

**Aus der Universitätsklinik und Poliklinik für Orthopädie und Physikalische Medizin
an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg**

Leiter: Prof. Dr. med. W. Hein

**Koordinationstrainingstherapie im Spacecurl –
posturographische Ergebnisse bei Pflegepersonal mit Rückenschmerzen**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Medizin (Dr. med.)

vorgelegt
der Medizinischen Fakultät
der Martin – Luther – Universität Halle – Wittenberg

von Jan Paul Granert
geboren am 10.12.1970 in Erfurt

Gutachter: Prof. Dr. med. W. Hein
Prof. Dr. med. D. Riede
Prof. Dr. med. U.C. Smolenski

Eröffnung des Promotionsverfahrens: 09.11.2004
Datum der Verteidigung: 10.11.2005

urn:nbn:de:gbv:3-000009350

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Agbv%3A3-000009350>]

Kurzreferat

Ziel der Untersuchung war es, in einer randomisierten, kontrollierten Experimentalstudie den *Einfluss des Spacecurltrainings auf die Koordination* am Beispiel von 104 Krankenschwestern mit rezidivierenden Rückenbeschwerden posturographisch, anhand der Messung der Standstabilität, zu untersuchen.

Die Experimentalgruppe führte dazu in durchschnittlich einem halben Jahr 36 Trainingseinheiten mit dem Spacecurl durch, die Kontrollgruppe blieb unbehandelt. Von diesem Training wurde eine Verbesserung der Gesamtkörperkoordination, gemessen anhand der Standstabilität, erwartet.

Die posturographische Untersuchung der Standstabilität gab Auskunft über das Schwankverhalten der Probanden. Die posturographische Messung der Trainierenden wurden vor und nach dem Trainingszyklus sowie drei Monate nach Trainingsende erhoben. Es erfolgte eine statistische Auswertung der Ergebnisse miteinander sowie die Untersuchung auf Abhängigkeit von persönlichen Faktoren.

Im Ergebnis verbesserten 75,7 % der trainierenden Probanden die Standstabilität im Posttrainingstest hochsignifikant um ca. 1/3 gegenüber ihren posturographischen Ausgangswerten, die untrainierten Gruppen zeigten keine signifikanten Veränderungen. Die Frequenzanalysen der Trainierenden ergaben eine signifikante Verbesserung in dem Frequenzbereich, der typischerweise als Marker für (periphere) vestibuläre Störungen gewertet wird. Damit stimmt überein, dass die Probanden in der Position, in der ihr Gleichgewichtssinn nahezu ausschließlich auf den vