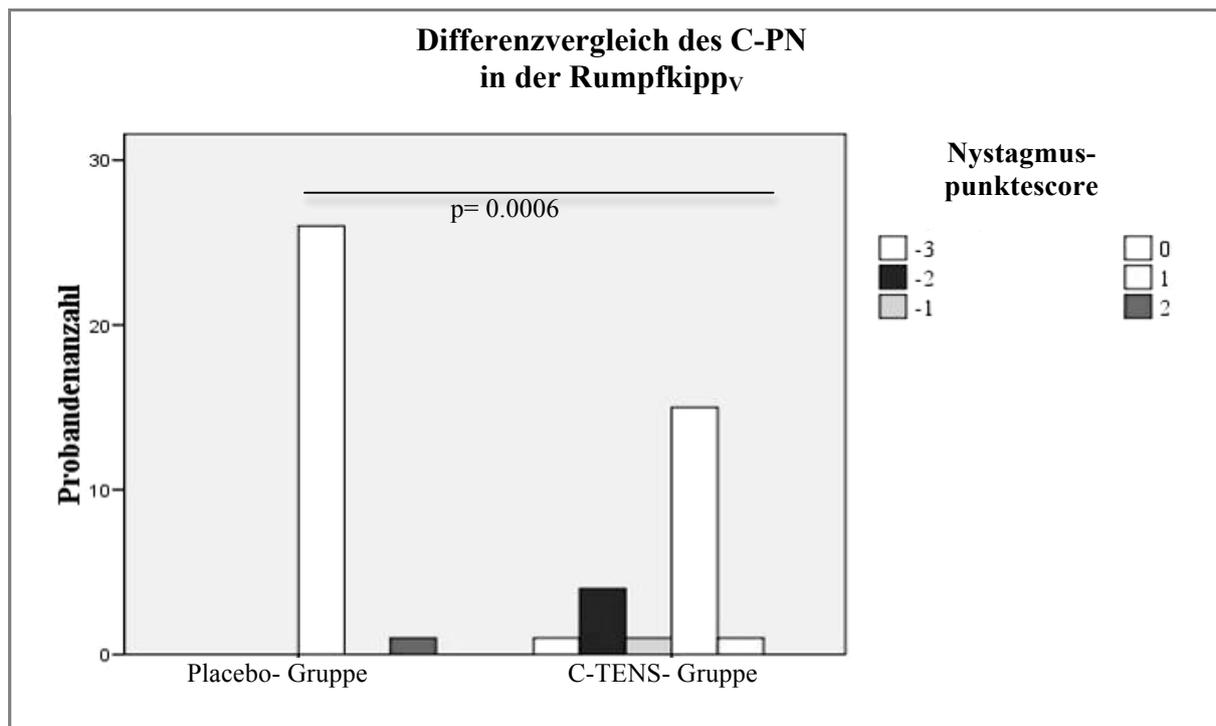


Abb. 16 Darstellung der höchst signifikanten Differenz des Vertikalnystagmus (ν) während der statisch gehaltenen Rumpfkippung (**Rumpfkipp**). Der **Differenzvergleich** (Prä-Post) des *zervikalen Provokationsnystagmus (C-PN)* im Gruppenvergleich wurde durch den **exakten Fisher-Test** im Chi-Quadrat durchgeführt, der **p-Wert** liegt hier bei **0,0006**. Der Mittelwert Prä- Messung liegt in der Placebo-Gruppe bei 0,00, bei der C-TENS Gruppe bei 0,91. In der Post- Messung in der Placebo- Gruppe bei 0,07 und in der C-TENS- Gruppe bei 0,41.

Die in der tonischen Rumpfflexion zusammengefassten Positionen (Rumpfanteflexion und -retroflexion) zeigen im Horizontalnystagmus in der Prä sowie in der Post Messung einen signifikanten Unterschied. Der Fokus liegt auch hier wieder auf dem *Differenzvergleich* der beiden Probandengruppen (C-TENS- versus Placebo- Gruppe). Im *Differenzvergleich* zeigt sich ein signifikanter Unterschied (p-Wert = 0,024 im exakten Fisher Test). Die C-TENS- Gruppe zeigt eine Abschwächung im Horizontalnystagmus nach C-TENS Anwendung. Die Horizontalnystagmuswerte der Placebo- Gruppe verändern sich wenig und eher mit einem leichten Anstieg der Nystagmusaktivität (Abb. 17).

Der Vertikalnystagmus in zervikotonisch gehaltener Rumpfflexion (*C-PN Rumpfflex_v*) unterscheidet sich im Probandengruppenvergleich in der *Prä* und in der *Post* Messung signifikant voneinander.

Die C-TENS Modulation wird auch hier durch einen Differenzvergleich („Prä-Post“) möglich. Der Gruppenunterschied durch einen nystagmusabschwächenden Effekt der C-TENS Anwendung ist höchst signifikant unterschiedlich (p-Wert = 0,001 im exakten Fisher Test), (Abb. 18).

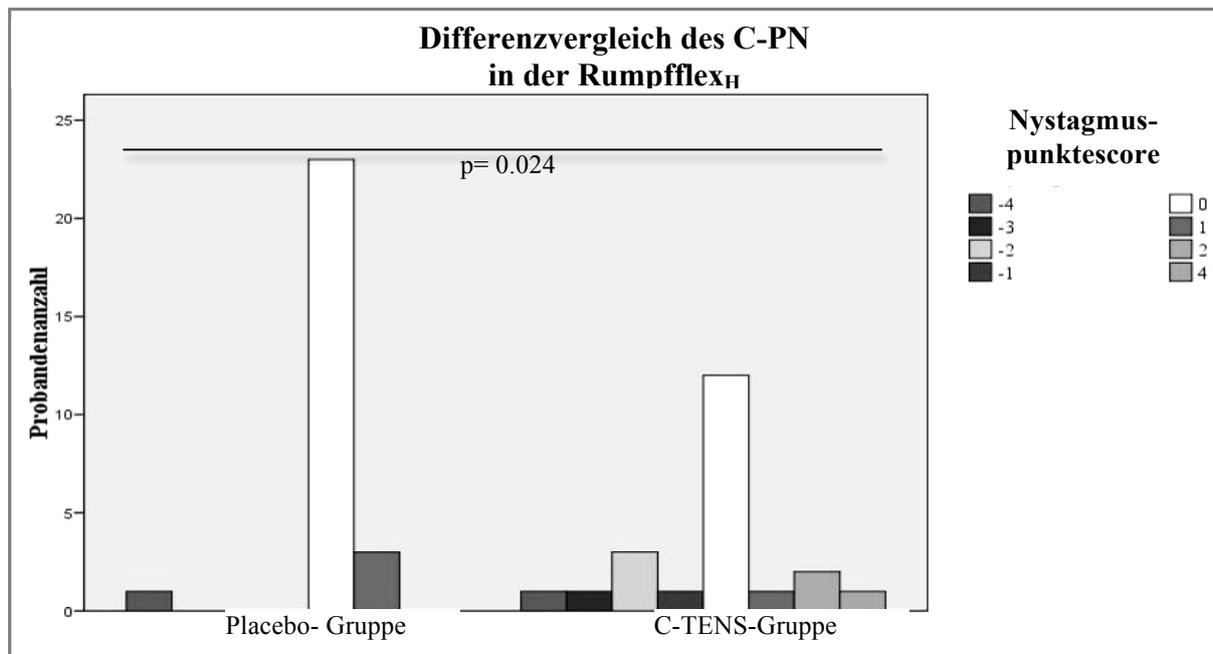


Abb. 17 Darstellung der signifikanten Differenz des Horizontalnystagmus (H) während der statisch gehaltenen Rumpfflexion (**Rumpfflex**). Der **Differenzvergleich** (*Prä-Post*) des zervikalen Provokationsnystagmus (**C-PN**) im Gruppenvergleich wurde durch den **exakten Fisher-Test** im Chi-Quadrat durchgeführt, der **p-Wert** liegt hier bei **0,024**. Der Mittelwert Prä- Messung liegt in der Placebo-Gruppe bei 0,26, bei der C-TENS Gruppe bei 1,36. In der Post- Messung in der Placebo- Gruppe bei 0,22 und in der C-TENS- Gruppe bei 1,14.

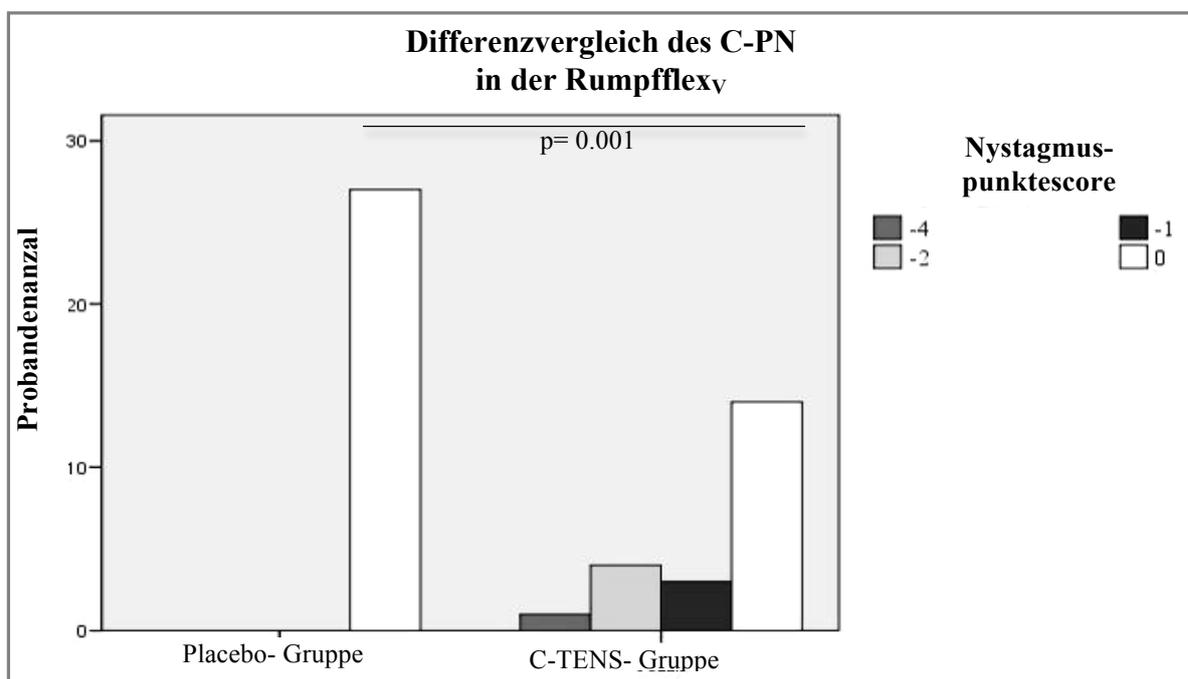


Abb. 18 Darstellung der höchst signifikanten Differenz des Vertikalnystagmus (V) während der statisch gehaltenen Rumpfflexion (**Rumpfflex**). Der **Differenzvergleich** (*Prä-Post*) des zervikalen Provokationsnystagmus (**C-PN**) im Gruppenvergleich wurde durch den **exakten Fisher-Test** im Chi-Quadrat durchgeführt, der **p-Wert** liegt hier bei **0,001**. Der Mittelwert Prä- Messung liegt in der Placebo-Gruppe bei 0,04, bei der C-TENS Gruppe bei 1,41. In der Post- Messung in der Placebo- Gruppe bei 0,04 und in der C-TENS- Gruppe bei 0,73.

Fazit 3.4.2: Die Frage, ob sich eine zervikale Provokation mittels unterschiedlicher tonischer Rumpfxkursionen placebokontrolliert durch C-TENS Applikation modulieren ließe, konnte durch eine signifikante nystagmusabschwächende Wirkung von C-TENS (mit Ausnahme der Rumpftorsion_H) beantwortet werden. Interessanter Weise zeigt gerade der klassisch untersuchte Parameter, der „Horizontalnystagmus in der Rumpftorsion“ keinen Aspekt der Meßparametermodulation.

3.5 Ergebnisteil E: Die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität auf dem dreidimensionalen Rumpfxkursionsstuhl

Der subjektive Nulldurchgang repräsentiert die Ansprechbarkeit der dynamisch wahrnehmbaren Nervenfasern der Propriozeption (*Konzept der Typ Ia Faserafferenzen*). Der Proband wird gebeten, so wie im Methodikteil unter den Untersuchungsmethoden 2.3.1 beschrieben, bei der rückführenden Bewegung aus der tonisch gehaltenen Rumpfxkursion, die für ihn empfundene Nullposition anzugeben.

Die von der Null abweichenden Werte werden im Folgenden für die Prä- und die Post-placebokontrollierte C-TENS Messung dargestellt und im Gruppenvergleich unter Einbeziehung der Differenz zwischen Prä und Post Messung verglichen. Dargestellt werden nur die Rumpfflexion, Rumpfkippung und Rumpftorsion, nicht die Einzelpositionen wie Rumpffante- und Rumpfretroflexion.

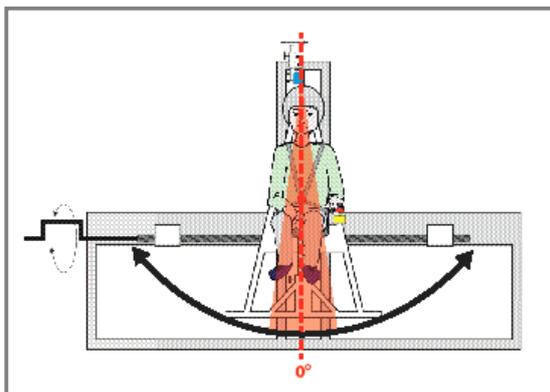


Abb. 19 Graphische Darstellung der Zielparame-ter bei der gefühlten Null auf dem 3D- Rumpfxkursionsstuhl. Der rot markierte Bereich stellt die Abweichung der subjektiv empfundenen Null von der realen Nullposition dar.

Für alle Rumpfxkursionen gilt, dass im Gruppenvergleich zwischen der Prä und Post Messung kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen gezeigt werden konnte. Hinsichtlich der gefühlten Null nach Rumpftorsion ergab sich bei einem Vergleich beider Differenzen („Post-Prä“ Messung) ein nicht signifikanter Gruppenunterschied (p-Wert = 0,19 im Mann-Whitney-U-Test). Die gefühlten Vertikalen im Raum nach Rumpfflexion und Rumpfkippung wurden auf signifikante Unterschiede im Vergleich beider Differenzen durch den t-Test untersucht. Auch

hier zeigten sich keine signifikanten Ergebnisse (p-Wert der Rumpfflexion = 0,85; p-Wert der Rumpfkippung = 0,39).

Betrachtet man die Probandengruppen getrennt voneinander und stellt einen Vergleich der Prä- und der Post-Werte an, so erkennt man folgende Tendenzen und Signifikanzen: die gefühlte Null aus der rückführenden phasischen Bewegung aus der Rumpftorsionshaltung zeigt in der Placebo-Gruppe einen knapp nicht signifikanten Unterschied (p-Wert im Wilcoxon - Rangsummentest = 0,06) zwischen Prä und Post Messung. Die Placebo- Gruppe weicht in der Prä Messung nach Rumpftorsion im Durchschnitt um $12,9^\circ$ von der tatsächlichen Vertikalen zwischen Kopf und Rumpf ab. In der Post Messung verbessert sich die Placebo- Gruppe im Durchschnitt um $4,3^\circ$, liegt also durchschnittlich bei $8,6^\circ$ Abweichung von der tatsächlichen Nulllinie (Abb. 20).

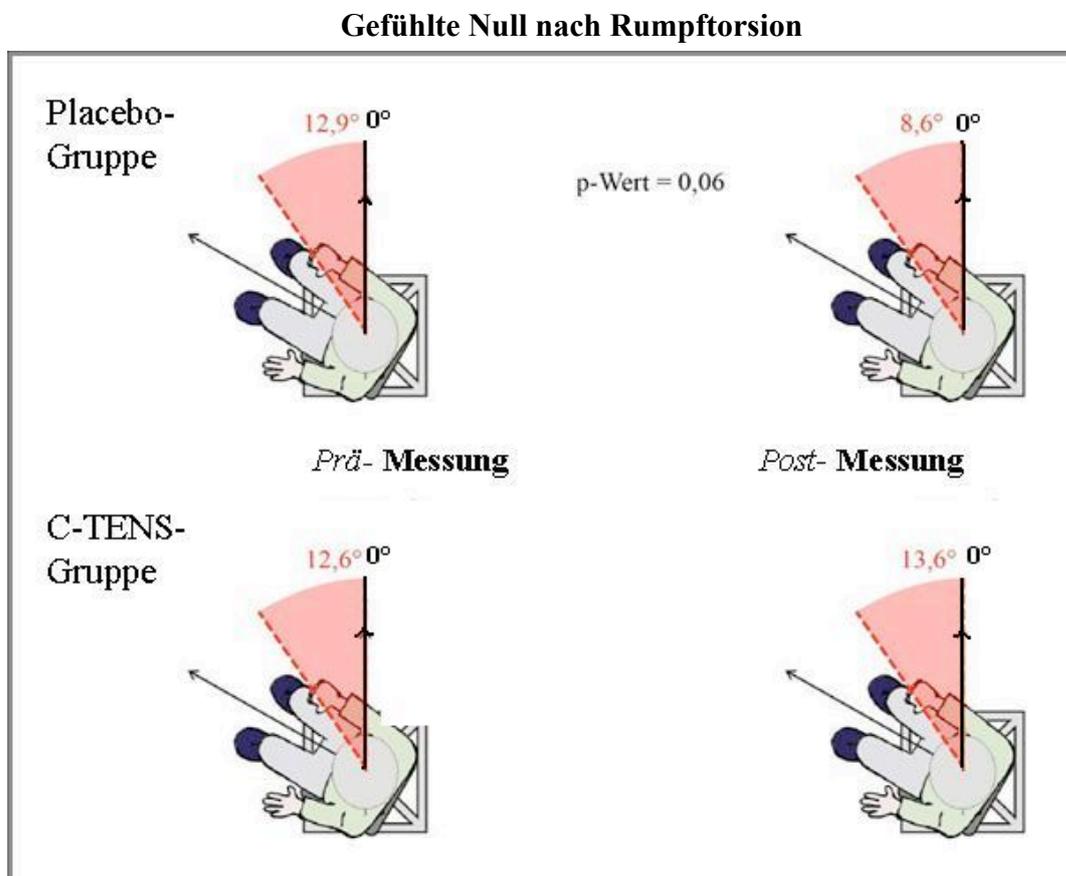


Abb. 20 Dargestellt ist die durchschnittliche Abweichung von der gefühlten Null (rot) nach Torsionsbewegung in den entsprechenden Probandengruppen. Zur Vereinfachung wird hier nur die Torsionsdrehung nach links dargestellt, die Werte umfassen die Torsionsdrehung nach rechts und nach links. Die dargestellten p-Werte (im Wilcoxon-Rangsummentest errechnet) zeigen den Unterschied zwischen Prä und Post Messung an.

Die Daten der Placebo- Gruppe sind nicht approximativ normalverteilt, die Ergebnisse der einzelnen Stichproben erstrecken sich von Differenzwerten von -31° bis $+21^\circ$. Die C-TENS-

Gruppe weist keinen signifikanten Unterschied (p-Wert im Wilcoxon - Rangsummentest = 0,84) zwischen Prä und Post Messung auf. Die C-TENS Gruppe liegt in der Prä Messung bei einem ähnlichen durchschnittlich gefühlten Nullwert wie die Placebo- Gruppe, nämlich bei $12,6^\circ$ abweichend von der Null (Abb. 20). In der Post Messung verschlechtert sich die C-TENS Gruppe im Durchschnitt um 1° , der Median liegt bei 2° . Die Bandbreite (-17° bis 54° in der Differenz) der Gradzahlen macht die Schiefe (2,08) der Stichproben deutlich. Die Daten sind also nicht approximativ normalverteilt. Nach der Rumpfkippung wird die Null von der Placebo-Gruppe im Vergleich zwischen Prä und Post Messung in der Post Messung signifikant besser gefühlt (p-Wert im t-Test = 0,04). Im Durchschnitt empfindet die Placebo- Gruppe in der Prä Messung, nach Rumpfkippung, die Null bei $13,8^\circ$. In der Post Messung liegt diese empfundene Vertikale zwischen Rumpf und Kopf bei $10,2^\circ$. Der Mittelwert der Differenz liegt in der Placebo-Gruppe bei -3,63. Die C-TENS- Gruppe hingegen zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen Prä und Post Messung (p-Wert im t-Test = 0,23). Die C-TENS- Gruppe empfindet in der Prä Messung den Nullpunkt im Durchschnitt bei $12,6^\circ$. Nach C-TENS Anwendung liegt er bei $10,9^\circ$ (Abb. 21). Der Mittelwert der Differenz liegt bei -1,67.

Die gefühlte Null nach Rumpfflexion (Abb. 22) ist im Differenzvergleich in beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich (p-Wert der Placebo-Gruppe im t-Test = 0,67 und der C-TENS-Gruppe = 0,79). Die Placebo- Gruppe zeigt hierbei eine leichte Verschlechterung von durchschnittlich ca. 1° . In der Prä Messung lag der Durchschnitt (Mittelwert) bei $11,3^\circ$, in der Post Messung bei $12,2^\circ$. Der Mittelwert der Differenz zwischen Prä und Post lag bei -0,93.

Die C-TENS- Gruppe verschlechtert sich auch minimal um $0,5^\circ$ im Durchschnitt. In der Prä Messung liegt die durchschnittlich gefühlte Null der C-TENS- Gruppe bei 11° und in der Post Messung bei $11,5^\circ$. Der Mittelwert der Differenz zwischen Prä und Post lag bei -0,476.

Die gefühlte Null nach Rumpfflexion (Abb. 21) ist im Differenzvergleich in beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich (p-Wert der Placebo-Gruppe im t-Test = 0,57 und der C-TENS-Gruppe = 0,79). Die Placebo- Gruppe zeigt hierbei eine leichte Verschlechterung von durchschnittlich ca. 1° . In der Prä Messung lag der Durchschnitt bei $11,3^\circ$, in der Post Messung bei $12,2^\circ$.

Gefühlte Null nach Rumpfkippung zur Seite

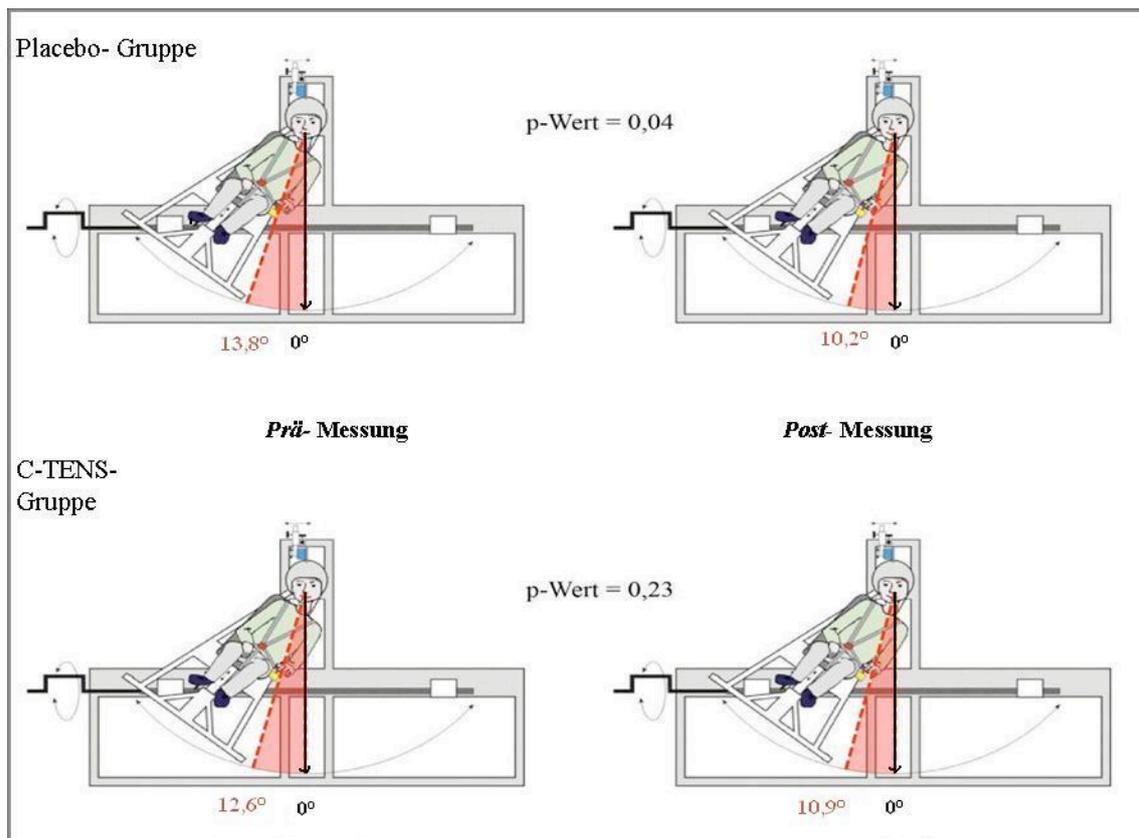


Abb. 21 Graphische Darstellung der durchschnittlichen Abweichung von der gefühlten Null (rot) nach Rumpfkippbewegungen in den entsprechenden Probandengruppen. Zur Vereinfachung wird hier nur die Rumpfrechtskippung dargestellt, die Werte umfassen die Rumpfkippung nach rechts und nach links. Die dargestellten p-Werte (im t-Test untersucht) zeigen den Unterschied zwischen Prä und Post Messung.

Die C-TENS- Gruppe verschlechtert sich auch minimal um $0,5^\circ$ im Durchschnitt. In der Prä Messung liegt die durchschnittlich gefühlte Null der C-TENS- Gruppe bei 11° und in der Post Messung bei $11,5^\circ$.

Fazit 3.5: Zusammenfassend konnte gezeigt werden, dass die Placebo- Gruppe nach der Rumpftorsion im Prä/ Post- Vergleich eine Verbesserung der Post Messung im Durchschnitt von $4,3^\circ$ erzielt. Die C-TENS- Gruppe hingegen zeigt einen nicht signifikanten Trend zu einer eher verschlechterten Wahrnehmung der Null in der Post Messung nach C-TENS Anwendung (Abb.20).

Nach Rumpfkippung des 3D- Rumpfkursionsstuhls wird die Null von der Placebogruppe im Vergleich zwischen Prä und Post Messung in der Post Messung signifikant besser gefühlt. Die

C-TENS- Gruppe verbessert sich tendenziell von der Prä zur Post Messung, allerdings nicht signifikant (Abb.21).

Nach der Rumpfflexionshaltung zeigen weder die Placebo- noch die C-TENS- Gruppe einen signifikanten Unterschied zwischen Prä und Post Messung. In der Tendenz zeigen für diese Rumpffositionszurückführung beide Gruppen eher eine Verschlechterung der gefühlten Null (Abb.22).

Gefühlte Null nach Rumpfflexion

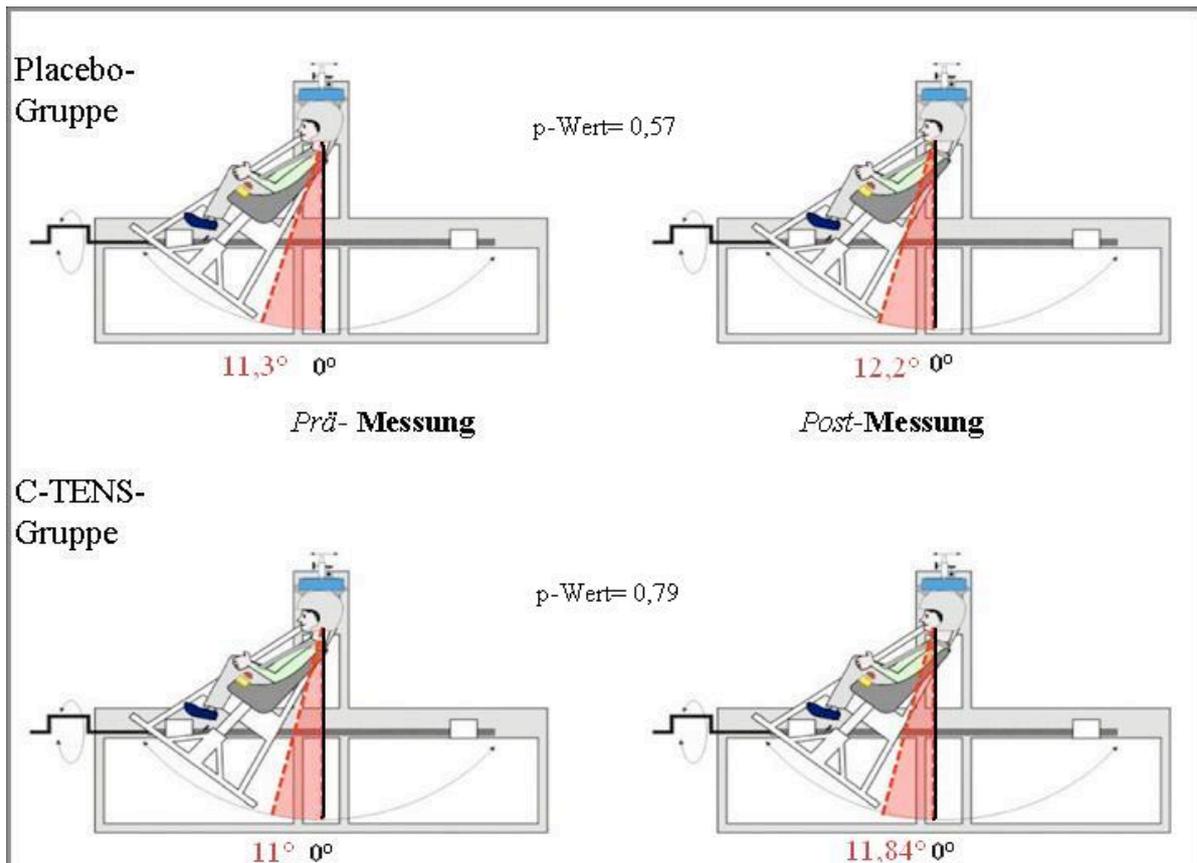


Abb. 22 zeigt graphisch dargestellt die durchschnittliche Abweichung von der gefühlten Null nach Flexionsbewegung in den entsprechenden Probandengruppen. Zur Vereinfachung wird hier nur die Anteflexionshaltung dargestellt, die Werte umfassen die Retroflexion und die Anteflexion. Die dargestellten p-Werte (im t-Test errechnet) zeigen den Unterschied zwischen 1. und 2. Messung.

4 DISKUSSION

Die Funktion der menschlichen räumlichen Orientierung ist schwer zu untersuchen. Hierbei stellt der klinische Stellenwert zervikal somatosensorischer Vestibularisafferenzen aus den Bewegungssegmenten der oberen HWS eine Kontroverse dar. In dem höchst komplexen multimodalen Zusammenspiel der intra- und extrakraniellen vestibulären Reaktionen und Reflexen spielt der zervikookuläre Reflex (englisch: Cervico ocular reflex= COR) eine viel diskutierte Rolle und stellt eine diagnostische Herausforderung dar [Mandellos (2006)].

Mit unseren Arbeitshypothesen nehmen wir an, dass es durch extreme und lang gehaltene Kopf-Körper-Positionsänderung wie es während unseres Versuches passiert, zu einem „Mismatch“ auf Hirnstammebene kommt. Denn hierdurch entsteht eine Divergenz in den vestibulär relevanten Rezeptorinformationen. In solch einem Falle postulieren wir veränderte Nystagmusableitungen objektivieren zu können.

Diese Annahme stützt sich auf neuroanatomische Erkenntnisse, dass die vestibulär relevanten Informationen nicht nur den intrakraniellen, sondern auch den extrakraniellen Rezeptorinformationen entspringen und in den Vestibulariskernen (VKK) prozessiert werden. Da der Gleichgewichtswahrnehmung ein redundantes Rezeptorsystem zu Grunde, welches sich an die individuellen Gegebenheiten anpassen kann, ist es unter wissenschaftlichen Überlegungen nur sinnvoll die zervik vestibulären Afferenzen zu untersuchen, wenn die anderen Rezeptoren der Gleichgewichtswahrnehmung (*intrakranielle* Rezeptorsysteme) keinen Reiz erhalten. Es gibt klinische Hinweise darauf, dass es nicht nur während eines phasischen Untersuchungsansatzes zu einem sogenannten Mismatch kommt [Mulch (1977)]. Analog dazu verfolgen wir die Überlegung auch während einer tonischen Untersuchungsbedingung, wie es diese klinische Studie darstellt.

Um das Konzept der somatosensorisch bedingten Nystagmusaktivität besser untersuchen zu können, sollte sich diese nicht nur durch die Position einer zervikalen Provokation verändern lassen, sondern ebenfalls durch eine reversible monophasische zervikale transkutane Nervenstimulation (C-TENS) von C1 bis C3. Bei der C-TENS- Anwendung handelt es sich um eine elektromedizinische Reizstromtherapie mit mono- (gleichbleibender Strom), in dieser Studie verwendet, oder biphasischen (Wechselstrom) Rechteckimpulsen niedriger Frequenz. Die C-TENS stellt ein nichtmedikamentöses und nichtinvasives Behandlungsverfahren dar, welches seinen Haupteinsatz in der Schmerztherapie findet. Die Schmerzschwelle soll durch die TENS heraufgesetzt werden, indem der Nerv durch die Anwendung stark gereizt, depolarisiert wird und somit für eine kurze Zeit durch die Aktionspotentiale, welche zum Erliegen kommen, wie

„blockiert“ wirkt. Der Wirkmechanismus ist bekannt unter dem Namen „*gate-control*“ [Kroeling (1998)].

In dieser Pilotstudie fassen wir die Veränderung oder auch *Modulation*, die Zu- oder Abnahme der Nystagmusamplitude und –frequenz in einem eigenen Scoresystem erstmals zusammen. Dieses Auswertungskonstrukt unterstreicht den Charakter der Pilotstudie. Ziel der Auswertung ist die Erfassung einer Meßveränderung. Dies ist durch einen Differenzvergleich zwischen beiden Probandengruppen zwischen erster (Prä-) und zweiter (Post-) Messung gewährleistet. In den vorgestellten Untersuchungen auf dem 3D- Rumpfxkursionsstuhl werden zwei Konzepte verfolgt: das ***Konzept der statisch wahrnehmbaren Typ-II-Afferenzen*** und jenes der ***dynamisch wahrnehmbaren Typ-Ia-Afferenzen***. Dieser Untersuchungsansatz würde die Möglichkeit bieten, die Beteiligung der zervikalen Faserafferenzen der *statischen* als auch der *phasischen* Afferenzen, welche beide an der Kopf-/Körper-im-Raum-Wahrnehmung beteiligt sind, zu untersuchen. Wir könnten von der kinestetischen Sensibilität, welche in einer sich bewegenden, rückführenden Bewegung aus der Rumpfxkursionshaltung untersucht wird und dabei die phasisch wahrnehmbaren Faserafferenzen anspricht, auf die Mitbeteiligung der zervikalen Typ-Ia-Afferenzen schließen.

Die Faserqualitäten der zwei beschriebenen Nervenafferenzen Typ-Ia und -II, sind an zwei sehr unterschiedlichen (*statisch versus dynamisch*) propriozeptiven Leistungen beteiligt, dennoch verfolgen sie den gleichen anatomischen Weg. Die Funktionen wie auch die Eigenschaften sind unterschiedlich bis konträr, hypothetisch wäre anzunehmen, dass sie demnach auch unterschiedlich auf die C-TENS-Einwirkung reagieren oder deren entsprechende Bedeutung in ihrer Teilleistung der Propriozeption deutlich wird.

Als ein grundlegender Aspekt im Verständnis der vestibulären Afferenzen soll im Folgenden zunächst die zerviko-okuläre Reaktion beschrieben werden (Kap. 4.1).

In dem sich anschließenden Diskussionsteil sollen die beschriebenen Inhalte der Arbeitshypothesen analysiert, hervorgehoben und in einen Bezug zur Literatur gesetzt werden.

4.1 Die zerviko-okuläre Reaktion

Die Augen-Kopf-Koordination, u. a. die Konstanthaltung des Blickes, wird durch die Entstehung der Summe von Augen- und Kopfbewegungen und die daraus resultierenden Reflexe erklärt. Rezeptorgebiete sind dabei die semizirkulären Kanäle des Labyrinths (vestibulo-okulärer Reflex = VOR), die Rezeptoren des optischen Systems (optokinetischer Nystagmus= OKN) sowie die Rezeptoren der Muskulatur des Nackens (engl. cerviko-occular reflex= COR) [Deetjen (2005)].

Aus physiologischer Sichtweise wird die statische posturale Reaktion beschrieben, eine Haltungsreaktion, die von den Nackenrezeptoren ausgeht. Die so genannten „tonischen Nackenreflexe“ bereiten die Körperhaltung entsprechend der Kopfstellung auf die nächste Bewegung vor. Ein Beispiel bietet der asymmetrische tonische Nackenreflex: Bei einer Kopfbewegung wird der Tonus der Extensoren der Extremitäten und des Rumpfes auf der gleichen Seite gesteigert und auf der kontralateralen Seite gehemmt.

Der Hals nimmt folglich eine besondere Rolle bei der Stabilisierung, Bewegung und Balance des Kopfes ein. Neben intra- und extrakraniellen Sensoren stehen für die Rumpf-Körper-Koordination eben beschriebene komplexe Reflex- und Reaktionsmuster für die Orientierung im Raum zur Verfügung. Zervikale und vestibuläre Reflexe gewährleisten über eine Feinabstimmung der Subsysteme eine Interaktion [Mergner (1997)]; [Igarashi (1969)]; [Hikosaka (1973)] (Abb.1).

Die vestibulär relevanten somatosensorischen Afferenzen stammen aus den Propriozeptoren im Bereich der oberen HWS. Die suboccipitalen Muskeln zählen zu den muskelspindelreichsten des Menschen [Neuhuber (1998)]. Sowohl neuroanatomische als auch elektrophysiologische Untersuchungen konnten direkte propriozeptive Afferenzen aus den oberen Zervikalsegmenten zum Vestibulariskernkomplex nachweisen [Neuhuber (1998)]; [Matsushita (1995)] (Abb.1). Spinovestibuläre Afferenzen aus kaudaleren Rückenmarksegmenten sind hingegen spärlich ($<1/3$) im VKK repräsentiert [Neuhuber (1992)].

Andere Arbeitsgruppen zeigen, dass nicht nur die Nackenmuskulatur alleine eine Modulation auf die vestibuläre Kontrolle ausübt, sondern auch die Rumpf-, Knie- und Fußgelenkspropriozeption einen Effekt zeigt [Allum (1995)]. In späteren Studien konnte die Arbeitsgruppe die beschriebenen propriozeptiven Leistungen des Rumpfes und auch des Knies genauer charakterisieren. Bei einer Drehung um die y-Achse (um die Längsachse des Körpers) (engl.: „roll“) erfolgt die Wahrnehmung im Vestibularorgan am schnellsten mit einer direkten Weiterleitung an die Beinmuskulatur. Die Drehung um die x-Achse (Querachse = sich um die horizontale Schwerpunktsachse drehen) (engl.: „pitch“/ „nick“) hingegen wird später und fokussiert in der Rumpfpropriozeption wahrgenommen [Allum (1995)].

In der Diagnostik von Koordinations- und Gleichgewichtsstörungen nimmt die Überprüfung der Okulomotorik eine wichtige Rolle ein. Üblicherweise werden diese okulomotorischen Funktionstests, wie der Optokinetische Test, der Eye Tracking Test und der Smooth Pursuit Test, für den Nachweis von Läsionen im Hirnstamm und/oder Zerebellum verwendet, da hier die

Zentren für die Steuerung der langsamen Augenbewegungen und Sakkadenentstehung liegen [Donevan (1990)].

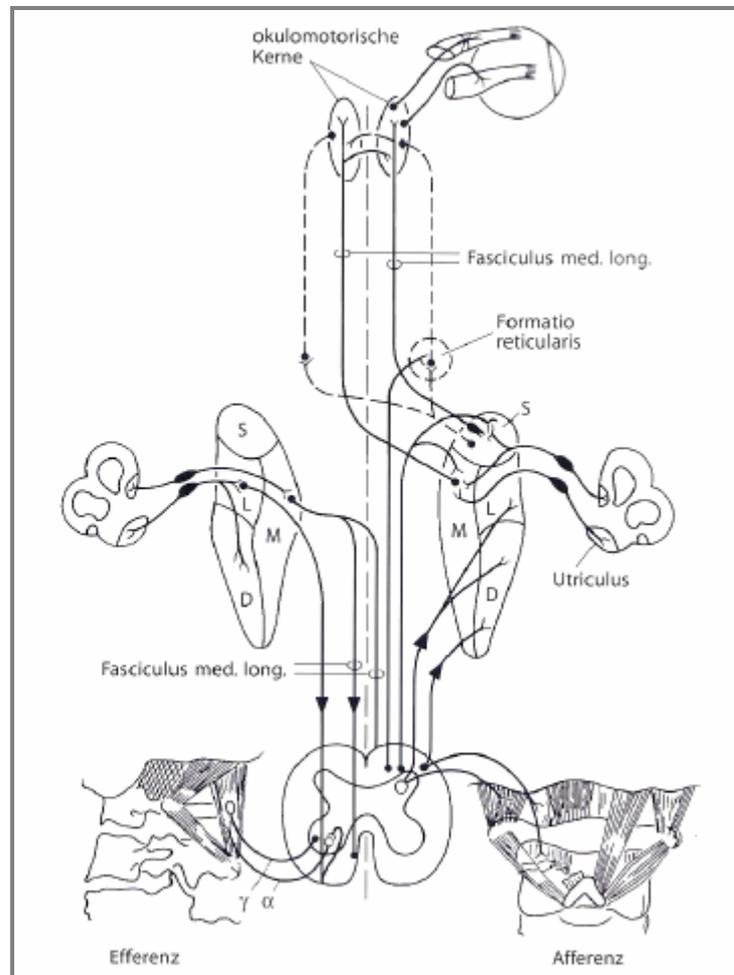


Abb. 1 Zeigt eine schematische Verknüpfung des Nackenrezeptorenfeldes mit dem Vestibulariskernkomplex (VKK) sowie weiteren Steuerungszentren. **Legende:** S: Nucleus vestibularis superiores, M: Nucleus vestibularis medialis, D: Nucleus vestibularis inferiores, L: Nucleus vestibularis lateralis [Wolff (1996)].

Wie bereits erläutert bedarf es für eine Orientierung im Raum neben den vestibulären Rezeptorinformationen noch der zugehörigen Relativwinkel zwischen Rumpf und Kopf. Die Halspropriozeptoren leiten dabei die Stellungsinformationen zum vestibulären Kernkomplex (VKK). Aus eigenen klinischen Beobachtungen wissen wir, dass gewisse „Scheinbewegungen“ für Patienten als Sinneswahrnehmung entstehen können. In Versuchen wird hierzu deutlich, dass bei fixiertem Kopf, während der Rumpf langsam gedreht wird, klinisch eine illusionäre Kopfbewegung beobachtet werden kann. In diesem Zusammenhang wurde der Begriff der „zervikalen Zirkularvektion“ geprägt, sie wird als eine Folge einer unphysiologischen Reizung

ausschließlich durch zervikale Rezeptoren hervorgerufen. [Bles (1982)]; [Mergner (1982)]; [Thoden (1986)]

Bei zervikaler Dysfunktion wird in der klinischen Untersuchung ebenfalls der zerviko-okuläre Reflex untersucht. Der Halsdrehtest (HDT) gilt in der Literatur als ein häufig verwendetes Untersuchungsinstrument zur Darstellung einer gestörten Kopf-Rumpf-Koordination und des COR, der die schnellen Anteile der Blickfeldstabilisierung symbolisiert [Hülse (2005)]; [Scherer (1985 a)]; [Scherer (1997)]; [Norre (1987)]; [Holtmann (1989 a)] (Kap. 4.1).

In der Literatur finden sich unter der Abkürzung COR zwei gängige, aber auch sehr unterschiedliche Erklärungen. Für einige Autoren bedeutet COR eine zerviko-okuläre Reaktion [Doerr (1989)], für andere wiederum einen zerviko-okulären Reflexmechanismus [Montfoort (2006)]. Diese verwirrenden und uneinheitlichen Namensverwendungen werden in Tab. 1 beispielhaft aufgezeigt.

Abgelöst von der „Namensdebatte“ unterstreicht die Arbeit von Rijkaart et al. die klinische Aussagekraft des COR. Bei Patienten mit zervikaler Funktionsstörung konnten die Autoren unter phasischen Versuchsbedingungen die Wechselwirkungen zwischen dem COR und dem vestibulo-okulären Reflex (VOR), der Optokinetische Nystagmus (OKN) und dem Smooth Pursuit darstellen. Der Ursprung dieser Untersuchung liegt in der Annahme, dass Reflexmechanismen die Blickfeldstabilisierung bei Kopfbewegungen größtenteils steuern [Rijkaart (2004)].

Andere Beiträge verstärken die Annahme es handle sich um einen Reflex, und schreiben dem COR mit dem VOR und dem OKN synergetische Reflexfunktionen zu [Kelders (2005)].

Ein so genannter „Augenrückstelltest bei Rumpfdrehung“ konnte im Rahmen einer Studie die Zusammenhänge von propriozeptivem und visuell-okulomotorischem System bei der Kopf-Körper-Koordinationskontrolle zeigen. Bei Änderungen der zervikalen propriozeptiven Qualität konnten Veränderungen der willkürlichen Augenbewegung festgestellt werden [Karlberg (1991)].

Es schloss sich eine Studie unserer Arbeitsgruppe mit der Messung der Rückstellsakkaden bei Rumpfdrehung an. Dieser Studienansatz erfolgte ebenfalls unter der Annahme, dass eine gestörte Integrität der Halspropriozeption zu einer Dysfunktion der Kopf-Körper-Wahrnehmung führen müsste. Es wurde ein für den Probanden dunkler virtueller Raum mit einem visuellen Fixpunkt geschaffen, welchen die Probanden nach Rumpfdrehung halten mussten. Die Hypothese konnte bestätigt werden, da Patienten mit einer zervikalen Funktionsstörung eine weitaus größere Rückstellbewegung zeigten als gesunde Probanden [Weikert (2008)]. Der VOR ist in dieses

Reflexmechanismusgeschehen durch die Augenbewegung auf der Basis der vestibulären Information integriert. Der OKN wird bei visueller Bewegungsstimulation aktiviert.

Tab. 1 zeigt beispielhaft die in der Literatur verschieden interpretierte „COR“ Bedeutung.

Kontroverse Bezeichnung des COR	
Zerviko- okulärer Reflex	Ringelstein (2008) Zervikogener Schwindel: fast immer eine Verlegenheitsdiagnose
	Yakushin (2009) Modification of the cervico-ocular reflex by canal plugging
	Montfoort (2008)I et al. Adaptation of the cervico- and vestibulo-ocular reflex in whiplash injury patients
	Skliut IA, Likhachev SA, Skliut MI.(1999) The vestibule-cervico-ocular reflex in healthy persons
Zerviko- okuläre Reaktion	Holtmann S (1993) Zur klinischen Bedeutung zerviko-okulärer ReaktionenClinical significance of cervico-ocular reactions
	Doerr (1989) Eye movements during voluntary head motion with minimized cervical input

Die Reflexmechanismen des COR und des OKN sind im Gegensatz zum VOR eher für langsamere Geschwindigkeiten der Kopfbewegung zuständig.

Die beschriebenen Reaktionen und Reflexe dienen der Feinabstimmung des Körpers beispielsweise bei Sportarten, im Besonderen bei sich bewegenden Objekten, wie zum Beispiel beim Tennisspiel. Neben einer Körperkoordination ist ebenfalls eine Fixierung eines sich bewegenden Balles erforderlich. Der VOR ermöglicht als Hirnstammreflex eine stabile visuelle Wahrnehmung des Tennisballes auch bei einer plötzlichen schnellen bis sehr schnellen (bis 100°/s sensitiv) Kopf- und/oder Körperbewegung [Tabak (1997)]. Bei einer Kopfdrehung werden die Augen mit gleicher Geschwindigkeit in die entgegengesetzte Richtung bewegt, so dass der Ball weiterhin fixiert werden kann und es nicht zu einer „Verwackelung“ des Bildes kommt. Dies wird durch eine direkte Verbindung des Gleichgewichtsorgans (Bogengänge) zu den Augenmuskelnervenkernen (Nuclei nervi oculomotorii, trochlearis, abducentis) erreicht. Der COR hingegen erhält nicht durch das Gleichgewichtsorgan seinen adäquaten Reiz, sondern durch eine Relativbewegung zwischen Kopf und Rumpf, wie sie beispielsweise bei einem loslaufenden Sportler zu erwarten wäre. Dadurch kommt es dann zu einer reflexartigen Augenbewegung. Diese Verschaltung wird ausschließlich über zervikale propriozeptive

Afferenzen ermöglicht, die eine Verbindung zum VKK besitzen, welcher dann eine Verschaltung zu den Augenmuskeln aufweist. Der OKN wirkt sich in der beschriebenen Situation so aus, dass er als ein Bewegungsreflex dient um eine Reizermüdung der Fotorezeptoren zu verhindern, durch eine relative Stabilisierung des Tennisballes im foveolaren Bereich der Retina. Der Reflex setzt sich aus einer langsamen und einer schnellen Phase zusammen. Zunächst erfolgt eine langsame Folgebewegung des Balles, die der Geschwindigkeit des Balles entspricht, sie dient der relativen Stabilisierung der Bildposition im Bereich des schärfsten Sehens. Anschließend bringt eine schnelle Sakkade die Blicklinie entgegen der retinalen Bildverschiebung wieder in die Ausgangslage.

Ein sogenannter „Gain“ (Verstärkung) hilft bei der Wahrnehmung der langsamen Bewegung (OKN). Der „Gain“ setzt sich aus einem Quotienten zusammen, welcher aus der langsamen Bewegung des Nystagmus und der Rumpfrotationsgeschwindigkeit berechnet wird [Kelders (2003)]. Kelders et al. konnten einen altersabhängigen Unterschied im „Gain“ [Kelders (2003)], Mandellos et al. einen Anstieg des „Gains“ bei Labyrinthdysfunktionen entdecken [Mandellos (2006)]. Auch Patienten mit Beschleunigungstraumata zeigen laut Kelders et al. und Montfoort et al. einen signifikanten Anstieg des „Gains“ gegenüber gesunden Kontrollprobanden [Kelders (2005)]; [Montfoort (2006)].

Ringelstein et al. führen an, dass die Messung des „Gains“ die Gewichtung der an der Gleichgewichtswahrnehmung beteiligten neurogenen Systeme darstellen könne. Die Bedeutung des COR mit einem „Gain“ von nur 0,3 habe damit einen schwächeren Einfluss auf das System als der VOR mit einem „Gain“ von 0,8. Der Autor schlussfolgert daraus, dass es unwahrscheinlich sei, dass Störungen der somatosensorischen Afferenzen aus dem Hals Schwindel erzeugen, solange das vestibuläre System intakt sei.

Bei Untersuchungen an gesunden Erwachsenen zeigen sich nichtlineare Verstärkungen der Signalflüsse aus dem Halsbereich. Bei einer rein halspropriozeptiven Rumpfbewegung unter dem im Raum fixierten Kopf entspricht der „Gain“ der Wahrnehmung (gemessen an der tatsächlichen Relativauslenkung zwischen Kopf und Körper) einem mittleren Wert von 0,3 – 1,0 bei Winkelgeschwindigkeiten von 20 Grad/s² bzw. Winkelbeschleunigungen von 50°/s² und darunter (alltägliche, eher langsamere Drehbewegungen) [Mergner (1991)].

Autoren wie Treleavan et al. beziehen sich auf die beschriebene besondere Rolle der langsamen Blickfolge (*Smooth Pursuit*), da der kraniozervikale Übergang auch bei langsamen Blickfolgen beteiligt ist. Es ist nach Treleavan möglich, Patienten mit gestörter Halspropriozeption, wie bei Whiplash-Patienten, in einem so genannten „*smooth pursuit neck torsion test*“ zu identifizieren

[Tjell (1998)]; [Treleaven (2005)]. In vielen Studien konnte dieses Testverfahren validiert werden und gilt als ein wichtiges Mittel bei der zervikalen propriozeptiven Diagnostik [Treleaven (2005)]; [Marti (2005)]; [Treleaven (2006)].

Zusammenfassend ist zu sagen, dass der COR sehr aufwendig zu erheben ist und eine diagnostische Vergesellschaftung mit einer Miss-/Fehlempfindungen der zervikalen Propriozeption noch weiter validiert werden muss.

Für den klinischen Alltag erweist es sich als sehr wichtig, einfach durchzuführende Tests, die gut miteinander vergleichbar sind, zu finden und zu entwickeln. Einen ersten Beitrag soll der bereits vorgestellte 3D- Rumpfxursionsstuhl mit seiner möglichst artefaktarmen, objektiven Versuchsanordnung bieten (3.2.2).

4.2 Diskussionen der Methodik

4.2.1 Der Dizziness Handicap Inventory

Der DHI-Fragebogen (s. Anhang) konnte schon in anderen Studien einen zwar subjektiv eingeschätzten, dennoch plausiblen Zusammenhang zwischen physischen, funktionalen und psychischen Beschwerden abbilden. In Voruntersuchungen mit Patienten mit zervikalen und peripher-vestibulären Defiziten ließ sich eine deutliche Abgrenzung zu gesunden Probanden anhand des DHI widerspiegeln. Auch in dieser Studie zeigten alle 49 gesunden Probanden einen dementsprechend unauffälligen DHI-Score (0 Punkte). Durch den im DHI mitintegrierten emotionalen Subscale kann auch die psychische Komponente, beispielsweise des „phobischen Schwankschwindels“, erfragt und unter Umständen erfasst und abgegrenzt werden. Dieser Subscale ist häufig auch bei der Patientengruppe mit zervikalen Beschwerden stark erhöht und kann somit bei der entsprechenden Abgrenzung der Diagnosefindung helfen.

4.2.2 Der dreidimensionale- Rumpfxursionsstuhl

Bei der diagnostischen Betrachtung der für die Kopf-im-Raum-Wahrnehmung verantwortlichen Sensoren sind die der vestibulären Zervikalafferenzen am schwersten zu erfassen und zu untersuchen, im Vergleich zu peripher vestibulären Beschleunigungssensoren und ophthalmologischen Sensoren. Unter diagnostischen Gesichtspunkten wäre es deshalb für den klinischen Alltag besonders wichtig, einfach durchzuführende Tests, die gut miteinander vergleichbar wären, zu finden und zu entwickeln.

Die vorhandene Literatur setzt sich bislang mit dem zerviko-okulären Reflex (COR) v. a. in phasischen Untersuchungsbedingungen auseinander (***Konzept der Ia-Afferenzen, dynamisch wahrnehmbar***) wie z. B. mit Hilfe des Halsdrehtests (HDT) [Holtmann (1993)], [Norre (1987)].

Die beschriebene Bewertung des COR im HDT wird unter fixiertem Kopf (meist manuell durch den Untersucher gehalten) und sich dabei rotierendem Rumpf aufgezeichnet und bewertet (*phasische* Untersuchungsbedingung).

Die Beurteilung liegt hier auf den dickkalibrigen dynamisch wahrnehmbaren Ia-Muskelafferenzen. Gelenksensoren, welche nur auf endgradige Bewegungen ansprechen, v. a. im Bereich der Schmerzwahrnehmung, wurden nicht berücksichtigt [Proske (1988)].

Auch statisch wahrnehmbare Muskelspindelafferenzen (***Konzept der Typ-II-Faserafferenzen, statisch wahrnehmbar***) fanden in diesem Versuchsaufbau keine Berücksichtigung.

Der Zervikalnystagmus im ursprünglichen HDT wird von einigen Autoren als Messparameter für den COR verwendet [Holtmann (1989)]; [Hülse (2005)]; [Norre (1987)]; [Scherer (1985 a)].

Nach Holtmann kann der so provozierte COR keine Schlussfolgerung auf die klinische Aussagekraft des COR unter phasischen Versuchsbedingungen zulassen, da jener auch bei Gesunden hervorzurufen sei [Holtmann (1989 a)], [Holtmann (1993)].

In Voruntersuchungen konnte unsere Arbeitsgruppe mittels des 3D-HDT bereits die Bedeutung des Upbeat-Nystagmus in der Rumpfflexionshaltung diskutieren [Hölzl (2008)]; [Weikert (2008)]; [Hölzl (2009)]. Der Unterschied zu dem 3D- Rumpfflexionsstuhl besteht darin dass es sich zwar ebenfalls um ein tonisches Konzept handelt, es jedoch nicht die Schwerkräftensoren des Gleichgewichtsorganes ausschaltet, da der Kopf für die Flexionshaltung von dem sitzenden Probanden rekliniert oder anteflektiert wird. Der Kopf wird dabei nicht phasisch bewegt, man kann jedoch nicht von einem rein zervikalafferenten Untersuchungsdesign sprechen.

In der Praxis hat sich der HDT jedoch nicht durchsetzen können, da die Testergebnisse als nicht valide gelten. Die Kritik an dem HDT und der fehlenden Integrität im klinischen Alltag liegt unter anderem daran, dass die Reizantwort des COR (phasische Untersuchungsbedingung) stark von Faktoren wie Alter, Vigilanz, muskulärem Trainingszustand, Vorerkrankungen, knöchernen Fehlstellungen, Medikamentennebenwirkungen und nicht zuletzt psychischen Faktoren abhängt [Holtmann (1989 a)], [Holtmann (1993)].

Das geänderte Konzept im Halsdrehtest

Ein klinischer Zusammenhang zwischen zervikal propriozeptiven Fehlempfindungen und einem objektiven Untersuchungsparameter sind bisher nicht mit einer ausreichenden Spezifität und Sensitivität objektiviert worden.

Unsere Arbeitsgruppe entwickelte den bislang eindimensional messenden HDT zum 3D-HDT

durch eine Modifizierung der Nystagmus- und Bewegungsdimensionenaufzeichnungen weiter. Aus dem rein tonischen Untersuchungsgang unter fixiertem Kopf (Punctum fixum) bei durchrotiertem Körper mit Bewertung des Horizontalnystagmus (stellvertretend für die zervikookulären Bahnen) wurden nun auch die dreidimensionalen Freiheitsgrade der Kopfgelenke und die dreidimensionalen Nystagmusqualitäten untersucht [Hölzl (2009)]. In diesem neu entwickelten 3D-HDT existierte keine Fixierung des Kopfes mehr, sondern der Untersucher führte die Untersuchungspositionen manuell in allen drei Freiheitsgraden aus, bei der Rumpftorsion wurde der Rumpf gegen den manuell fixierten Kopf ausgelenkt. Bei den Flexions- und Kipphaltungen legte der Proband seinen Kopf in die entsprechende Position. Aus diesem Untersuchungsansatz entwickelte sich der 3D- Rumpfxkursionsstuhl, welcher die Vorteile beider Untersuchungsansätze vereint. Er vereint den Ansatz einer dreidimensionalen Untersuchungsmöglichkeit der Freiheitsgrade und der Nystagmusdimensionen, stellt aber ebenfalls einen fest fixierten Kopf im Raum sicher (Punctum fixum) und erlaubt eine Rumpfxkursion in die verschiedenen Rumpfpositionen (Punctum mobile).

Die für den 3D- Rumpfxkursionsstuhl verwendete 3D-VOG misst den dreidimensional fortlaufenden Winkel (also auch die Kopfposition) durch einen Schwerekraftsensor und misst wie erwähnt nicht nur den Horizontalnystagmus, sondern auch den vertikalen und torsionalen Nystagmus. Der Vorteil dieses diagnostischen Verfahrens besteht darin, dass mittels einer Videookulographie nachgewiesene Zervikalnystagmen als ein objektiver Messparameter angesehen werden können. Problematisch ist, dass wir über den Zervikalnystagmus bis heute noch wenig wissen und die wissenschaftliche Exploration nicht ausreichend systematisch erfolgte.

Alle dreidimensionalen Freiheitsgrade der Kopfgelenke werden durch Rumpfxkursionen in der Rumpfflexion, der Rumpfseitkipfung und der Rumpftorsion im Untersuchungsaufbau des 3D-Rumpfxkursionsstuhl berücksichtigt.

Im Hinblick auf eine bessere Testreliabilität der zervikookulären Afferenzen beruhen die im 3D-Rumpfxkursionsstuhl erhobenen Meßergebnisse auf statisch provozierten Zervikalnystagmen in individuell maximal ausgelenkten tonischen Positionen (damit sind gehaltene Kopfpositionen gemeint). Die beschriebenen Rumpfpositionen werden tonisch gehalten, dabei werden die sogenannten *zervikalen Provokationsnystagmen (C-PN)* abgeleitet.

Für einen möglichen Interpretationsansatz des zervikotonen Provokationsnystagmus (C-PN) könnte in diesem Zusammenhang der klassische Kopfschüttelnystagmus herangezogen werden. Dieser wird beispielsweise bei noch nicht vollständiger Kompensation eines einseitigen vestibulären Defizites durch den „Kopfschüttel-Test“ hervorgerufen. Der durch

Provokationsmaßnahmen auslösbare Nystagmus spiegelt ein pathologisches Ungleichgewicht der neuronalen Aktivität in den Vestibulariskernen und/oder in den okulomotorischen Kernen wider [Scherer (1997)]. Zu beobachten ist also ein Nystagmus, der als Mismatch auf Vestibulariskernkomplexebene nach Kopfschütteln zu verstehen ist. In Analogie dazu darf man sich fragen, warum sollte die Ursache eines Provokationsnystagmus nicht auch bei einem *extrakraniellen* Rezeptor liegen? Diesen Zusammenhang verfolgen wir bei der Interpretation des C-PN. Dieser könnte analog als ein Ungleichgewicht auf der Vestibulariskernebene verstanden werden. Er tritt beispielsweise auf, wenn die *extrakraniellen* zervikalen Rezeptorinformationen (Flexionshaltung der HWS) auf Vestibulariskernebene immer gravierender oder dominanter werden und nicht zu den sonstigen, redundanten *intrakraniellen* Rezeptorinformationen „passen“.

So wie ein Spontannystagmus auch bei völlig gesunden Menschen auftreten kann und in diesen Fällen als physiologisch gilt [Mulch (1977)], kann auch in unserer Studie bei ausreichend langer Provokation (z.B. Flexionshaltung der HWS) unter tonischen Versuchsbedingungen ein C-PN bei gesunden, jungen Probanden beobachtet werden. Die Ursache dieser Nystagmusart ist noch nicht valide untersucht und bisher weder bekannt noch benannt.

Einige Autoren meinen ihren tonischen Untersuchungsergebnissen zufolge, dass ein nur tonisch provoziertes Zervikalnystagmus ein pathognomonisches Zeichen für die in der HWS zu Grunde liegende Störung darstellt [Moser (1972)], [Reker (1983)], [Scherer (1985 a)].

Es sollte zunächst bei Gesunden unter Ausschaltung des vestibulären Reflexbogens (VOR), also bei einer phasischen Untersuchungsbedingung und hinsichtlich des optischen Bewegungsreizes (OKN), eine Provokation hervorgerufen werden, die rein *zervikal* entsteht. Diese isolierte Reizung zeigt unserem Verständnis nach einen „*zervikotonen Provokationsnystagmus*“ und verhindert Fehlerquellen und veränderte Werte durch potentielle Störungen aus den Bogengängen und den Otolithenorganen, dies wird in vielen anderen Arbeiten noch nicht berücksichtigt. Der von uns durchgeführte Versuch stellt sicher, dass nur die Rumpffposition geändert wird, dies ist wie im Methodikteil beschreiben unter magnetisch fixierter Kopfposition möglich. Die Versuchsanordnung versucht auch auf den Kritikpunkt vieler Gegner des zervikal provozierten Nystagmus einzugehen, indem es die dreidimensionale Schnittstelle zwischen Kopf und Körper gezielt untersucht. Bei dem HDT und anderen in der Literatur gängigen Untersuchungsverfahren wird stets von einer rumpffrotierenden Situation unter fixiertem Kopf ausgegangen. In dieser Position wird lediglich der Gelenkbereich C1/C2 und C2/C3 provoziert und untersucht. Es ist allerdings so wie in unserem vorgestellten 3D- Rumpfflexionsstuhl wichtig, ebenfalls die an der Propriozeption beteiligten weiteren Einheiten der HWS durch die

Rumpfflexion und Rumpfkippung zur Seite bei fixiertem Kopf mit darzustellen.

Wenn eine zervikal somatosensorische Rezeptorstörung zu einer Bewegungsillusion führen würde, müsste sie sich am ehesten in einer gestörten Kopf-Körper-Koordination zeigen, deren Objektivierung durch eine Nystagmusauswertung mittels 3D-VOG erfolgt. Eine Mitbeteiligung der Nystagmusentstehung durch intrakranielle Sensoren, wie die des Vestibularorgans, wird durch diesen Versuchsablauf ausgeschlossen.

Wir konnten in unseren Berechnungen, wie im Ergebnisteil A dargestellt, des Kopfabweichungswinkels einen nicht signifikanten Unterschied zwischen der Ausgangsposition (Nullposition/Leermessung) und den Endstellungen (maximale Rumpfauslenkpositionen, C-PN-Positionen) darstellen. Dieses Ergebnis zeigt eine sichere Fixierung des Kopfes und gewährleistet seine Konstanthaltung und somit eine Nicht-Beteiligung der Rezeptoren des Vestibularorgans.

Dieser Versuchsaufbau stellt ein neues Untersuchungsinstrument mit weitaus präziserer Untersuchungsmöglichkeit für die Beurteilung statisch provozierter Nystagmen dar.

4.2.3 Die dreidimensionale Videookulographie

Ein in der vestibulären Diagnostik übliches und unerlässliches Instrument stellt die Bewertung der Augenbewegung dar. Aus der Elektronystagmographie (ENG), welche lange Zeit den Goldstandard bildete, konnte sich die Videookulographie (VOG) entwickeln und bietet mit der sehr viel präziseren technischen Entwicklung der Bildverarbeitung, viele Vorteile bei der Nystagmusauswertung.

Die VOG dient der digitalen Darstellung von Nystagmen. Dadurch, dass sowohl das VOG-System als auch die unwillkürliche Augenbewegung zu den Ergebnissen führen, gilt sie als eine sehr valide und objektive Messmethode. Die in dieser Studie verwendete 3D-VOG der Firma SMI stellt die Nystagmen in all ihren drei Nystagmusdimensionen dar. Es erfolgt dementsprechend eine komplexere Nystagmusauswertung als in der ein- oder zweidimensionalen VOG, die lediglich den Horizontalnystagmus bestimmt. Gerade für die von uns untersuchte zervikale Provokationshaltung ist die Beurteilung des Vertikalnystagmus von entscheidender Bedeutung, da er laut vieler Autoren pathognomonisch für den Zervikalnystagmus ist [Moser (1972)]; [Reker (1983)], [Scherer (1985 a)] (Kap. 4.5.2). Von dem torsionalen Anteil des Nystagmus wurde aufgrund einer hohen Störanfälligkeit und eines in der Literatur bisher nicht beleuchteten Zusammenhangs zwischen zervikalen Afferenzen und torsionalen Nystagmen abgesehen.

Artefakte durch ermüdete, hängende Augenlider werden, so wie im Methodikteil beschrieben,

durch den Irisscan vermieden oder verringert. Eine Fixation der Augen des Probanden, die die Auswertung der Nystagmen verfälschen würde, wird durch absolute Dunkelheit vermieden.

4.2.4 Die zervikale transkutane Elektronervenstimulation

Zelenka und Wilson verdeutlichten, dass nach Lokalanästhetikumsapplikation neben den ersten drei Intervertebralgelenken weniger afferente Impulse aus dem Halsbereich zum Vestibulariskerngebiet (VKK) erfolgen als zuvor [Zelenka (1971)]; [Wilson (1976)]. Die zervikale Reflexerfassung unter experimenteller Applikation von Succinylcholin in die Nackenmuskulatur unterstützt die signifikante Rolle der Muskelspindeln [Chan (1987)]; [Mergner (1982)].

Verschiedene Studien von Kroeling et al. konnten die Effektivität placebokontrolliert von C-TENS und anderen elektrischen Therapieformen [(Therapie mit pulsierenden elektromagnetischen Feldern (PEMF), repetitive periphere Magnetstimulation (rMS)) im Einsatz bei Nackenschmerzen abgrenzen [Kroeling (2009)]. Auch Alias et al. konnten den Effekt von C-TENS, Akupunktur und Lasertherapie bei chronischen Kopfschmerzen belegen [Alias (2003)]. Eine spanische Forschungsgruppe schließt sich der vorherrschenden Meinung an, dass C-TENS sowie die manuelle Therapie einen schmerzlindernden Effekt auf Patienten mit Nackenschmerzen ausüben, allerdings keinen signifikanten Unterschied untereinander zeigen [Escortell (2008)].

Kroeling konnte in einem großen Review zu Elektrotherapien keinen eindeutigen Effekt auf Patienten mit akutem, chronischem und myofascialem Nackenschmerz darstellen [Kroeling (2010)]. C-TENS zeigte für akute und chronische Nackenschmerzen eine Schmerzverbesserung im Vergleich zur elektronischen Muskelstimulation. Bei myofascialen Nackenschmerzen ergaben sich ebenfalls schmerzlindernde Effekte durch C-TENS [Kroeling (2009)].

Migränepatienten ohne Aura, Spannungskopfschmerzen und zervikogenem Kopfschmerz wurden in anderen Studien nicht durch Elektrotherapie am Nerven behandelt, sondern durch eine medikamentöse (1 ml 2%ige Pilocainlösung) occipitale Blockade (GON: Greater occipital nerve Blockade). Hierbei zeigte die Prüfgruppe mit zervikogenen Kopfschmerzen orbitofrontal und orbitonuchal eine Schmerzlinderung [Terzi (2002)]. Inan et al. bestätigten die Wirksamkeit von GON, betonten allerdings ebenfalls die Effektivität gezielter Blockaden der Spinalnerven C2/C3 bei Patienten mit zervikogenem Kopfschmerz [Inan (2001)].

Die Spinalnerven C1 – C3 durchlaufen den M. trapezius und M. sternokleidomastoideus sowie intrakranielle intratentorielle Strukturen [Inan (2001)]. Die dorsalen Anteile der Spinalwurzeln, welche den sensorischen Anteil des N. occipitalis bilden, kommunizieren ebenfalls mit den

kaudalen Anteilen des Nucleus des N. trigeminus. Wie auch in der Einleitung beschrieben erklärt sich so bei SHT die Symptomentstehung der Kopfschmerzen wie auch die Wirkung der GON- und C-TENS Therapie [Terzi (2002)].

Die anatomische Kenntnis bietet eine Grundlage eines ebenfalls diskutierten Zusammenhangs zwischen vestibulärem und trigeminalem Kernkomplex. Aufgrund dieser Verbindung erscheint es möglich, dass vestibuläre Signale trigemino-vaskuläre Bahnen und damit ebenfalls den trigemino-vaskulären Reflex modulieren.

Klinisch konnte in Untersuchungen gezeigt werden, dass die bereits seit langer Zeit bekannte Assoziation von Gleichgewichtsstörungen und Migränesymptomen keine zufällige Koinzidenz darstellt, sondern hier von einem sogenannten Migräne-assoziierten Schwindel ausgegangen werden kann. Unsystematischer Schwankschwindel trat in Studien bei Migränepatienten signifikant häufiger (38 %) im Vergleich zu Kontrollgruppen (24 %) auf [Neuhauser (2001)]. In dieser Studie wurde ebenfalls deutlich, dass „Migräne-Schwindel“ sowohl in der Migräne- als auch in der Schwindelgruppe eine hohe Prävalenz aufwies.

Die vestibuläre Pathophysiologie des Migräne-Schwindels ist bislang unklar, in Tiermodellen wurde hierzu bis jetzt kein Beitrag geleistet, jedoch werden einige Erklärungsansätze diskutiert.

Verschiedene Autoren beschreiben als einen Interpretationsansatz die kortikale „Spreading depression“ [Lempert (2001)]; [Dietrich (1999)]. Eine sogenannte Erregungswelle könnte auf kortikaler Ebene eine Rolle spielen, die sich dann über die Hirnrinde ausbreitet und eine Suppression der neuronalen Aktivität hervorruft. Laut Aurora wird die Migräneaura heute durch den Mechanismus der genannten „Spreading Depression“ erklärt. Fraglich ist laut von Brevern, ob eine solche paroxysmale kortikale Dysfunktion beispielsweise zu Störungen der Bogengangfunktion und komplexen Lagerungsnystagmen führen kann, wie es in der akuten Migräne-Schwindelattacke beobachtet wird [von Brevern (2005)].

Weitere Erklärungsversuche sind der Vasospasmus der Labyrintharterie [Baloh (1997)] sowie Freisetzen von Neurotransmittern (Dopamin, Serotonin, Noradrenalin in den vestibulären Kernen, Calcitonin gene-related Peptide im peripheren Labyrinth), die einen vestibulär modulierenden Effekt zeigen [Cutrer (1992)]; [Furman (2003)]. Des Weiteren werden genetisch determinierte paroxysmale Dysfunktionen von Ionenkanälen in vestibulären Strukturen [von Brevern (2005)]; [Kim (1998)] sowie eine herabgesetzte Schwelle für trigemino-vestibuläre Aktivierung beschrieben. Das Phänomen der herabgesetzten Schwelle führte in Versuchen von Migräne-Patienten zu einer Spontannystagmusreaktion bei trigeminaler Stimulation an der Stirn, bei Kontrollpatienten konnte dieser Effekt nicht beobachtet werden [Marano (2005)].

Die dorsalen Äste der spinalen Nerven der oberen HWS scheinen nicht nur in der Erklärung der Entstehung von Migräne und anderer klinischer Bilder wie ausstrahlende Schmerzen in den Nacken, die Schultern und den Gesichtsbereich, sondern auch in bereits experimentell erprobten Verfahren zur Schmerzlinderung bei Kopf- und Nackenschmerzen eine wichtige Diskussionsgrundlage zu bieten.

Bereits 1988 konnte Bogduk in einer Untersuchung Grundsätze funktioneller, schmerzhafter Störungen der Intervertebralgelenke verdeutlichen [Bogduk (1988)]. Hierbei führte eine Infiltration mit hypertoner Kochsalzlösung bzw. Anästhetikum der Rr. dorsales bzw. der Intervertebralgelenke zu einer spezifischen Schmerzausstrahlung in bestimmte Segmente. Durch diese spezifische Schmerzausstrahlung der zervikalen sensiblen Fasern ließ sich bei Gesunden der Pathomechanismus zervikal bedingter Schmerzen durch eine Ausbreitung des fortgeleiteten Schmerzes bei möglicher Affektion der Intervertebralgelenke erläutern. Darauf aufbauend untersuchte Dreyfuss 1994 den fortgeleiteten Schmerz bei Injektionen der C0/C1- und C1/C2-Gelenke. Die Probanden gaben hierbei bei Injektionen des atlantookzipitalen Gelenks eine Schmerzwahrnehmung okzipital, bei Injektion in den atlantoaxialen Gelenken retroaurikulär an [Dreyfuss (1994)].

Aus den geschilderten Ergebnissen entwickelte sich die zervikale Radiofrequenz-Neurotomie (CRFN) (auch unter dem Namen perkutane Radiofrequenz-Denervation bekannt). Auf diese Methode soll im Folgenden eingegangen werden, denn sie stellt mittlerweile ein Verfahren dar, um Schmerzen im HWS-Bereich zu behandeln. Zugrunde liegt ihr eine thermische Zerstörung des schmerzweiterleitenden Nervens. Dies führt zu einer Schmerzsymptomlinderung. Es wird mit Hilfe einer CT-Kontrolle eine Nadel oder Sonde an die zu behandelnden Nerven herangeführt und die über Radiowellen erzeugte Wärme von 80 – 90° über 60 – 90 s an den Nerven geleitet. Diese Methode gilt als eine sogenannte Blockierung der Nervenleitung.

Aufbauend auf den Arbeiten von Bogduk konnte die Arbeitsgruppe von Prushansky 2006 in einer randomisierten doppelverblindeten Studie den Effekt einer zervikalen CRFN bei Patienten mit Symptomen nach Beschleunigungstraumata darstellen [Prushansky (2006)].

Es wurde der signifikant effektive Effekt von CRFN nach einer halbjährigen Behandlung im Vergleich zu einer Placebo-Gruppe verdeutlicht. Ein Teil der Prüfgruppe erhielt eine Blockade der dorsalen Wurzeln von C2 und der schmerzwahrnehmbaren Fasern bei bestehenden Nackenschmerzen mit Ausstrahlungen in den Kopfbereich. Mehrere Arbeitsgruppen konnten den Erfolg in der Behandlung von Schmerzen bei Whiplash- Patienten mit CRFN-Behandlung darstellen [Lord (1996)].

In einer Übersichtsarbeit von Niemisto et al. konnten in einer Evidenzanalyse der vorhandenen Literatur die beschriebenen Ergebnisse für die RFN, angewandt auf den Nacken, zumindest für einen Anteil der untersuchten Fälle für einen Zeitraum bestätigt werden. Hingegen konnten keine evidenz-basierten Ergebnisse der RFN für den Lumbalbereich und die Brustwirbelsäule gefunden werden [Niemisto (2003)]. Durch präzises Einspritzen von Lokalanästhetikum an die dorsale Nervenwurzel/zervikalen Spinalnerven in dem Intervertebralgelenk kann eine Ursachenklärung der vorhandenen Nackenschmerzen erfolgen [Niemisto (2003)].

Auf diese Ergebnisse stützt sich unsere Methodenentwicklung, die monophasische C-TENS wirkt durch einen hyperpolarisierenden Effekt reversibel nervenreizend und ist gut verträglich und erprobt in der Anwendung. C-TENS findet im zervikalen Bereich Anwendung bei zervikalen Neuralgien und Symptomen bei Z. n. Beschleunigungstrauma assoziierten Symptomen wie Kopfschmerzen oder Schwindel [Kroeling (2009)]. Die Anwendung führt zur Auslösung neuromodulatorischer Regulationen und aktiviert Regel-, Reflex- und Kontrollsysteme. Die schmerzhemmende Wirkungsweise von C-TENS ist auf die Unterdrückung der Schmerzweiterleitung in Nervenfasern als auch auf die steigernde Ausschüttung von körpereigenen Endorphinen, welche die Schmerzwahrnehmung zentral hemmen, zurückzuführen. Die „Schmerzschwelle“ soll durch die C-TENS heraufgesetzt werden, indem der Nerv durch die Anwendung stark gereizt und depolarisiert wird und somit für eine kurze Zeit durch die Aktionspotentiale, welche zum Erliegen kommen, wie „blockiert“ wirkt [Kroeling (2009)].

Es wurde davon ausgegangen, dass eine C-TENS- Reizung der Nerven zu einer Art Aktionspotenzial-Modulation der entsprechenden Nerven und Nervenwurzeln (C1 – C3) führt. Durch diese Überreizung sowie die hohe Aktionspotenzialfrequenz in kurzer Zeit (30 min) wurde vermutet, dass sich die Kopf-Körper-Koordination in der sich anschließenden tonischen Rumpfauslenkung auf dem 3D- Rumpfxursionsstuhl modulierend auf die ableitenden Nystagmusantworten auswirken wird.

Diese hypothetische Nystagmusmodulation durch C-TENS wird durch die bereits beschriebene Ansprechbarkeit und Schmerzlinderung bei Nacken- und Kopfschmerzen (durch GON, CRFN) und das Wissen hinsichtlich der ähnlichen propriozeptiven anatomischen Bahnen getragen.

Als methodische Schwierigkeit erweist sich die nicht klar validierte Wirkweise von C-TENS. Es gilt als unbekannt, welche Feldstärke erforderlich ist, um gezielt bestimmte Strukturen, wie beispielsweise die Spinalnerven oder die Nervenfasern der Muskelspindel, zu erreichen. Hierzu gibt es Studien, die sich gezielt um die Stellatumblockade und die spezifische Feldstärke bemühen, die für eine adäquate Blockade erforderlich sind. Die SI-Einheit der elektrischen

Feldstärke von 1 Volt/m ist gleich der Feldstärke eines homogenen elektrischen Feldes, in dem die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten im Abstand von 1 m in Richtung des Feldes 1 Volt beträgt. Die elektrische Feldstärke wird als ein Potentialgefälle beziehungsweise als die Potentialdifferenz pro Längeneinheit verstanden.

Um diesem nicht ganz klaren Wirkungsprinzip mit einem möglichst einheitlichen und objektivierbaren Verfahren zu begegnen, befragten wir unsere Probanden nach der C-TENS-Anwendung, ob sich ein entlang der von C1 – C3 innervierten Head'schen Zonen pathognomisches Parästhesiemuster des Hinterkopfes ausbreitete (siehe Anhang). Dieses Parästhesiemuster konnten alle Probanden bestätigen, die C-TENS erhielten.

4.3 Die vestibulospinalen Untersuchungsparameter

4.3.1 Die Posturographie- Messplatte

Die posturalen Reflexe, auch als Synergien bezeichnet, dienen der Anpassung der Haltung an die Bewegung. Prinzipiell lässt sich auch hier über den Begriff „Reflex“ diskutieren, da für eine posturale *Reaktion* programmierte und aneinandergereihte Subsysteme zum Einsatz kommen. Es handelt sich also vielmehr um getriggerte, koordinierte Reaktionen, die von einem zentralen Programm aufgerufen werden [Detjeen (2005)].

Die Standkorrektur wird durch verschiedene Subsysteme gewährleistet. Als erste Instanz reagiert der Fuß mit seiner Unterstütsungsfläche mit der muskulären Einstellung der Sprunggelenke durch eine abgestimmte Kontraktion (M. gastrocnemius und seine Agonisten) der auf sie wirkenden Muskeln. Im Anschluss daran werden die Knie- und Hüftgelenke eingestellt. Diese Reaktionskette führt den Körper in die vertikale Position zurück. Die Koordination der Muskelgruppen untereinander erfolgt von distal nach proximal und wird von zentralen Mechanismen gesteuert [Detjeen (2005)].

Als so bezeichnete „Subprogramme“ dienen der Stellreflex, die Auge-Kopf-Koordination, die statische posturale Reaktion und die Stützreaktion.

Im Rahmen des Stellreflexes findet der Kopf durch die Nackenmuskulatur Aufrichtung gegen die Schwerkraft. Daran beteiligt sind das Hauptrezeptorenfeld, der Vestibularapparat und des Weiteren die Rezeptoren der Nackenmuskulatur (Muskelspindeln) sowie das optische System. Dabei bildet das zentrale Integrationszentrum die *Formatio reticularis*, genauer der VKK (s. Kap. 1.2).

Allum konnte an Patienten mit und ohne Vestibularisstörungen nachweisen, dass die vordere Beinmuskulatur deutlich von einem vestibulospinalen und propriozeptiven Input beeinflusst wird, hingegen der Wadenmuskel (M. triceps surae) vor allem von Rezeptoren aus den

Fußgelenken und Knien, die modulierend auf ihn wirken [Allum (1995)].

Des Weiteren spielt für die posturale Kontrolle der einseitige Körperoberflächenkontakt (Hautrezeptoren) zum Boden eine Rolle bei der Aktivierung der untereinander verknüpften Reflexe [Detjeen (2005)]. Um Störungen in dieser komplexen Reflexkette zu beurteilen, wird die PUG in der Forschung und im klinischen Alltag herangezogen [Kenji (2008)]. Das Verfahren der PUG dient zur Ermittlung der Funktionsfähigkeit der Gleichgewichtsregulation unter Belastung der unteren Extremitäten. 1991 konnte die Arbeitsgruppe Alund M et al. einen Beweis für die Identität des zervikalen Schwindels in der Posturographiediagnostik bei Patienten mit zervikalen Funktionsstörungen mit vestibulär assoziierten Symptomen festmachen. Sie beobachteten bei 15 Probanden mit zervikalem Schwindel und in 15 dazu gematchten Kontrollprobanden Unterschiede in einer modifizierten dynamischen PUG-Untersuchung mit verschiedenen Kopfpositionen beider Gruppen [Alund (1991)].

Die Arbeitsgruppe von Querner konnte 2000 zeigen, dass Standschwankungen mittels PUG für sich allein genommen keine organisch begründbaren Störungen zu belegen vermögen. Auch Patienten mit somatoformen Schwindel zeigen beim Stehen eine erhöhte Schwankaktivität [Querner (2000)]; [Holmberg (2003)]. Ursächlich für diese Beobachtungen scheint eine Kontraktion der Fußbeuger und -strecker zu sein, also ein Aktivierungsmuster, das auch bei Gesunden bei vorsichtigem Gehen oder einer wirklichen Sturzgefahr beobachtet wird. Patienten mit somatoformem Schwankschwindel könnten eine ängstliche Gleichgewichtskontrollstrategie entwickelt haben, schlussfolgern Querner 2000 und Holmberg 2003 [Querner (2000)]; [Holmberg (2003)]. Patienten seien mit somatoformen Schwankschwindel umso „gesünder“, je schwieriger die Anforderungen an ihre Gleichgewichtskontrolle ausfallen, was mit der Ablenkung des Fokus ihrer Aufmerksamkeit auf die Gleichgewichtswahrnehmung erklärt werden kann [Andersson (2003)]. In Bezug zu der bereits geschilderten Mischung von Patienten mit phobischem und zervikalem Schwindel zeigt die PUG eine wichtige Funktion in der Diagnosefindung. Kenji et al. berichten 2008, dass die PUG ein geeignetes Mittel sei, um Patienten mit Beschleunigungstrauma mit assoziiertem „zervikalem Schwindel“ von Patienten abzugrenzen, die nur aufgrund verschiedener Hintergründe simulieren würden [Kenji (2008)]. Simulationspatienten zeigten signifikant schwächere Schwankungswerte im Rombergarmhalteversuch und eine verhältnismäßig große und lange Schwankungsfläche (wide envelop area, long sway length). Aufgrund vieler klinischer Studien kann davon ausgegangen werden, dass ein Gleichgewichtstraining die vestibulospinale Kompensation beispielsweise nach akutem einseitigem Labyrinthausfall verbessert [Strupp (2000)]; [Macias (2005)]; [Meli (2006)]; [Mittermaier (2006)].

Endo konnte in einer Studie von 2008 mit Hilfe einer PUG- Untersuchung einen differentialdiagnostischen Ansatz bei der Gruppierung von Gesunden, Patienten mit Beschleunigungsverletzungen und Simulanten liefern. Es konnte ein signifikanter Unterschied zwischen Simulanten und den beiden anderen Gruppen gefunden werden [Endo (2008)].

Madelaine konnte zeigen, dass Patienten mit chronischem Whiplash-injury mit einer Art Schutzantwort auf Halsbewegungen, verschiedene Stellungen und Einstellungen und eine beeinträchtigte Synergie der Gleichgewichtswahrnehmung auf der PUG antworteten. Diese Beobachtung könnte laut Madelaine et al. an der stark auf den visuellen Sinn vertrauenden Wahrnehmung liegen. Die vestibuläre und zervikal propriozeptive Wahrnehmung sei möglicherweise nach dieser Beobachtung verändert und/oder beeinträchtigt [Madelaine P (2004)].

Aufgrund der beschriebenen klinisch orientierten Literatur nahmen wir in unserer Arbeitshypothese ein sich unterscheidendes Untersuchungsergebnis zwischen Placebo- und C-TENS- Gruppe an. Die posturale Stabilität der Prüfgruppe zeigte jedoch durch die reversible C-TENS- Anwendung keinen signifikant abweichenden Effekt von der Placebo- Gruppe.

Es ist möglich, dass die Auswirkung der C-TENS- Anwendung nicht nachweisbar ist, weil die zurückliegende Intervention mittlerweile nicht mehr in vollem Umfang wirkt sondern die Wirkung anfängt nach zu lassen und sich somit das eingangs erhobene Untersuchungsergebnis nicht verändert. Es ist nicht klar zu eruieren ob die C-TENS Wirkung vielleicht zu schwach ist um einen Einfluss auf die „zervik vestibuläre Schleife“ zu haben. Wir haben es uns zu unserem Ziel in dieser Studie gemacht zunächst das Augenmerk der Interpretation auf einen gut zu objektivierenden Parameter, nämlich den Nystagmus zu legen. Als nachgeordneter Parameter ist die Messung der vestibulospinalen Reaktionen auf der Posturographie- Messplatte zu verstehen. Aufgrund der bereits langen Versuchszeit für den unentgeltlich teilnehmenden Probanden, haben wir auf eine erneute C-TENS Anwendung vor der PUG- Messung verzichtet. Sicherlich stellt dies eine methodische Schwäche der Arbeit dar, jedoch galt es in dieser Pilotstudie eine erste richtungweisende Untersuchung der okulären Parameter zu schaffen.

4.3.2 Der Unterberger- Tretversuch

Die durch den *Unterberger*-Tretversuch überprüften Reflexbahnen zwischen den Gleichgewichtszentren im Gehirn und dem Rückenmark (vestibulospinale Reaktion) fallen in der Literatur ab einer Winkelabweichung von 45° / -45° als pathologisch aus. Wie Unterberger und Fukuda bereits 1938 zeigen konnten, stellte der Tretversuch lange Zeit den empfindlichsten

Vestibularistest dar [Claussen (1992)]. Für eine gestörte Halspropriozeption gilt der Smooth Pursuit Neck Torsion Test (SPNTT) derzeit als der sensitivste, spezifischste und valideste Test. Unterberger beschreibt, dass nach ca. 30 bis 40 Schritten die innerlich „gespeicherte“ Raumorientierung verloren geht und der Proband von den Informationen seines vestibulären Systems abhängig ist [Unterberger (1938)].

Bei einem Ausfall im peripheren vestibulären System kommt es allmählich zur Drehung des Patienten zur Seite des Labyrinthausfalls, einer peripher vestibulären Funktionsstörung oder Kleinhirnfunktionsstörung mit Abweichung zur Läsionsseite/erkrankten Seite. Statistisch gesehen handelt es sich prozentual eher um die zentralen Gleichgewichtsstörungen bei kardiovaskulären, stoffwechselbedingten oder traumatischen Kleinhirn- und Hirnstammläsionen. Hierbei beobachtet man eine vergrößerte Taumeligkeit mit verbreiterten Lateralschwankungen [Claussen (1992)].

In unseren Auswertungen ließen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Prüf- und Kontrollgruppe vor und nach der C-TENS- Anwendung finden. Ein Interpretationsansatz könnte die Verwendung einer reversiblen TENS Anwendung sein und die mit der Zeit nachlassende Wirkung. Im Versuchsablauf schließen sich die vestibulospinalen Untersuchungen an die Messungen auf dem 3D- Rumpfxursionsstuhl an, somit ist vielleicht von einem Wirkungsverlust auszugehen.

4.4 Die okulären Untersuchungsparameter auf dem dreidimensionalen Rumpfxursionsstuhl

Unter 4.2.2 und 4.2.4 wurde bereits unter Einbeziehung der aktuellen Literatur unser Studiendesign erläutert. Die isolierte Rumpffrotation unter fixiertem Kopf (in der Literatur bekannte Untersuchungsansätze) führt v. a. zu einer Bewegung im Gelenk C1/C2 und C2/C3; um auch die Beurteilung der anderen Kopfgelenke garantieren und erfassen zu können, ist eine Rumpfflexionsauslenkung in Rumpfante- und -retroflexion sowie die Rumpfkippung nach links und nach rechts unerlässlich. Im Folgenden werden die Ergebnisse der beschriebenen Rumpfxursionen auf dem 3D- Rumpfxursionsstuhl beschrieben. In zervikalen Provokationshaltungen wurden die Nystagmusaktivitäten eines gesunden Probandenkollektives abgeleitet und durch verschiedene tonische Rumpfxursionen moduliert. Im Folgenden soll auf die eingangs (Kap. 1.5) beschriebene Hypothese eines vermuteten Unterschiedes zwischen Prüf- (C-TENS-) und Kontroll- (Placebo) Gruppe sowie auf die im Rumpfxursionsstuhl zu provozierenden Nystagmen eines gesunden Gesamtkollektives eingegangen werden.

4.4.1 Der zervikotone Provokationsnystagmus bei jungen vestibulär Gesunden

In vorangegangenen Studien zur zervikopropriozeptiven Provokation von horizontalen und vertikalen Nystagmen bei vestibulär gesunden Probanden konnte ein statistisch signifikanter Anstieg der Nystagmusaktivität durch zervikale Provokation gezeigt werden [Hölzl (2008)].

Hypothetisch wurde von uns angenommen, dass eine solche zervikale Provokationshaltung auch bei Gesunden bereits einen *zervikotonen Provokationsnystagmus (C-PN)* hervorrufen könnte.

Diese Annahme konnte bestätigt werden, bei vestibulär Gesunden jungen Probanden konnte ein *zervikotonischer C-PN* nachgewiesen werden.

Wie bereits in einer Vorstudie mittels des 3D-HDT beobachtet, konnte in der tonisch gehaltenen Kopfflexionsauslenkung ein signifikanter Vertikalnystagmusanstieg im Vergleich zu den Augenbewegungen vor der Untersuchung, ohne Kopfauslenkung (Leermessung) beobachtet werden. In dieser Vorstudie 2008 konnte gezeigt werden dass in der tonischen *Kopfflexion* signifikant mehr Vertikalnystagmen als Horizontalnystagmen auftreten und in der Rumpftorsionshaltung, bei manuell fixiertem Kopf mehr Horizontalnystagmen nachweisbar waren.

Die Annahme, dass in der rumpfdrehenden Haltung mehr Horizontalnystagmen abzuleiten seien, ließ sich nicht bestätigen. Es war ein Trend, jedoch kein signifikanter Anstieg der horizontalen Nystagmusaktivität sichtbar. Durch eine segmentale tonische Rumpfhaltung wird durch die HWS, die über ein gewohntes Bewegungsausmaß hinaus gereizt wird, ein Nystagmusanstieg provoziert. Der Anstieg des Vertikalnystagmus in tonisch gehaltener Rumpfflexionshaltung überwiegt bei dieser Betrachtung. Es ist demnach richtig, wie in unserer Vorstudie bereits beschrieben, dem Vertikalnystagmus eine wichtige Rolle bei der Diagnostik zervikookulärer Bahnen einzuräumen.

4.4.2 Einfluss der placebokontrollierten C-TENS- Anwendung auf die auf dem dreidimensionalen- Rumpfkursionsstuhl erhobenen Ergebnisse

4.4.2.1 Der Spontannystagmus im Differenzvergleich (prä vs. post)

Die auf dem 3D- Rumpfkursionsstuhl erhobenen Spontannystagmen (SPN), der Prä- sowie der Post-Messung, weichen in beiden Gruppen nicht signifikant voneinander ab. Auch in einem Differenzvergleich zwischen Prä- und Post-Messung unter den Probandenkollektiven an sich stellt sich eine nicht signifikant abweichende spontane Augenbewegung dar. C-TENS scheint in der Leermessung, also ohne zervikal-propriozeptive Reizung, keine Auswirkung auf die Nystagmusmodulation zu haben.

Bei vestibulär Gesunden wird also im placebokontrollierten Vergleich unter C-TENS, ohne Veränderung im Kopf-zu-Rumpf-Winkel (ohne zervikale Provokation), keine Veränderung in der Videookulographie sichtbar. Auf anatomischen Erkenntnissen basierend, kann man diese Beobachtung dahingehend interpretieren, dass durch eine identische Information aus dem Vestibularorgan und der Propriozeption, nämlich einer Leermessungshaltung es folglich zu keiner propriozeptiven Information zum VKK kommen wird. Demnach kann es zu keiner messbaren Modulation durch C-TENS an den zervikalen Propriozeptoren kommen.

4.4.2.2 Tonische Rumpfxkursionen im Differenzvergleich (prä vs. post)

Die Nystagmusmodulation unter C-TENS-Wirkung in den tonischen Rumpfxkursionen stellt sich hingegen anders als die der Modulation der spontanen Augenbewegungen dar. Hier sind deutlich signifikante Abnahmen der Nystagmusaktivität zwischen Prä- und Post-Messung zu erkennen.

Bei vestibulär Gesunden kann im placebokontrollierten Vergleich unter C-TENS- Bedingungen ein vertikaler *C-PN* in tonisch veränderter Kopf-zu-Rumpf-Position abgeschwächt werden.

Der in der klinischen Literatur vernachlässigte Vertikalnystagmus zeigt auch hier erneut eine diagnostische Aussagekraft durch eine eindeutige Nystagmusmodulation, ausgelöst durch die reversible C-TENS- Wirkung.

Es ist interessant, die erhobenen Ergebnisse in einen Bezug zu der vorherrschenden Literatur zu setzen, denn viele bereits veröffentlichte Arbeiten benutzen als zervikopropriozeptiven Reiz die Rumpftorsionsbewegung unter fixiertem Kopf, um einen Zielparameter im Horizontalnystagmus zu finden. Im Gegensatz zu diesen Untersuchungsansätzen stehen unser Studiendesign und unsere Methodik und die daraus resultierten Ergebnisse. Wir konnten in einem neuen Untersuchungsansatz, der sowohl die Rumpfflexions- als auch die Rumpfkippbewegung beinhaltet, einen entscheidenden Beitrag zu der Erweiterung der Untersuchungsmöglichkeiten der Zervikalafferenzen des Menschen leisten. Es ließ sich in allen zervikalen Provokationshaltungen ein signifikanter Unterschied im Vertikalnystagmus zwischen Prüf- und Kontrollgruppe und dem Vergleich zwischen Prä- und Post-Messung finden. Die Rumpfkipphaltungen und die Rumpfflexionshaltungen zeigten dabei hoch signifikante Ergebnisse im Rahmen einer Nystagmusaktivitätsabnahme nach C-TENS-Anwendung.

Die in vielen Arbeiten verwendete torsionale Kopf-zu-Rumpf-Bewegung (Rumpftorsion) zeigte ebenfalls im Vertikalnystagmus eine signifikante Abnahme, im Horizontalnystagmus hingegen nicht. In Studien konnte im Rahmen der Untersuchungen auf dem 3D-HDT die Bedeutung des Vertikalnystagmus, insbesondere des Upbeat-Nystagmus, dargestellt werden [Hölzl (2009)].

Auch wenn der Vertikalnystagmus in der Literatur vorwiegend als ein zentralvestibuläres Phänomen beschrieben wird, ist aufgrund der vorangegangenen Studien und dieser erneuten klinischen Beobachtung die Frage zu stellen, ob ein Vertikalnystagmus nicht auch von zervikal her ausgelöst werden kann. Tiermodelle konnten Aufschluss über die neuronalen Konvergenzen der zervikalen Afferenzen in den Nucleus präpositus hypoglossi geben [Gdowski (2001)]; [Wiksten (1987)]. Der Nucleus präpositus hypoglossi wird in Arbeiten als ein entscheidender Läsionsort in der kaudalen Medulla oblongata bei Upbeat-Nystagmen beschrieben [Helmchen (2007)]. Wenn eine „Läsion“ auf Hirnstammebene zum Auftreten eines Vertikalnystagmus führen kann, erscheint es neurophysiologisch nachvollziehbar, dass ein Upbeat-Nystagmus auch durch einen „funktionellen Sinneskonflikt“ auf Hirnstammebene entstehen kann. Probanden zeigen auch ohne neurologische Begleitsymptome Zervikalnystagmen, so auch die gesunden Probanden dieser Studie.

In der klinisch orientierten Literatur finden sich Angaben, dass der Upbeat-Nystagmus weit weniger durch die Schwerkraft beeinflusst wird als der Downbeat-Nystagmus. Nach genauer Analyse ließen sich in diesem Probandenkollektiv jedoch keine signifikant häufiger auftretenden Upbeat-Nystagmen finden, so wie in Vorstudien berichtet wurde.

Die beschriebenen Ergebnisse der verschiedenen Rumpfpositionen im Raum lassen die Schlussfolgerung zu, dass zu einer klinischen Erfassung der vestibulären Zervikalafferenzen die alleinige Untersuchung der Rumpftorsion nicht ausreichend ist. Zusätzlich erzielt gerade die tonische Rumpfhaltung (im Gegensatz zur phasischen Untersuchungsbedingung) in allen drei Freiheitsgraden ein aufschlussreiches Ergebnis und es lässt sich in diesem Zusammenhang die Meinung Holtmanns bestätigen, dass die Untersuchungsergebnisse aus dem Halsdrehtest (HDT) in phasischen Untersuchungsbedingungen (also während Drehbewegungen) nicht spezifisch genug seien und nicht ausreichen [Holtmann (1989a)]; [Holtmann (1993)]. Der HDT ist sehr abhängig von Varianzen, beispielsweise dem Alter, dem Trainingszustand des Probanden, den Vorerkrankungen, von knöchernen Fehlstellungen, Medikamentennebenwirkungen und der Mitarbeit des Probanden.

Wie bereits ausführlich unter 4.1 beschrieben, schließt sich unser tonischer Untersuchungsansatz mit der Objektivierung des COR, mit der Entstehung des COR unter Relationsbewegungen zwischen Kopf und Rumpf, an. Unsere Nystagmusaufzeichnungen konzentrieren sich auf die Phase *nach* eingenommener Rumpfhaltung, daher ist hier bei starrer Kopfposition von einem auszulösenden Nystagmus der zervikookulären Reflexbahn in das vestibuläre System auszugehen. In dieser unphysiologisch hergestellten und gehaltenen zervikotonischen Rumpfxursion ist eher von einer Reaktion als von einem Reflex zu sprechen. Da es bewusst zu

einer Ausschaltung der intrakraniellen Rezeptorsysteme kommt, übernimmt das somatosensible System eine Kompensation der ausgeschalteten Rezeptorsysteme und es kommt zu einem Mismatch auf VKK- Ebene.

Unsere Ergebnisse geben Hinweis auf einen *zervikotonen Provokationsnystagmus* als objektive Antwort auf zervikal provozierte Rumpfxursionshaltungen. Wir deuten dies als wertvollen Hinweis auf die Mitbeteiligung der zervikalen Afferenzen bei der vestibulären Kopf-Rumpf-Koordination.

4.5 Die kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität auf dem dreidimensionalen Rumpfxursionsstuhl

Wie bereits beschrieben nimmt der Hals eine wichtige und tragende Stabilierungs- sowie Balance- und Bewegungsfunktion ein. Den Anteil, den das zervikale propriozeptive System auf das visuelle und vestibuläre System ausübt, haben Barlow et al. und Kobayashi et al. genau beschrieben [Barlow (1980), (1981)]; [Kobayashi (1986)].

Neben reflektorischen Haltesystemen ist die zervikale kinästhetische Sensibilität in die Kopf-Körper-Koordination involviert [Treleaven (2006)]; [Heikkila (1998)].

In der Diagnostik von Gleichgewichtsstörungen spielen u. a. okulomotorische Funktionstests eine wichtige Rolle. Bei Patienten mit SHT wurden auffällige Tests der Okulomotorik beschrieben, die durch die Beeinträchtigung der vestibulär relevanten zervikalen Propriozeptoren erklärt werden können [Hildingsson (1993)]; [Oosterveld (1991)].

Der bereits ausführlich beschriebene COR wird gängigerweise im HDT durch seine blickfeldstabilisierende Funktion getestet (schnelle Blickfolge). Da der kraniozervikale Übergang auch bei langsamen Blickfolgebewegungen involviert ist, untersuchen wir im Rahmen des Versuches über die Feststellung der kraniozervikalen Kinästhetischen Sensibilität durch die Erhebung der subjektiv empfundenen Vertikalen im Raum ebenfalls die phasisch wahrnehmbaren Faserafferenzen auf dem 3D- Rumpfxursionsstuhl (***Konzept der dynamisch wahrnehmbaren Typ-Ia-Afferenzen***).

Revel et al. postulierten 1991 einen spezifischen Test zur Überprüfung des Stellungsinns, um so die kraniozervikale kinästhetische Sensibilität, also auch die Leistung des zervikalen propriozeptiven Systems, direkt zu messen [Revel (1991)]. Der Versuchsablauf misst durch eine Verschiebung des Kopfes und die anschließende Anforderung an den Probanden, die Position der Referenzposition zu finden, die Fähigkeit der kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität. Bei diesem Versuch wurde deutlich, dass die Muskelspindeln und Gelenkrezeptoren des zervikalen propriozeptiven Systems unerlässlich sind. Der Verlust oder die Minderung der

kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität wird durch verschiedene Störungen, wie eine direkte oder funktionelle Schädigung propriozeptiv wahrnehmbarer Rezeptorstrukturen oder eine Veränderung der afferenten Integration, erklärt [Wyke (1979)]; [Taylor (1988)]; [Lajoie (1993)]. Die Beurteilung der Kopf-Körper-Koordination wurde durch den Begriff der „kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität“ geprägt. Dieser Begriff beschreibt nicht den Relativwinkel eines einzelnen Gelenkes, sondern umfasst über mehrere Bewegungssegmente hinweg die komplexe Körpereigenwahrnehmung im Raum, also die Kopf-zu-Rumpf-Positionsempfindung.

In unterschiedlichen Arbeiten konnte gezeigt werden, dass das langsame Ausrichten des Kopfes überwiegend durch propriozeptive Mechanismen erfolgt [McCloskey (1978)]; [Taylor (1988)]. Dazu wurde von Tjell und Rosenhall, wie bereits unter 4.1 beschrieben, der „*smooth pursuit neck torsion test*“ eingeführt, um die langsame Bewegung untersuchen zu können [Tjell (1998)]. Vorangegangene Studien zur Kopf-Körper-Koordination, mit ebenfalls fixierter Kopfposition, konnten verdeutlichen, dass der „subjektive Nulldurchgang“ bei kraniozervikalen Funktionsstörungen verschlechtert ist [Weikert (2008)].

Wir stellen im Rahmen einer für die zervikale Objektivierbarkeit entwickelten Stuhlkonstruktion eine neu eingeführte Testreihe zur Untersuchung der kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität vor: den „subjektiven Nulldurchgang der Kopfgelenke“ auf dem 3D-Rumpfkursionsstuhl. Hierbei geschieht die Messung der kraniozervikalen kinästhetischen Sensibilität nicht wie bisher über die Rekapitulation von Kopfbewegungen, sondern das zervikale propriozeptive System wird bei fixiertem Kopf durch rückführende Drehbewegungen des Rumpfes (in die Nullposition/Leermessungsposition) in *drei Freiheitsgraden* getestet. Die Störfelder aus den Otolithenorganen und den Bogengängen werden durch die stationäre Position des Kopfes ausgeschaltet (s. 4.3.2).

Die hypothetische „Gleichsetzung“ einer zervikalen Funktionsstörung und eines provozierten Spinalnervs von C1 bis C3 durch eine C-TENS-Anwendung fand hierbei im Sinne eines nicht eintretenden „Lernerfolgs“ der C-TENS-Gruppe ihren Ausdruck. Es war jedoch keine – so vielleicht anfangs vermutete – signifikante Verschlechterung der C-TENS-Gruppe im Vergleich zur Prä-Messung zu erkennen (s. Kap. 3.4). In zwei Positionen konnte die Placebo-Gruppe eine deutliche Verbesserung der subjektiv gefühlten Null zeigen. Sie wies einen signifikant (p -Wert = 0,04) ansteigenden Lernerfolg bei der gefühlten Null nach Rumpfkippungspositionen und einen knapp nicht signifikanten (p -Wert= 0,06) Verbesserungseffekt der gefühlten Null nach den Rumpftorsionsbewegungen auf. Der ausbleibende Lernerfolg in der C-TENS-Gruppe kann als eine erschwert wahrgenommene kraniozervikale kinästhetische Sensibilität angesehen werden. In dem dargestellten Differenzvergleich zwischen Prä- und Post-Messung im Gruppenvergleich

unterscheiden sich beide Gruppen nicht signifikant, die Beobachtung kann also lediglich als ein Trend interpretiert werden.

Es ist nicht validiert, wie hoch die Feldstärke der C-TENS-Anwendung ausfallen muss, um eine gezielte Wirkung an den phasisch-dynamisch wahrnehmbaren Strukturen zu erreichen und jene Wahrnehmung zu modulieren (s. Kap. 4.3.3).

Wir interpretieren den Trend der Placeo-Gruppe und das Ausbleiben dieses Trends in der C-TENS Gruppe als einen Ausbleibenden Lernerfolg.

Der vertikale Eindruck wird dem Menschen über verschiedene Einflüsse, wie dem vestibulären System, im Besonderen über den Otolithenapparat vermittelt. Das Vestibularorgan erfasst die Kopfposition in der Vertikalen. Dieser Beitrag wird in unserem vorgestellten Versuchsaufbau verhindert, da das Vestibularorgan keine Auslenkung des Kopfes aus der Vertikalen im Raum erfährt. Der Kopf befindet sich in der sogenannten Nullposition. Experimente von Schöne und später von Mittelstaedt konnten zeigen dass die visuelle subjektive Vertikale im Raum messbar vom Vestibularorgan abhängt, wenn andere Einflüsse, wie die des visuellen Systems ausgeschaltet werden [Schöne (1980)]; [Mittelstaedt (1983)]. Dieser Mechanismus ermöglicht es dem vestibulär Gesunden mit hoher Präzision eine korrekte vertikale im Raum zu empfinden. Beim peripher-vestibulär Erkrankten hingegen, kommt es bereits im Sitzen zu einer Verkippung der visuellen subjektiven Vertikalen im Raum durch nicht einheitliche Informationen der Vestibularorgane mit der Umgebung [Friedmann (1970)]. In dieser Untersuchung interessiert vielmehr was mit Patienten mit einem propriozeptiven Defizit passiert, bei der Wahrnehmung der subjektiven Vertikale im Raum. Das Vestibularorgan und die Augen sind in dieser Untersuchung ja ausgeschaltet und es ist anzunehmen dass der VKK keine ausreichenden Informationen von der C-TENS Gruppe beziehen kann um einen Lernerfolg nach sich zu ziehen. In einer Studie von Dietrich und Brandt wird deutlich dass nicht nur die visuelle und die vestibuläre Kontrolle erheblich sind. Bei Patienten mit zentralen vestibulären Läsionen konnte beobachtet werden, dass ebenfalls eine starke Verkippung der subjektiven Vertikalen im Raum entsteht. Somit ist anzunehmen, dass zentrale Strukturen wie der Hirnstamm, der Thalamus und der Kortex ebenfalls an dieser Wahrnehmung beteiligt sind [Dietrich (1993)]. Der Hirnstamm bezieht über den VKK Informationen aus der zervikalen Propriozeption und somit wird unsere klinische Beobachtung nachvollziehbar.

Die beschriebenen Beobachtungen sind mit unserer Hypothese 4 vereinbar, dass Probanden mit einer zervikal-somatosensorischen C-TENS-Modulation schlechter als die Kontrollgruppe abschneiden. Dieses Ergebnis liefert einen weiteren Hinweis (in phasischer Untersuchungsqualität) dahingehend, welche Auswirkungen ein Missempfinden in der

zervikozephalen Kinästhetik nach sich ziehen kann. Weiterhin betont dieses abweichende Ergebnis der dynamisch wahrnehmbaren Faserafferenzen der Propriozeption im Vergleich zu den statisch wahrnehmbaren zervikalen Afferenzen die Unterschiedlichkeit beider Systeme und die Notwendigkeit der getrennten systematischen Untersuchung.

4.6 Diagnostische und therapeutische Gesichtspunkte und klinische Relevanz

Das genaue Verständnis der propriozeptiven Signale, wie sie das Gleichgewichtssystem des Menschen beeinflussen und verändern, bildet die Grundvoraussetzung für die Behandlung und Rehabilitation von Gleichgewichts- und Gangstörungen [Allum (1995)].

Die neuronalen Verbindungen der Halsrezeptoren mit dem zentralen vestibulären System – der zervikookuläre Reflex und die Halsreflexe auf die Körperhaltung – sind experimentell untersucht, jedoch klinisch bislang ohne Relevanz.

Unter diagnostischen Gesichtspunkten wäre es deshalb für den klinischen Alltag besonders wichtig, einfach durchzuführende Tests, die gut miteinander vergleichbar wären, zu finden und zu entwickeln.

Es erweist sich durch klinische Beobachtungen und tierexperimentelle Versuche als naheliegend, dass Somatosensoren aus Muskeln, Gelenken und Haut Eigenbewegungsempfindungen und Nystagmen auslösen können. Beispielsweise werden Sensibilitätsstörungen durch Polyneuropathie oder Hinterstrangerkrankungen tags visuell substituiert und Raumorientierung und Haltungsregulation sind klinisch unauffällig. Ohne visuelle Kontrolle (in Dunkelheit beispielsweise) führt dies aber typischerweise zu Schwankschwindel.

Die Vermutung eines somatosensorisch entstandenen Schwindels liegt also nahe. Jedoch ist ein durch eine Störung der Halsafferenzen ausgelöster „zervikogener Schwindel“ weiterhin umstritten, obwohl viele wichtige Beiträge dieser Rezeptoren für Raumorientierung, Haltungsregulation und Kopf-Rumpf-Koordination bekannt sind. Die Schwierigkeit der klinischen Beurteilung ergibt sich aus mangelhaften pathophysiologischen Kenntnissen über Funktion und multimodale Interaktion der Sinnesmeldungen von Halsafferenzen sowie aus der verwirrenden und uneinheitlichen Begriffsklärung bezüglich des sogenannten „zervikalen Schwindels“ [Brandt (2001)].

Beim Menschen ruft eine einseitige Anästhesie des tiefen posterolateralen Nackenbereichs (z. B. C2-Blockaden bei zervikogenem Kopfschmerz) eine vorübergehende Ataxie mit ipsilateraler Gangabweichung und ohne Spontannystagmus hervor [Dieterich (1993)]. Es ist schwierig, diese Befunde auf den Patienten mit Nacken-Hinterkopf-Schmerz, Schwankschwindel und/oder Gangunsicherheit zu übertragen, weil die Diagnose derzeit nicht gesichert werden kann. Der

vorgeschlagene Halsdrehtest mit Untersuchung des statischen zervikookulären Reflexes oder die Romberg'sche Untersuchung unter Kopfreklination sind unspezifisch und unzureichend standardisiert [Bles (1982)]. Entsprechend vorsichtig müssen optimistische und nach der vorliegenden Literatur unkontrollierbare Berichte über die Häufigkeit des „zervikogenen Schwindels“ und die viel versprechenden Erfolge durch chiropraktische Therapie bewertet werden. Die meist kontrovers geführte Debatte über Realität und Fiktion eines „zervikogenen Schwindels“ ist ein „Glaubenskrieg“ ohne entsprechende praktische Bedeutung. Da das Zervikalsyndrom der Patienten ohnehin medikamentös und physikalisch behandelt wird, ist die hypothetische neurophysiologische Erklärung – nach Ausschluss anderer Schwindelursachen – eher von theoretischer Bedeutung.

In der Manualmedizin stellt die zervikalpropriozeptive Missempfindung ein wichtiges Behandlungsfeld dar. Bei ungefähr 50 % der Schwindelpatienten kann durch die manuelle Behandlung der Kopfgelenke eine deutliche Beschwerdelinderung oder gar Beschwerdefreiheit erreicht werden [Karlberg (1996)]; [Nieme (1997)]; [Galm (1998)]; [Kaeser (1999)]; [Bracher (2000)]; [Heikkila (2000)]; [Wrisley (2000)]; [Hölzl (2002)]; [Hülse (2004)].

Auf dem 24. Interdisziplinären Forum der Bundesärztekammer wird zu dem Thema „Leitsymptom Schwindel“ berichtet, dass etwa 10 % aller Patienten des Allgemeinmediziners und bis zu 20 % aller Patienten der Neurologen und HNO-Ärzte als Leitsymptom Schwindel angeben.

Die Unsicherheit von Ärzten und Patienten, wessen fachärztlicher Gruppe das Thema „zervikal bedingter Schwindel“ nun eigentlich angehört, endet meist für den Patienten in einer langen Odyssee durch das Gesundheitswesen. Bevor eine adäquate Behandlung der funktionellen HWS-Beschwerden erfolgen kann, ist meist durch die verzögerte korrekte Behandlung eine Chronifizierung des Beschwerdebildes eingetroffen und die Erfolgchancen der Manualtherapie erschweren sich. Ein Zitat von Brandt vom Schwindelkongress 2001 gibt diesen Zusammenhang wieder: „Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass Schwindel von Nackenschmerzen begleitet werden kann und im Anschluss von Schädeltraumen, Whiplash-Verletzungen oder Halswirbelsäulenerkrankungen auftritt. In einigen Fällen kann Physiotherapie eine dramatische Besserung erzielen. Wenn es einen zervikalen Schwindel gibt, ist das Vorgehen das gleiche wie bei den zervikalen Kopfschmerzsyndromen und diese Behandlung sollte keinem Patienten versagt bleiben.“

Die Überlegung, dass ein funktionell zervikales somatosensorisches Defizit vorliegt, wenn die Körperbewegung eingeschränkt und die damit verbundene zervikal propriozeptive-somatosensorische Information gestört ist, konnte bislang in keiner klinischen Studie objektiviert

werden. Für den klinischen Alltag ist diese Arbeit mit der beschriebenen Versuchsreihe sehr relevant, da betroffene Patienten dadurch besser diagnostiziert und adäquat, z. B. manualtherapeutisch, behandelt werden könnten. Die Manualmedizin gilt in der Literatur als eine gute Behandlungsstrategie bei funktionellen zervikalen Defiziten [Biesinger (1987)]; [Gross (2007)]. In einer retrospektiven Studie [Hölzl (2002)] wurden 100 Patienten nach dem weiteren Krankheitsverlauf ihrer Schwindelbeschwerden befragt. Die letzte Behandlung einer Manualtherapie musste mehr als sechs Monate zurückliegen, es wurde eine Manualtherapie der Betroffenen durchgeführt und 82 % erfuhren nach der Anwendung eine anhaltende Beschwerdefreiheit.

Auch die Atlas-Impuls-Therapie nach Arlen konnte in einer Studie mit Schwindelpatienten eine Verbesserung bis Normalisierung der Befunde der CCG- und PUG-Untersuchung zeigen [Hülse (2003)].

Mehrere Arbeitsgruppen konnten den Erfolg in der Behandlung von Schmerzen bei Whiplash-Patienten mit CRFN bestätigen [Lord (1995)], [Sapir (1995)].

Stellvertretend für eine Mehrzahl von Autoren machen Castro et al. 2001 in ihrer sogenannten „Nullstudie“ die psychische Verursachung auch vestibulärer Symptome bei zervikaler Weichteilbeschleunigung verantwortlich [Castro (2001)]. Die Richtigkeit dieser Untersuchung wird von uns nicht bestritten und zeigt die komplexe Beeinflussung des vestibulären Systems.

Fazit:

Es ist unser Anliegen, dass solange eine zervikale Rezeptorfunktion diagnostisch nicht befriedigend untersucht werden kann, eine alleinige psychopathologische Genese vestibulärer Symptome kritisch betrachtet werden muss. Es sollte ärztliche Aufgabe bleiben, weitergehend nach einer zervikal-vestibulären Untersuchungsmethode zu suchen, um eine psychopathologische Genese genauer abgrenzen zu können. Hierzu soll diese Arbeit einen ersten Beitrag leisten.

Unsere Ergebnisse geben deutliche Hinweise auf einen „zervikotonen Provokationsnystagmus“ als objektive Antwort auf zervikal provozierende Rumpfxursionshaltungen. Wir deuten dies als wertvollen Hinweis auf die Mitbeteiligung der zervikalen Afferenzen bei der vestibulären Kopf-Rumpf-Koordination. Die dargestellten Ergebnisse des 3D- Rumpfxursionsstuhls in Kombination mit einer zervikalen TENS- Anwendung könnten demnach auch für diagnostische und therapeutische Module wertvolle Hinweise geben.

5 Zusammenfassung

Der klinische Stellenwert zervikal somatosensorischer Vestibularisafferenzen aus den Bewegungssegmenten der oberen Halswirbel (im Besonderen C2 und C3), wird kontrovers beurteilt. Die Begründung dafür ist, dass zervikal propriozeptive Fehlempfindungen bisher durch keinen objektiven Untersuchungsparameter mit einer klinisch ausreichenden Spezifität und Sensitivität zu objektivieren ist.

Der von Holtmann geprägte *phasische* Untersuchungsansatz den COR zu objektivieren mittels eines motorisierten Stuhls, welcher den Rumpf (Punctum mobile) des Probanden unter kontinuierlicher Registrierung der Augenbewegung und dabei fixiertem Kopf (Punctum fixum) durchrotieren ließ [Holtmann (1989)], hat sich als Messparameter nicht durchgesetzt, da es sich um eine Untersuchung eines Reflexes handelt, welcher einer großen Variabilität unterliegt und somit kaum zu reproduzierbaren Messdaten kommt [Skoglund (1956)]; [Tracey (1979)]; [Hölzl (2009)]. Unter Berücksichtigung der Mehrdimensionalität des vestibulären Systems, entwickelte sich der 1D-Halsdrehtest (HDT) zum 3D-HDT weiter, indem die Exploration nicht nur den horizontalen Anteil eines Nystagmus bestimmte, sondern ebenfalls die vertikalen und torsionalen Anteile. Um die okulären Wechselwirkungen mit allen Kopf-im-Raum-Bewegungen untersuchen zu können wurden von Hölzl alle Freiheitsgrade der Kopfgelenke standardisiert geprüft [Hölzl (2008)]. Hier stellte der Kopf das Punctum mobile und der Rumpf das Punctum fixum dar. Problematisch in diesem Versuchsaufbau ist, dass eine getrennte Beurteilung von Otolithen- und Halswirbelsäulenbeteiligung nicht möglich ist. Der weiterentwickelte 3D-HDT ist vom Ansatz der Dreidimensionalität her interessant, jedoch in seiner Zielsetzung der isolierten Untersuchung der zervikalen vestibulären Afferenzen noch nicht konsequent, da durch das Einnehmen verschiedener tonisch gehaltener Kopfpositionen nicht nur die zervikalen Afferenzen angesprochen werden, sondern die Schwerkraft auch eine Auswirkung auf die Otolithen und Bogengänge hat. Dies hat einen nicht bekannten und bisher nicht messbaren Einfluss auf die Untersuchungsparameter und –ergebnisse.

Auf der Suche nach einem geeigneten Parameter haben wir vestibulär gesunde Probanden (n= 49, im Alter von 20 bis 30 Jahren) rekrutiert. Wir haben eine Gruppe mit reversibler zervikaler monophasischer transkutane Elektronervenstimulation von C1- C3 [C-TENS- Gruppe (n= 22)] und eine Placebo- Gruppe (n= 27) randomisiert und prospektiv untersucht. Ein eigens hierfür konstruierter dreidimensionaler- Rumpfxkursionsstuhl erlaubt uns bei fixierter Kopf-im-Raum-Position (Punctum fixum) sechs unterschiedliche *tonische Rumpfxkursionshaltungen* (Punctum mobile) (Rumpfante- und Rumpfretroflexion, Rumpfkippung und Rumpftorsion nach rechts und

links) einzustellen. In diesen sechs veränderten Kopf-zu-Rumpf-Positionen wurde die Nystagmusfrequenz und –amplitude unter statisch-tonischen Bedingungen mittels 3D-Videookulographie über mindestens 50 s geprüft. Bei vestibulär Gesunden kann ein *zervikotonischer Provokationsnystagmus (C-PN)* auf dem 3D- Rumpfkursionsstuhl nachgewiesen werden. Es zeigte sich ein signifikanter Anstieg ($p \leq 0,05$) der Vertikalnystagmen in ihrer Amplitude und Frequenz durch das Einnehmen einer tonisch gehaltenen Rumpfflexionshaltung im Vergleich zur spontanen Augenbewegungen in Ausgangsstellung der Kopf-Rumpfposition, also ohne zervikale Belastung (SPN= Spontan-nystagmus). Durch eine placebokontrollierte C-TENS Anwendung wurde im Vergleich zwischen beiden Probandengruppen, ohne Veränderung im Kopf-zu-Rumpf-Winkel (SPN= ohne zervikale Provokation) keine Veränderung in der Videookulographieaufzeichnung der Nystagmen beobachtet. Während tonisch gehaltener Rumpfflexions-, Rumpftorsions- und Rumpfkipphaltung im Gruppenvergleich nach reversibler zervikaler transkutane Elektronervenstimulation von C1-C3 (C-TENS- Gruppe) zeigte sich eine signifikante Abnahme der Vertikalnystagmen in ihrer Amplitude und Frequenz. Eine signifikante Horizontalnystagmusabnahme zeigte sich für die C-TENS- Gruppe in den rumpfkippenden und rumpfflexierenden Haltungen. Es konnte ein Unterschied in der Aussagekraft des Horizontal- und Vertikalnystagmus und in den verschiedenen Rumpfposition gefunden werden. Das klassische Untersuchungssetting in der Erhebung des Horizontalnystagmus während einer Rumpftorsion zeigte sich als kein sensibler Untersuchungsparameter in dieser Studie, da er keine placebokontrollierte Veränderung durch die C-TENS Behandlung zeigte. Die Ergebnisse geben Hinweis auf einen „*zervikotonischen Provokationsnystagmus*“ (C-PN) als objektive Antwort auf zervikal provozierende Rumpfkursionshaltungen. Der C-PN konnte bereits bei vestibulär Gesunden nachgewiesen und durch eine C-TENS-basierte zervikale Nervenstimulation placebokontrolliert moduliert werden, im Rahmen einer Amplituden- und Frequenzabnahme.

Dies kann als ein Nachweis einer Mitbeteiligung der zervikalen Afferenzen bei der Gleichgewichtswahrnehmung, v.a. der *statisch* messenden Muskelafferenzen, gewertet werden.

Die kinästhetische Sensibilität, welche durch eine Untersuchung der subjektiven Vertikalen im Raum untersucht wurde spricht die *dynamisch* wahrnehmbaren Zervikalafferenzen an. Diese wurde durch die C-TENS-Anwendung, im Rahmen eines nicht eintretenden Lernerfolges der C-TENS-Gruppe im Vergleich zur Placebo-Gruppe moduliert.

Diese Ergebnisse geben wertvolle Hinweise auf eine Mitbeteiligung der zervikalen Afferenzen bei der vestibulären Kopf- Rumpf-Koordination und bieten in Kombination mit einer zervikalen C-TENS Anwendung einen diagnostischen und therapeutischen Ausblick.

6 LITERATURVERZEICHNIS

1. Alias G, De Lorenzo C, Quirico PE (2003). Non-pharmalogical approaches to chronic headaches: transcutaneous electrical nerve stimulation, lasertherapy and acupuncture in transformed migraine treatment. *Neurol Sci.* 24 Suppl 2:138-42
2. Allum JH, Honegger F, Acuna H (1995). Differential control of leg and trunk muscle activity by vestibulo-spinal and proprioceptive signals during human balance corrections. *Acta Otolaryngol. Mar;*115(2):124-9
3. Alund M, Larsson SE, Ledin T et al. (1991). Dynamic posturography in cervical vertigo. *Acta Otolaryngol Suppl* 481:601-2
4. Andersson G et al. (2003). Dual-task study of cognitive and postural interference in patients with vestibular disorders. *Otol Neurotol* 24:289-293
5. Baloh RW (1997). Neurotology of migraine. *Headache* 37:615-621
6. Barlow D, Freedman W (1980). Cervico-ocular reflex in the normal adult. *Acta Otolaryngol* 89: 487-496
7. Barlow DE, Freedman W (1981). Human Cervico-ocular reflex in the presence of a visual stimulus. *IEEE Trans Biomed Eng* 28: 364-366
8. Barré JA, Lieou LC (1927). Le syndrome sympathique arvieale postérieur. Schuler & Kind, Strasburg
9. Benninghoff A, Drenckhahn D (Hrsg.) (2004). Anatomie Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie. 16. Auflage Elsevier München
10. Biesinger E (1987). Diagnostik und Therapie des vertebrogenen Schwindels. *Laryng Rhinol Otol* 66:32-36
11. Bles W, de Jong (1982). Cervico-vestibular and visuo-vestibular interaction. *Acta Otolaryngol.*94: 61-72
12. Bogduk N, Marsland A (1988a). "The cervical zygapophysial joints as a source of neck pain". *Spine* 13: 610-617
13. Bracher et al. (2000). A combined approach fort he treatment of cervical vertigo. *J Manipul Physiol Ther* 23(2):96-100
14. Brandstätter S (2004). Diagnostik und Physikalische Therapie des vertebrogenen Schwindels. *Phys. Med. Rehabil* 14/2, Österreich
15. Brandt T, Bronstein AM (2001). Cervical vertigo. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 71:8-12
16. Brandt T, Dieterich M, Strupp M (2004). Vertigo. Leitsymptom Schwindel. Steinkopff Verlag Darmstadt

17. Cameron MH (1999) (ed.). Physical agents in rehabilitation. From research to practice. 1st Edition. Philadelphia, New York, London: WB Saunders Company.
18. Castro WH, Meyer SJ et al. (2001). No stress- no whiplash? Prevalence of whiplash symptoms following exposure to a placebo rear-end collision. *Int J Legal Med* 114(6):316-22
19. Chan YS, Kasper J, Wilson VJ (1987). Dynamics and directional sensitivity of neck muscle spindle responses to head rotation. *J Neurophysiol* 57: 1716-29
20. Chan YS, Lai CH, Shum DK (2002). Bilateral otolith contribution to spatial coding in the vestibular system. *J Biomed Sci* 9:274-86
21. Christ B. (1993). Anatomische Besonderheiten des Halses. *Manuelle Medizin* 31: 67-68
22. Claussen CF (1992). Der Schwindelkranke Patient – Grundlagen der Neurootologie und Äquilibrimetrie Edition m + p, Hamburg S.27-57
23. Clarke AH (1995). Neuere Aspekte des vestibulookulären Reflexes. *Europ Archives of Oto-Rhino-Laryngol.Suppl.I.*
24. Colemann JR, Clerici WJ (1987). Sources of projection to subdivisions of the inferior colliculus in the rat. *J Comp Neurol* 262:215-226
25. Cutrer FM, Baloh RW (1992). Migraine-associated dizziness. *Headache* 32:300-304
26. Davis A, Moorjani P (2003). The epidemiology of hearing and balance disorders. In: Luxon ML, Furmann IM, Martini A, Stephens D. *Textbook of audiological medicine.* London.89-99
27. Detjeen P, Speckmann EJ, Hescheler J (2005). *Physiologie. Kontrolle der Haltung.* Urban und Fischer Verlag S. 257-259
28. Dietrich M, Brandt T (1993). Ocular torsion and tilt of subjective visual vertical are sensitive brainstem signs. *Ann Neurol* 33, 313-328
29. Dietrich M, Brandt T (1999). Episodic vertigo related to migraine (90 cases): vestibular migraine? *J Neurol* 246:883-892.
30. Doerr M, Thoden U (1989). Eye movements during voluntary head motion with minimized cervical input. *Arch Otorhinolaryngol* 246(1):20-5
31. 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
32. Dutia MB (1991). The muscle and joints of the neck: their specialization and role in head movement. *Progr Neurobiol* 37:165- 178

33. Dreyfuss P, Michaelsen M, Flechter D (1994). Atlanto-occipital and lateral atlanto-axial joint pain patterns. *Spine* 19:1125-1131
34. Endo K, Suzuki H, Yamamoto K (2008). Consciously postural sway and cervical vertigo after whiplash injury. *Spine* 15;33(16):E539-42
35. Escortell Mayor E, Lebrijo Pérez G, Pérez Martín et al. (2008). Randomized clinical trial for primary care patients with neck pain: manual therapy versus electrical stimulation. *Aten Primaria*. Jul;40(7):337-43.
36. Furman JM, Marcus DA, Balaban CD (2003). Migrainous vertigo: development of a pathogenic model and structured diagnostic interview. *Curr Opin Neurol* 16:5-13.
37. Friedmann G (1970). The judgement of visual vertical and horizontal with peripheral and central vestibular lesions. *Exp. Brain Research* 93:313-328
38. Galm R, Rittermeister M, Schnitt E (1998). Vertigo in patients with cervical spine dysfunction. *Eur Spine J* 7:55-58
39. Gandevia SC, McCloskey DI, Burke D (1992). Kinesthetic signals and trigeminal somatosensory pathways to the rat parabrachial and Kölliker-Fuse nuclei. *J Comp Neurol* 353: 506- 528
40. Gdowski GT, Belton T, McCrea RA (2001). The neurophysical substrate for the cervico-ocular reflex in squirrel monkey. *Exp Brain Res* 140:253-64
41. Graf M, Moll H, Harke G (2010). Manuelle Diagnostik und Therapie der Halswirbelsäule. *Manuelle Medizin* 01/2010. Springer-Verlag.
42. Green AM, Shaikh AG, Angelaki DE (2005). Sensory vestibular contributions to constructing internal models of self-motion. *J Neurol Eng* 2(3):S164-79.
43. Green AM, Angelaki DE (2007). Coordinate transformations and sensory integrations in the detection of spatial orientation and self-motion: from models of experiments. *Prog Brain Res* 165:155-80.
44. Gross AR, Goldsmith C, Hoving JL et al. (2007) Conservative Management of Mechanical Neck Disorders: A Systematic Review. *J Rheumatol* 34:1083-1092
45. Hamann KF (2001). Schwindel 150 Fragen und Antworten. Zuckschwerdt- Verlag, München
46. Hassenstein B (1970). *Biologische Kybernetik*. Quelle&Meyer, Heidelberg
47. Hassenstein B (1987). Der Kopfgelenkbereich im Funktionsgefüge der Raumorientierung. Kybernetische bez. Biokybernetische Gesichtspunkte. In: Wolff HD (Hrsg.) *Die Sonderstellung des KGB*. Springer, Berlin Heidelberg New York
48. Hassenstein B (1998). Der Kopfgelenkbereich im Funktionsgefüge der Raumorientierung: systemtheoretische bzw. biokybernetische Gesichtspunkte

49. Heikkila H et al. (2000). Effects of acupuncture, cervical manipulation and NSAID therapy on dizziness and impaired head repositioning of suspected cervical origin: a pilot study. *Man Ther* 5:151-157
50. Heikkila H, Wenngren B (1998). Cervicocephalic kinaesthetic sensibility, active range of cervical motion, and oculomotor function in patients with whiplash injury. *Arch Phys Med Rehabil* 79:1089-1094
51. Helmchen C (2007). Zentraler Schwindel. *Med Welt* 58:180-185
52. Hikosaka O, Maeda M. Cervical (1973). Effects on abducens motoneurons and their interaction with vestibulo-ocular reflex. *Exp Brain Res* 18:512-530
53. 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: 129–132
54. Holmberg J, Karlberg M, Fransson PA et al. (2003). Phobic postural vertigo: body sway during vibratory proprioceptive stimulation. *Neuroreport* 14(7):1007-1011
55. Holtmann S, Reiman V, Scherer H (1989a). Cervico-ocular eye movement in relation to different neck torsion velocities. *Acta Otolaryngol Suppl* 468:191-196
56. Holtmann S, Clarke A, Scherer H (1989b). Cervical receptors and the direction of body sway. *Arch Otolaryngol.* 246(1):61-4
57. Holtmann S, Reiman V, Schops P (1993). Clinical significance of cervico-ocular reactions. *Laryngorhinootologie* 72: 306-10
58. Hölzl M, Hülse M (2002). Die Effektivität der Manuellen Medizin in der HNO- eine retrospektive Langzeituntersuchung. Vortrag auf dem 73. Dtsch. HNO-Kongress. HNO-Kongress Baden Baden (Abstract: HNO-Information 27:134)
59. Hölzl M, Weikert S, Gabel P et al. (2008). Zervikopropriozeptive Provokation von horizontalen und vertikalen Nystagmen bei Probanden. *HNO* 56:1013-1019
60. Hölzl M, Gabel P, Weikert S et al. (2009). Einfluss der Kopf- Rumpf- Positionsänderung auf den Upbeat-Nystagmus. *Laryngo-Rhino-Otol* 88:92-100
61. Hülse et al. (1983). Die zervikalen Gleichgewichtsstörungen. Springer, Berlin Heidelberg New York
62. Hülse M, Neuhuber WL, Wolff HD (Hrsg) (1998). Der kranio- zervikale Übergang. Grundlagen, Klinik, Pathophysiologie. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, S1-17
63. Hülse M, Hölzl M (2004). Die Effektivität der Manuellen Medizin bei verschiedenen Krankheitsbildern in der HNO. *HNO* 52:227-234

64. Hülse M, Neuhuber WL, Wolff H (2005). Die obere Halswirbelsäule Pathophysiologie und Klinik. Berlin, Heidelberg, New York. Springer 2005
65. Igarashi M, Alford BR, Watanabe T, Maxian PM (1969). Role of neck proprioceptors for the maintenance of dynamic bodily equilibrium in the squirrel monkey. *Laryngoscope* 1969; 79; 1713-1727
66. Inan N, Ceyhan A, Inan L, Kavaklioglu O, Alpektin A, Unal N (2001). C2/C3 nerve blocks and greater occipital nerve block in cervicogenic headache treatment. *Funct Neurol* 16(3):239-243
67. Itoh K, Kamiya H, Mitani A, Yasui Y, Takada M, Mizuno N (1987). Direct projections from the dorsal column nuclei and the spinal trigeminal nuclei to the cochlear nuclei in the cat. *Brain Res* 400:145-50
68. Jacobson GP, Newman CW (1990). The development of the Dizziness Handicap Inventory. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 116: 424-7
69. Jongkees LB (1969a). Cervical vertigo. *Laryngoscope* 79: 1473-84
70. Jongkees LB (1969b). On normal and pathological function of the vestibular organ. *Arch Klin Exp Ohren Nasen Kehlkopfheilkd* 194: 1-110
71. Kaeser, Ettl (1999). Little known sequelae of sprains of the cervical spine. *Schweiz Rundsch Med Prax* 88: 2021- 2024
72. Karlberg M, Magnusson M, Johansson R (1991). Effects of restrained cervical mobility on voluntary eye movements and postural control. *Acta Otolaryngol* 111:664-670
73. Karlberg et al. (1996). Postural and symptomatic improvement after physiotherapy in patients with dizziness of suspected cervical origin. *Arch Phys Med Rehabil* 77: 872- 882
74. Kayser R, Heyde CE (2006). Funktionelle Störungen und funktionelle Erkrankungen im Bereich der oberen Halswirbelsäule unter besonderer Berücksichtigung der Kopfgelenke. *Der Orthopäde* 35: 306-318
75. 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
76. 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
77. Kenji Endo, Hidekazu Suzuki, Kengo Yamamoto (2008). Consciously Postural Sway and Cervical Vertigo After Whiplash Injury. *SPINE* Vol. 33 Number 16: 539-542.
78. Kim JS, Yue Q, Jen JC, Nelson SF, Baloh RW (1998). Familial migraine with vertigo: no mutations found in CACNA1A. *Am J Med Genet* 79:148-151.
79. Kobayashi Y, Yagi T, Kamio T (1986). Cervico-vestibular interaction in eye movements. *Auris Nasus Larynx* 13 Suppl 2: S87-95

80. Königer A (2006). Vestibuläres Recruitment - Definition und klinische Wertigkeit Inaugural - Dissertation, Würzburg
81. Kroeling P, Gottschild S, Korsarev A, Pfeiffer R (1998). TENS increases the pressure pain threshold in a tibia model. Kepplinger B (ed): Pain: clinical aspects and therapeutics issues. Linz: Edition Selva
82. Kroeling P, Gross A, Goldsmith CH et al. (2009). Electrotherapy for neck pain. Cochrane Database Syst Rev. 7,(4):CD004251
83. Kogler A, Lindors J, Ödkvist M (2000). Postural Stability Using Different Neck Position in Normal Subjects and with Patients with Neck Trauma. Acta Otolaryngol 120:151-155
84. Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie (2008). Georg Thieme Verlag Stuttgart, S.654
85. Lajoie Y, Teasdale N, Bard C, Fleury M (1993). Attentional demands for static and dynamic equilibrium. Exp Brain Res 1993; 97:139-144
86. Lempert T, Neuhauser H (2001). Vestibulärer Schwindel als Symptom der Migräne. Med Klein 96:475-9 (Nr.8)
87. Lord SM, Barnsley L, Wallis BJ, Mc Donald GJ, Bogduk N (1996) Percutaneous radio-frequency neurotomy for chronic cervical zygapophysial-joint pain. N Engl J Med 335:1721-1726
88. Macias JD, Massingale S, Gerkin RD (2005). Efficacy of vestibular rehabilitation therapy in reducing falls. Otolaryngol Head Neck Surg 133: 323–325
89. Madelaine P, Prietzel H, Svarrer H et al. (2004). Quantitative posturography in altered sensory conditions: a way to assess balance instability in patients with chronic whiplash injury. Arch Phys Med Rehabil Vol 85
90. 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
91. Matsushita M, Gao X, Yaginuma H (1995). Spinovestibular projection in the rat, with particular reference to projections from the central cervical nucleus to the lateral vestibular nucleus. J Comp Neurol 361:334- 344
92. Marano E, Marcelli V, Di Stasio E et al (2005). Trigeminal stimulation elicits a peripheral vestibular imbalance in migraine patients. Headache 45:325-331.
93. 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: 143-149
94. McCloskey DI (1978). Kinesthetic sensibility. Physiol Rev 58: 763-820

95. McCouch G, Deering I, Ling T (1951). Location of receptors for tonic neck reflexes. *J Neurophysiol* 14: 191-5
96. Meli A, Zimatore G, Badaracco C et al. (2006). Vestibular rehabilitation and 6-month follow-up using objective and subjective measures. *Acta Otolaryngol* 126: 259–266
97. 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
98. 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
99. Mergner T, Huber W, Becker W (1997) Vestibular-neck interaction and transformation of sensory coordinates. *J Vestib Res* 7:347-367
100. Mittelstaedt H (1983). A new solution to the problem of the subjective vertical. *Naturwissenschaften* 70, 272-281
101. Mittermaier C, Schindler M, Weigl F et al. (2006). Einfluss von dynamischem Gleichgewichtstraining auf einem Luftkissen auf die posturale Stabilität. *Phys Med Rehab Kur Med*: 16
102. 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
103. Montfoort I, Van Der Geest JN, Slijper HP et al. (2008). Adaption of the cervico- and vestibule-ocular reflex in whiplash injury patients. *J Neurotrauma* 25(6):987-93
104. Moser M, Conraux C, Greiner GF (1972). Nystagmus of cervical origin and its statistical evaluation. *Monatsschr Ohrenheilkd Laryngorhinol* 106: 259-73
105. Mulch G, Lewitzki W (1977). Spontaneous and positional nystagmus in healthy persons demonstrated only by electronystagmography: physiological spontaneous nystagmus or “functional scar”? *Arch Otorhinolaryngol*. 215(2):135-45
106. Neuhauser HK (2007). Epidemiology of vertigo. *Curr Opin Neurol* 20: 40-6. MEDLINE
107. Neuhauser H, Leopold M, v Brevern M, et al (2001). The interrelations of migraine, vertigo and migrainous vertigo. *Neurology* 56:684-686
108. Neuhuber WL, Zenker W, Bankoul S (1990). Central projections of cervical primary afferents in the rat. Some general anatomical principles and their functional significance. In : Zenker W, Neuhuber WL (eds) *The primary afferent neuron*. Plenum Press, New York, pp 173- 188

109. Neuhuber WL, Bankoul S (1992). Der „Halsteil“ des Gleichgewichtsapparates-Verbindung zervikaler Rezeptoren zu Vestibulariskernen. *Man Med* 30:53-57
110. Neuhuber WL (1998). Besonderheiten der Innervation des Kopf-Hals-Bereichs. *Orthopäde Springer Verlag*. 27:294
111. Niemisto L, Kalso E, Malmivaara A et al. (2003). Radiofrequency denervation for neck and back pain. A systematic review of randomized controlled trials. *Cochrane Database Syst Rev* (1):CD004058.
112. Niere, Robinson (1997). Determination of manipulative physiotherapy treatment outcome in headache patients. *Man Ther* 2: 199-125
113. Norre ME (1987). Cervical vertigo. Diagnostic and semiological problem with special emphasis upon „cervical nystagmus“. *Acta Otolaryngol Belg* 1987; 41:436-452
114. Nylen (1926). Experimenteller Kopflagenystagmus. *Acta Otolaryngol* Seite:179
115. Oosterveld WJ, Kortschot HW, Kingma GG et al. (1991). Electronystagmographic findings following cervical whiplash injuries. *Acta Otolaryngol* 111: 201–205
116. Parker DE (2003). Spatial perception changes associated with space flight: implications for adaptation to altered inertial environments. *J Vestib Res* 13(4-6):331-43.
117. Pfaller K, Arvidsson J (1998). Central distribution of trigeminal and upper cervical primary afferents in the rat studied by anterograde transport of horseradish peroxidase conjugated to wheat germ agglutinin. *J Comp Neurol* 268:91-108
118. Poeck K (2002). Zur neurologischen Begutachtung nach „HWS Schleudertrauma“. *Akt Neurol* 29:288-294
119. Proske U, Schaible H-G, Schmidt RF (1988). Joint receptors and kinaesthesia. *Exp Brain Res* 72:219-224
120. Prushansky T, Pevzner E, Gordon C (2006). Cervical radiofrequency neurotomy in patients with chronic whiplash: a study of multiple outcome measures. *J Neurosurg Spine* 4:365-373
121. Querner V et al. (2000). Patients with somatoform phobic postural vertigo: the more difficult the balance task, the better the balance performance. *Neurosci Lett* 258:21-24
122. Reker U (1983). Cervical nystagmus caused by proprioceptors of the neck. *Laryngol Rhinol Otol (Stuttg)* 62: 312-4
123. Revel M, Andre-Deshays C, Minguet M (1991). Cervicocephalic kinesthetic sensibility in patients with cervical pain. *Arch Phys Med Rehabil* 72:288-291]
124. Richmond FJR, Bakker DA (1982). Anatomical organization and sensory receptor content of soft tissues surrounding upper cervical vertebra in the cat. *J Neurophysiol* 48: 49-61

125. 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
126. Ringelstein EB (2008) Zervikogener Schwindel fast immer eine Verlegenheitsdiagnose. *Neurotransmitter* 2.2008: 64-72
127. Romberg MK (1846). *Lehrbuch der Nervenheilkunde des Menschen*. Dunker, Berlin
128. Sato H, Ohkawa T, Uchino Y, Wilson VJ (1997). Excitatory connections between neurons of the central cervical nucleus and vestibular neurons in the cat. *Exp Brain Res* 115:381- 386
129. Scherer H (1985 a). Neck-induced vertigo. *Arch Otolaryngol; Suppl* 2: 107-124
130. Scherer H, Clarke AH, Baetke F (1985 b). Physiology of caloric equilibrium reaction. Consequences from results of space experiments in Spacelab1, December 1983. *Laryngol Rhinol Otol (Stuttg)* 64(5):263-8.
131. Scherer H (1997). *Das Gleichgewicht*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag
132. Schmidt R, Thews G (1993). *Physiologie des Menschen*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag
133. Schöne H (1980). *Orientierung im Raum*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart
134. Seifert K et al. (1993). Funktionelle Störungen der Halswirbelsäule. In: Herberhold C (Hrsg.) *Otorhino-Laryngologie in Klinik und Praxis*, Bd. 3 Thieme, Stuttgart New York
135. Skliut IA, Likhachev SA, Skliut MI (1999). The vestibulo-cervico-ocular reflex in healthy persons. *Aviakosm Ekolog Med* 33(6):39-42
136. Skoglund S (1956). Anatomical and physiological studies of knee joint innervation in the cat. *Acta Physiol Scand Suppl* 36(124): 1-101
137. Sollmann AH (1974) *5000 Jahre manuelle Medizin*. Marzell, Puchheim München
138. Strupp M, Brandt T (2008). Leitsymptom Schwindel: Diagnose und Therapie. *Dtsch Arztebl* 105(19):173-80
139. Steinhaus M (2005) Ein (Kopf) Problem mit vielen Gesichtern- Symptomatik der Kopfgelenke und ihre neuronale Verknüpfung. *Orthopädie & Rheuma* 5/2005, Urban & Vogel
140. Strupp M, Arbusow V, Brandt T (2000). *Phys Med Rehab Kur Med* 10: 217–226
141. Stucki G, Kroeling P (2007). In: Hochberg M, Silman A, Smolen J, Weinblatt ME, Weisman MH editors. *Rheumatology*. 4th Edition. Vol. 1, Edinburgh: Mosby; 557-568

142. Tabak S, Collewyn H, Boumans LJ, van der Steen J (1997). Gain and delay of human vestibule-ocular reflexes to oscillation and steps of the head by a reactive torque helmet. I. Normal subjects. *Acta Otolaryngol* 117:785-95
143. Takita T, Maeda M, Miyata H (1981). The role of the labyrinth in standing posture regulation. *Acta Otolaryngol*; 91:521-7
144. Taylor JL, McCloskey DI (1988). Proprioception in the neck. *Exp Brain Res* 1988; 70: 351.360
145. Taylor JL (1992). Perception of the orientation of the head on the body in man. In: Berthoz A, Vidal PP, Graf W (eds) *the head-neck-sensory motor system*. Oxford University Press, New York, pp 488- 490
146. Terzi T, Karakurum B, Ücler S, Inan N, Tulunay C (2002). Greater occipital nerve blockade in migraine, tension-type headache and cervicogenic headache. *J Headache Pain* 3:137-141
147. Thoden U, Schmidt P (1979). Vestibular-neck interaction in abducens neurons. In: Granit R, Pompeiano O (eds) *Reflex control of posture and movement*. Elsevier, Amsterdam, pp 561-566
148. Thoden U (1986). Zervikaler Schwindel. *Münch. Med. Wschr.* 128: 242-244
149. Thomson DB, Isu N, Wilson VJ (1996). Responses of neurons of the rat central cervical nucleus to natural neck and vestibular stimulation. *J Neurophysiol* 76:2786-2789
150. Tjell C, Rosenhall U (1998). Smooth pursuit neck torsion test: a specific test for cervical dizziness. *Am J Otol* 19: 76-81
151. Tracey DJ (1979). Characteristics of wrist joint receptors in the cat. *Exp Brain Res* 34: 165-76
152. 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
153. 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
154. Trepel M (2004). *Neuroanatomie Struktur und Funktion*. Elsevier GmbH, München.
155. Unterberger S (1938). Neue objektiv registrierbare Vestibularis- Körperdrehaktion, erhalten durch Treten auf der Stelle. Der „Tretversuch“. *Arch. Ohr- Nasen- und Kehlkopfheilkunde* 145: 478-492
156. Voss H (1971). Tabelle der absoluten und relativen Muskelspindelzahlen der menschlichen Skelettmuskulatur. *Anat Anz* 129: 562- 572

157. von Brevern M, Zeise D, Neuhauser H et al. (2005). Acute migrainous vertigo: clinical and oculographic findings. *Brain* 128:365-374.
158. Weikert S, Gabel P, Orawa H (2008). Untersuchung zur Kopf-Körper-Koordination. *Laryngo-Rhino-Otol* 87:245-251
159. Weinberg RJ, Rustioni A (1987). A cuneocochlear pathway in the rat. *Neuroscience* 20:209-219
160. Wiksten B (1987). Further studies on the fiber connections of the central cervical nucleus in the cat. *Exp Brain Res* 67:284-290
161. 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
162. Wrisley DM et al. (2000). Cervicogenic dizziness: a review of diagnosis and treatment. *J Orthop Sports Phys Ther* 30:755-766
163. Wyke B (1979). cervical articular contribution to posture and gait: their relation to senile disequilibrium. *Age Ageing* 8:251-258
164. Yakushin SB, Tarasenko Y, Raphan T et al. (2009). Modification of the cervico-ocular reflex by canal plugging. *Ann NY Acad Sci* 1164:60-7
165. Zelenka J (1971). Some rare cervical syndromes in otorhinolaryngology. *Cesk Otolaryngol* 20: 71-8
166. Zenker W (1994). Anatomische Überlegungen zum Thema Nackenschmerz. *Schweiz. Rundschau Med.* 77: 333-339

QUELLEN- UND ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Kap. 1 Abb. 1 aus Benninghoff A, Drenckhahn D (Hrsg.) (2004). Anatomie Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie. 16. Auflage Elsevier München S.379

Kap. 1 Abb. 2 modifizierte Darstellung der Internetseite:
http://www.winnischeibe.com/images_textbildarchiv/praxis/sht2/kurve3.jpg
mit freundlicher Genehmigung von Frau Winni Scheibe

Kap. 1 Abb. 3 aus Schünke M, Schulte E, Schumacher U et al. (2005). Prometheus Lernatlas der Anatomie, Band Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem. Thieme, Stuttgart S.142

Kap. 1 Abb. 4 aus Putz R, Pabst R (Hrsg.) (2006). Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen Kopf, Hals, obere Extremität. Elsevier. S. 119

Kap. 1 Abb. 5 und Abb. 6 aus Schmidt RF, Schaible HG (Hrsg.) (1993). Neuro- und Sinnesphysiologie. Springer, Berlin, Heidelberg, New York

Kap. 3 Abb. 2 aus Stoll W, Most E, Tegenthoff M. Schwindel und Gleichgewichtsstörungen. Thieme. S. 45

Kap. 4 Abb. 1 aus Wolff H (1996). Neurophysiologische Aspekte des Bewegungssystems. Springer, Berlin, Heidelberg, New York



Charité | Campus Mitte | 10098 Berlin

Hals-Nasen-Ohrenklinik und Poliklinik

Direktor: Prof. Dr. Hans Scherer

Schumannstr. 20-21

10117 Berlin

Tel. 030 / 450 555 101

Fax 030 / 450 555 922

**Probandeninformation
zum objektiven Nachweis der
zervik vestibulären Afferenzen:
C-TENS Anwendung**

Datum 1.02.2008

Studienleiter:

Dr. med. M. Hölzl
Oberarzt der HNO-Klinik, Charité Campus Mitte
Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
Schumannstr. 20/21
10117 Berlin
Tel: 030 45050 (Funk)

Studienärzte und Ansprechpartner:

Assistenzärzte der HNO-Klinik, Charité Campus Mitte
Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
Schumannstr. 20/21
10117 Berlin

Sehr geehrte Damen und Herrn,
Wir laden Sie ein, sich an der klinischen Untersuchung der zerviko- okulären Reaktion zu beteiligen.

Allgemeines:

Diese Pilotstudie erfolgt unter Beachtung der Deklaration von Helsinki des Weltärztebundes und der EU-Richtlinien zur Durchführung klinischer Studien. Eine unabhängige Kommission (Ethikkommission der Charité Campus Mitte) hat der Studie zugestimmt.

Im Rahmen der Untersuchung sind Sie entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen versichert.
Ihre Daten unterliegen selbstverständlich der *ärztlichen Schweigepflicht*. Alle für die Studie wichtigen Daten werden auf speziellen Dokumentationsbögen *anonym* erfasst und ausgewertet. Es ist sichergestellt, dass Sie in keiner Veröffentlichung, die im Zusammenhang mit dieser Studie steht, zu identifizieren sein werden.

Grundlagen und Ziele der Studie:

An der Entstehung des „zervikalen Schwindels“ sind die Halswirbelsäule, und ganz besonders die kurzen Nackenmuskeln im oberen Bereich der Halswirbelsäule, beteiligt. Es bestehen Nervenverbindungen zwischen den Muskeln der Halswirbelsäule und dem Gleichgewichtsorgan, so dass Fehlstellungen, Verspannungen und ähnliche Störungen der Halswirbelsäule im Gleichgewichtsorgan Schwindel hervorrufen können.

An der Charité soll nun im Rahmen dieser Studie versucht werden, die Störungen im Zusammenspiel zwischen kurzen Nackenmuskeln, Halswirbelsäule und Gleichgewichtsorgan zu untersuchen. Durch kontrollierte Bewegungen des Rumpfes bei fixiertem Kopf in einem speziell konstruierten Stuhl findet eine Dehnung der Halsmuskulatur statt. Durch die Auswertung von eventuell auftretenden, reflektorischen Augenbewegungen wollen wir den Zusammenhang der Dysfunktion der Nackenmuskulatur und dem okulären Reflex bzw. Schwindel objektivieren.

Bisher konnte anhand einer Pilotstudie gezeigt werden, dass es zu einem statistisch signifikanten Anstieg von reflektorischen Augenbewegungen durch zervikale Stressprovokation kommt. Jedoch sind die Daten wissenschaftlich nur eingeschränkt verwertbar.

In der nun folgenden Studie sollen mit Hilfe eines standardisierten und gut reproduzierbaren Verfahrens gesunde und später auch Patienten mit zervikalen Beschwerden untersucht werden, um den Zusammenhang der Funktionsstörung der Nackenmuskulatur und dem Schwindel beweisen zu können und so ein *wirksames* Therapiekonzept für dessen Behandlung erarbeiten zu können.

Die Studie wird im Winter 2008 zunächst mit jungen, gesunden Probanden beginnen, anschließend werden wir Patienten mit zervikalen Beschwerden untersuchen. Die Studie wird voraussichtlich im Winter 2010 beendet sein. Der zeitliche Aufwand für die einzelnen Probanden mit Vor- und Nachuntersuchungen wird insgesamt ca. 2 bis 3 Stunden betragen (siehe dazu Näheres unter „Ablauf“).

Ablauf:

Die teilnehmenden Probanden werden auf dem für die Studie gebauten, in einer Halbpipeline-Konstruktion frei drehbaren Stuhl Platz nehmen. Es handelt sich dabei um einen Autositz der Marke Recaro, der an einem Gerüst fixiert ist. Nach dem Anschnallen werden der Helm, ein Uvex Skihelm, und die Videobrille aufgesetzt. Die Brille ist vollkommen lichtundurchlässig, und soll das Fixieren von Objekten verhindern. An dem Helm befindet sich oben ein Magnet, mit dem dieser an dem Gerüst befestigt wird. Dies gewährleistet, dass der Kopf bei Stuhlbewegungen in Ruheposition fixiert bleibt. Wenn der Proband positioniert ist wird der Stuhl auf einem Schlitten in verschiedene Richtungen per Hand bewegt. Die Rumpfxkursionen werden nach vorne/hinten, zur Seite und als Drehung durchgeführt. Währenddessen werden auftretende Augenbewegungen durch die Videobrille aufgezeichnet. Am Stuhl ist ein Not-Knopf befestigt, durch dessen Druck der Helm jeder Zeit auf Willen des Probanden gelöst werden kann. Der Versuch ist somit jederzeit auf eigenen Wunsch abbrechbar.

In den eben beschriebenen Rumpfpositionen bei unveränderter Kopflage werden objektive Parameter der aktuellen Schwindeldiagnostik (Videookulographie, vestibulär evozierte myogene Potentiale) untersucht. Die subjektiven Veränderungen oder eventuelle Beschwerden werden durch Fragebögen und Beschwerdeskalen (visuelle Analogskala) erfasst.

Diese Untersuchungen dauern ca. 2 ¼ Stunden. Vor Entlassung des Probanden wird nochmals eine ärztliche Untersuchung in der Klinik durchgeführt.

Risiken:

Durch die Bewegungen kann Schwindel und Unwohlsein ausgelöst werden. Durch den Versuch bestehen keine Risiken.

Die Teilnahme an der Untersuchung ist freiwillig und kann jederzeit ohne Angabe von Gründen beendet werden.

Vielen Dank für Ihre verständnisvolle Mithilfe!

Sollten Sie noch weitere Fragen haben, stehen wir gerne zu Ihrer Verfügung.

Ort, Datum:

Unterschrift:

Untersucher:



Charité | Campus Mitte | 10098 Berlin

Hals-Nasen-Ohrenklinik und Poliklinik

Direktor: Prof. Dr. Hans Scherer

Schumannstr. 20-21

10117 Berlin

Tel. 030 / 450 555 101

Fax 030 / 450 555 922

**Einwilligungserklärung
zur Teilnahme an der Studie
zum objektiven Nachweis der
zervikovegetibulären Afferenzen:**

Datum

Ihr Ansprechpartner:

PD Dr. med. M. Hölzl
Charité Campus Mitte
Klinik für Hals-Nasen-Ohrenklinik
und Poliklinik
Chariteplatz 1
10117 Berlin
Tel: 030 45050 (Funk)

Hiermit erkläre ich,

dass ich durch

mündlich und schriftlich über das Wesen, die Bedeutung, Tragweite und Risiken der wissenschaftlichen Untersuchungen im Rahmen der Studie, die von der Universitätsklinik Charité Campus Mitte durchgeführt wird, informiert wurde und ausreichend Gelegenheit hatte, meine Fragen hierzu in einem Gespräch mit der/dem Prüfarzt/in zu klären.

Ich habe insbesondere die mir vorgelegte Patientenerklärung verstanden und eine Ausfertigung derselben und dieser Einwilligungserklärung erhalten.

Ich bin bereit, an der wissenschaftlichen Untersuchung im Rahmen der o.g. Studie teilzunehmen. Über den zeitlichen und logistischen Ablauf (zusammen mit Vor- und Nachuntersuchungen) bin ich informiert und einverstanden.

Mir ist bekannt, dass ich meine Einwilligung jederzeit und ohne Angabe von Gründen und ohne nachteilige Folgen für mich beenden und einer Weiterverarbeitung meiner Daten jederzeit widersprechen kann.

Ich bin einverstanden, dass der Prüfleiter oder Prüfarzt sich mit meinem/r behandelnden Arzt/Ärztin im Rahmen dieser Studie in Verbindung setzt.

Einwilligungserklärung zur Datenverarbeitung

Ich willige darin ein, dass das Universitätsklinikum Charité, Campus Mitte, mich betreffende personenbezogene Daten sowie Gesundheits- bzw. Krankheitsdaten im Rahmen und zum Zweck des o.g. Forschungsvorhabens verarbeitet.

Ich willige darin ein, dass meine im Rahmen der o.g. Studie erhobenen Krankheitsdaten aufgezeichnet, verschlüsselt, verschlüsselt gespeichert und ggf. an die zuständigen Überwachungsbehörden sowie die zuständige Bundesoberbehörde weitergeleitet und anonymisiert veröffentlicht werden.

Ferner bin ich damit einverstanden, dass der zuständigen Überwachungsbehörde und Bundesoberbehörde zu Prüfzwecken stichprobenartig Einsicht in die im Rahmen der o.g. Studie aufgezeichneten Krankheitsdaten, soweit es sich um personenbezogene Daten handelt, gewährt wird.

Ich erkläre mich auch mit einer Information meines Hausarztes durch den/die Studienarzt/-ärztin über meine Teilnahme an der o.g. Studie einverstanden.

Im Rahmen der vorstehend beschriebenen Weitergabe von Daten und der Gewährung der Einsicht in die mich betreffenden Aufzeichnungen entbinde ich hiermit den/die behandelnde Arzt/Ärztin und den /die Studienarzt/-ärztin von der ärztlichen Schweigepflicht.

Berlin, den

Unterschrift des/der Versuchsteilnehmer/in

Charité | Campus Mitte | 10115 Berlin

DHI Dizziness Handicap Inventory
Fragebogen für Schwindelpatienten

Bitte beantworten Sie folgende Fragen bezogen auf Schwindelbeschwerden:		ja (4 Pkt.)	zeitweise (2 Pkt.)	nein (0 Pkt.)
1	Physical Subscale	Haben Sie beim Nachoberschauen 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 Verantwortungsbereich 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:		

Visuelle Analogskala (VAS)

Bitte kennzeichnen Sie auf der folgenden Skala die Intensität ihres Schwindels und die damit verbundene Beeinträchtigung! (Zur Erklärung: Die VAS ist eine 100 mm lange Skala. Kennzeichnen Sie bitte ihr Schwindelerleben mit einem Strich senkrecht [|] zur Skala. Je weiter links, desto geringer sind die Beschwerden, je weiter rechts, desto stärker.)



HWS

Flexion: 35-80 / 0 / 35-80

Anteflexion: Reklination:

Seitneigung: 45 / 0 / 45

Rechts: Links:

Rotation: 60-90 / 0 / 0-90

Rechts: Links:

Halsfaszien Schmerz:

<u>Kopfgelenke:</u>	<u>Rechts</u>	<u>Links</u>
Rotation C0-C3		
C0-C1 Seitneige		
C0-C1 Anteflexion		
1. Rippe		

Kiefergelenke:

Assymetrie nach:

Temporalis: rechts: links:

Beschwerden:

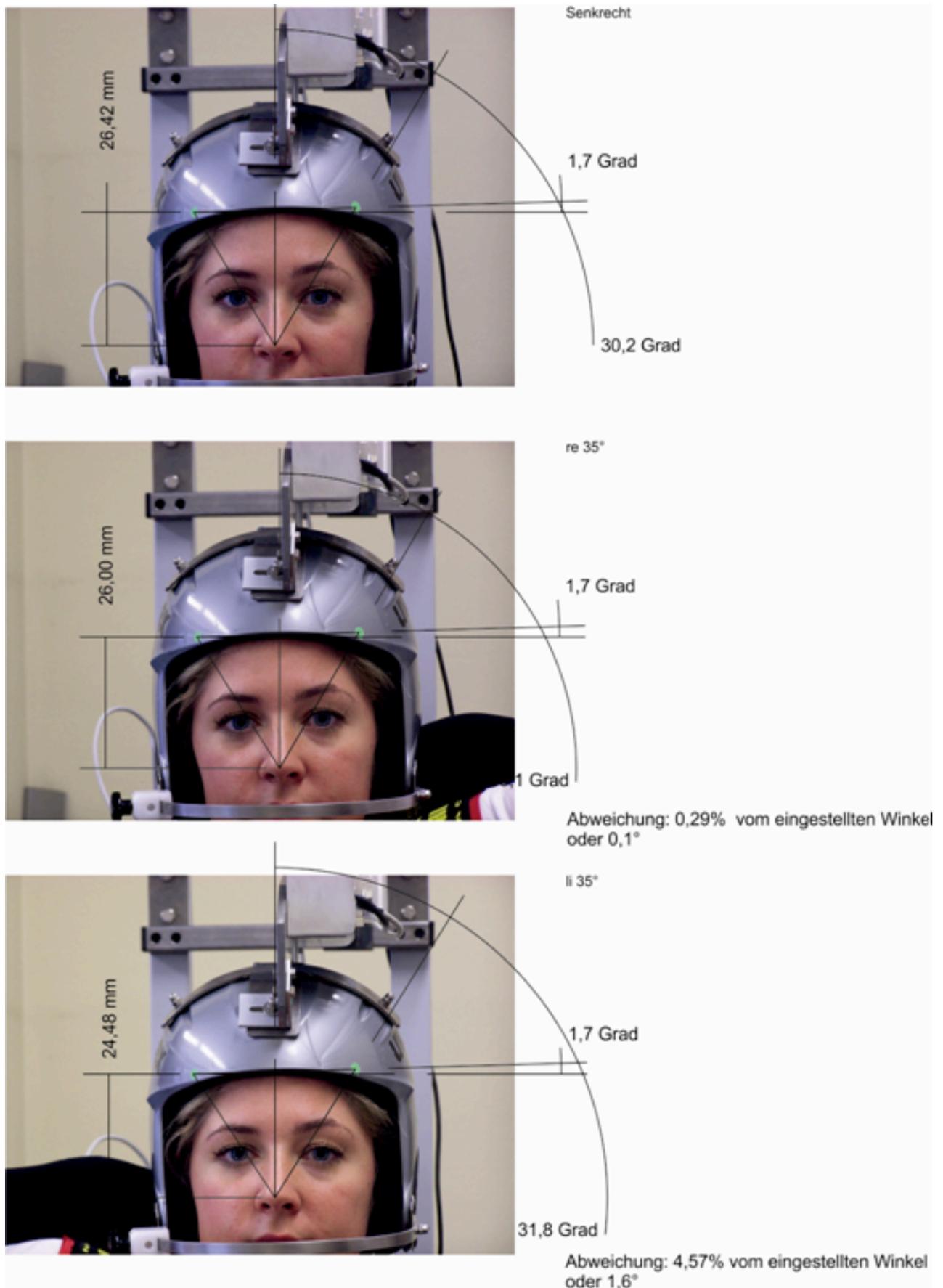


Abb.1 von Anhang 5: zeigt die Berechnung der Winkelabweichung des Kopfes innerhalb des Helmes während der Auslenkung zur Seite nach rechts und nach links (re 35°, li 35°) im Vergleich zur Nullposition (senkrecht). Als Fixpunkte dienen die Nasenspitze und die aufgeklebten Punkte am Helm.

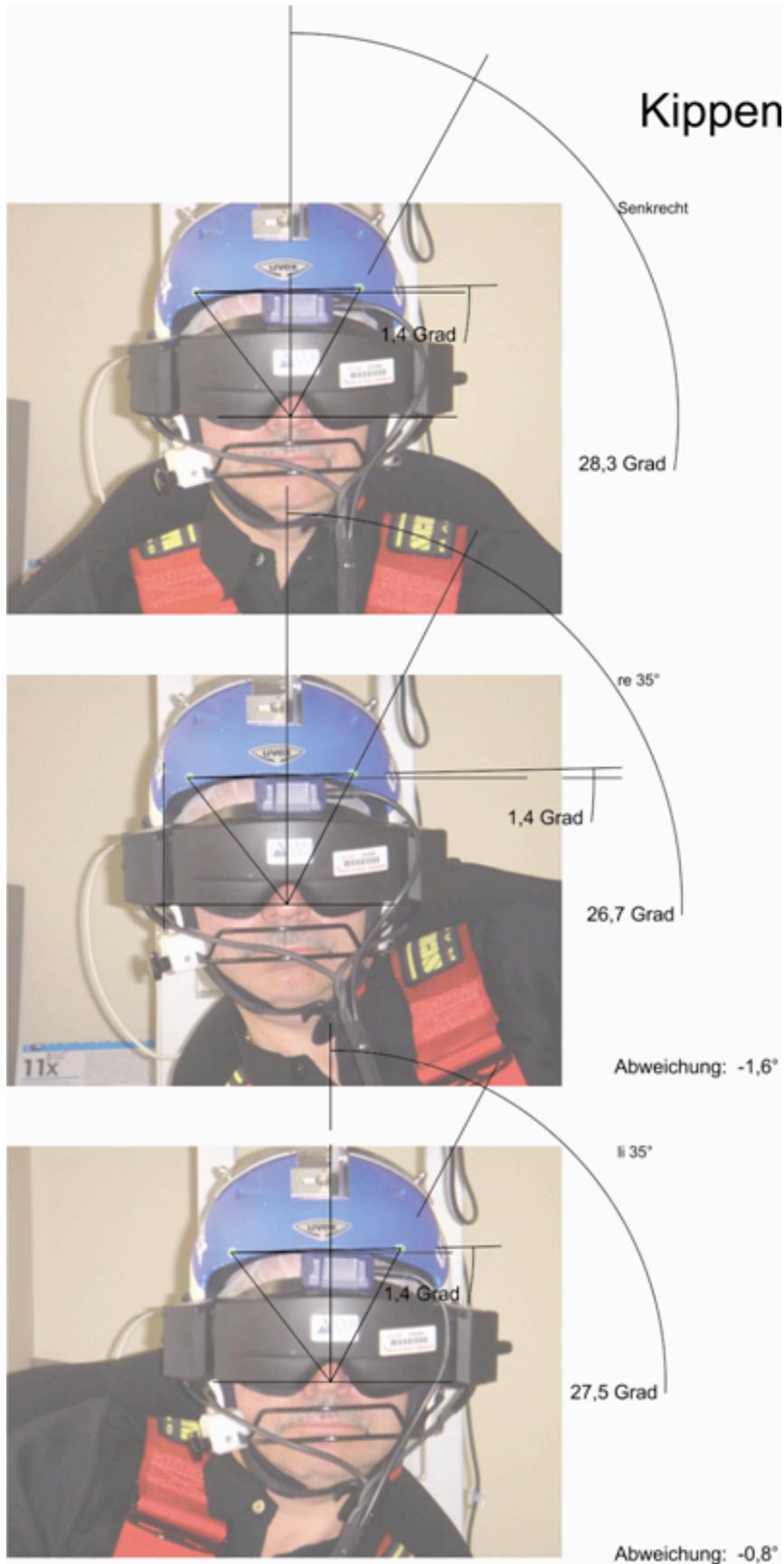


Abb. 2 von Anhang 5: zeigt die Berechnung der Winkelabweichung des Kopfes im Helm wie bereits in Abb. 1 von Anhang 5 beschrieben. Die Abbildungen entsprechen dem Versuchsaufbau mit 3D- Videookulographie-System.

CHARITÉ CAMPUS MITTE

Charité | Campus Mitte | 10115 Berlin

Klinik für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde

Patientenetikett

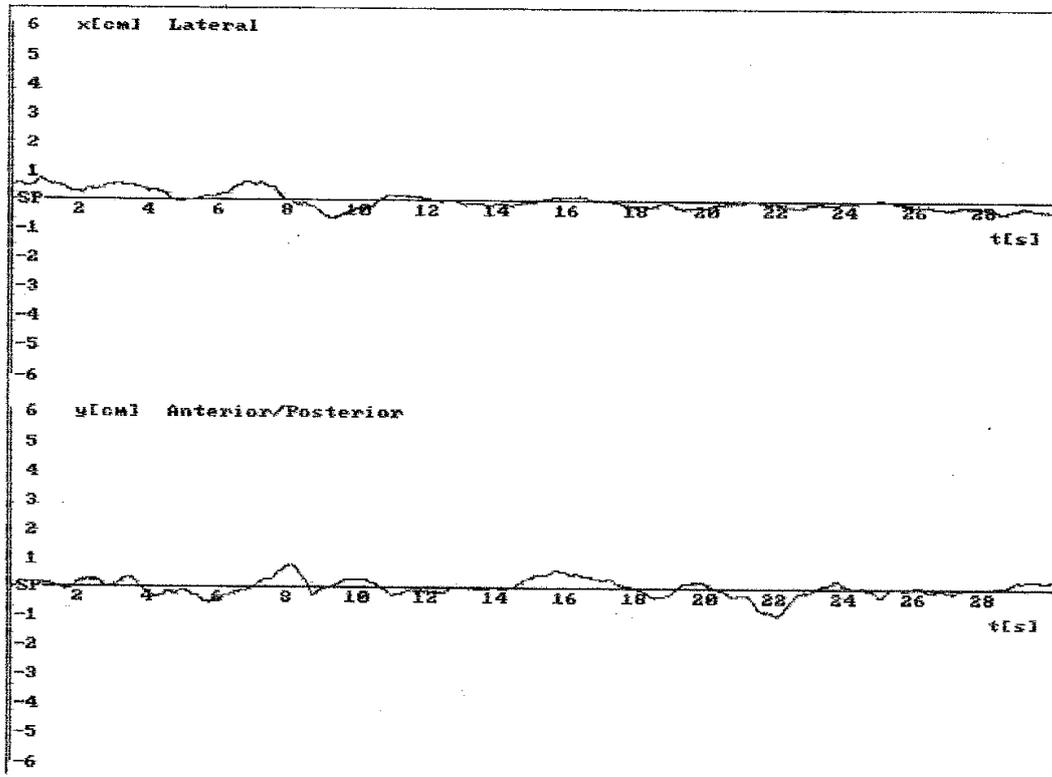
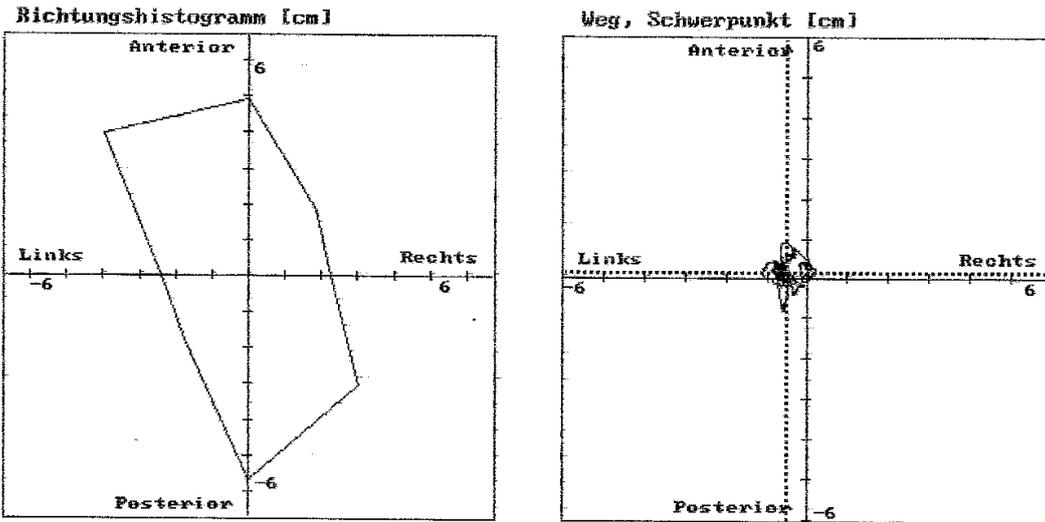
Untersuchungsdatum:

Befundbogen 3D-VOG Untersuchungsstuhl TENS

Post

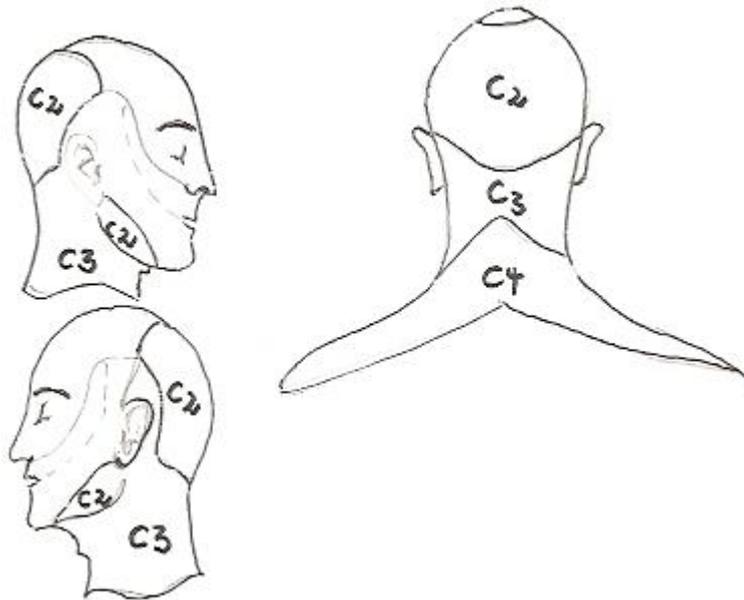
Position	Horizontal	Vertikal	Torsional	Position	Horizontal	Vertikal	Torsional
 SPN- Spontannystagmus	0	0	0	Gefühlte Nullstellung nach Linksauslenkung: Max. Linksauslenkung: Gefühlte Nullstellung nach Rechtsauslenkung: Max Rechtsauslenkung:			6° 40° 7° 40°
③  Linkskippung	0	0	0	 Rechtskipfung	0	0	0
 SPN- Spontannystagmus	0	0	0	Gefühlte Nullstellung nach Anteflexion: Max. Auslenkung in die Anteflexion: Gefühlte Nullstellung nach Reklination: Max Auslenkung in die Reklination:			7° 40° -5° 40°
①  Anteflexion	0	0	0	 Retroflexion	0	0	0
② Rumpf-Rechtsrotation Max Auslenkung: 80° Gefühlte Nullstellung: 4	0	0	0	Rumpf-Linksrotation Max Auslenkung: 80° Gefühlte Nullstellung: -9	0	0	0

Name: ██████	otopront LUZERNER MESSPLATTE	
Vorname: ██████		
Geb. Datum: ██████		
Anschrift: , ,		
Anweisung: Augen geöffnet		
DeltaX: 1.4cm	DeltaY: 1.7cm	DX*DY: 2.4cm ²
Weg: 30.4cm	Weg/t: 1.0cm/s	Datum: 08. Jan. 2010
Lateral: 15.6cm	Lateral/t: 0.5cm/s	Gewicht: █████ kg
Ant-Post: 21.7cm	Ant-Post/t: 0.7cm/s	Zeit: 30 s
Sway Area: 3.6cm ²	Sway Area/t: 0.1cm ² /s	Speicher #1
		GP3S 001.22



Die Abbildung zeigt den Dokumentationsbogen der PUG- Messplatte mit Richtungshistogramm und Schwankungsschwerpunkt. Die unter „Anweisung“ angegebenen Auswertungen fließen in die Ergebnisse mit ein (s. Kap 2.3.2, Kap. 3.2.2, Kap. 4.3.1)

Dokumentation der Parästhesieverteilung anhand der Head'schen Dermatomeinteilung nach der C-TENS Einwirkung



Illustrative Darstellung der Head'schen Zonen am Hals-Nackengebireich.

Legende: C1: keine sensible Versorgung, C2: versorgt den Hinterkopf, C3 versorgt den vorderen und hinteren Hals, C4: versorgt den Nacken-Schulterbereich. Im Gesichtsbereich: V1-V3, Äste des Trigeminus

8 DANKSAGUNG

Meinem Doktorvater Herrn PD Dr. med. Matthias Hölzl danke ich für die Vergabe des sehr interessanten Themas und die begeisterte und engagierte Heranführung an ein so komplexes Forschungsgebiet. Ich danke ihm besonders für die umfassende und fortwährende Förderung, Unterstützung und Betreuung meiner Doktorarbeit und den damit verbundenen Veröffentlichungen, auch nach seinem Weggang von der Hals-, Nasen-, Ohrenklinik der Charité Universitätsmedizin Campus Mitte. Für diese persönliche Zusammenarbeit möchte ich ihm herzlich danken. Er war mir stets ein kompetenter Ansprechpartner und seine konstruktive Kritik und sein Fachwissen haben einen erheblichen Einfluss auf die Entstehung dieser Arbeit gehabt.

Herrn Professor Dr. med. Hans Scherer danke ich für seine Ideen, Anregungen, seine interessante Kritik durch sein unglaubliches Fachwissen auf diesem Gebiet, von welchem meine Arbeit profitieren konnte.

Anabelle Lappat, Sabrina Rauschenberger und Murad Tukhtaev sei für die Einführungen in das Labor und die Beratung im Umgang mit dem VOG- System, der PUG- Messplatte, dem 3D- Rumpfxkursionsstuhl, der Halswirbelsäulen- Untersuchung und der Hilfe bei der anfänglichen Nystagmusbefundung gedankt.

Dem gesamten Team der Audiologie am Campus Mitte danke ich für die nette und freundliche Zusammenarbeit und das freundliche Klima.

Herrn Martin Bischoff danke ich für seine technische und zum Teil grafische Unterstützung und die Hilfestellungen bei der Berechnung der Winkelabweichungen im Helm der Probanden.

Der Firma *schwa-medico*, im Besonderen Herrn Kalso danke ich für die Bereitstellung der TENS- Geräte von PIERENKEMPER GMBH und der fachkompetenten Unterstützung bei Fragen zum Gerät.

Für die bereitwillige Teilnahme an den Experimenten danke ich allen neunundvierzig Probanden.

Nicht zuletzt gilt mein besonderer Dank meinen Eltern für ihre stetige und uneingeschränkte Unterstützung, ihr Vertrauen und Verständnis.

Meinem Freund Jan danke ich für seine Unterstützung, Geduld und sein stets offenes Ohr.

Meine Familie war die Voraussetzung für das Gelingen und Beenden dieser Arbeit.

9 PUBLIKATIONSLISTE

Dorn L, Birnbaum J, Lappat A, Neuhuber W, Scherer H, Olze H, Hölzl M. Tonic investigation concept of cervico-vestibular muscle afferences. The Spine Journal.
eingereicht 02/2012

Hölzl M, **Dorn L**, Scherer H. Konzept tonischer Untersuchung zervikalvestibulärer Muskelafferenzen. In: Iro H, Waldfahrer F (Hrsg.). Vertigo - Kontroverses und Bewährtes, 8. Hennig Symposium. Springer- Verlag, Wien. 2011.

10 EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Erklärung an Eides Statt

„Ich, Linda Josephine Dorn, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: Grundlagenuntersuchung der zervikovegetibulären Afferenzen in einer placebokontrollierten klinischen Studie mit monophasischer transkutaner Nervenstimulationsblockade selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Datum

Unterschrift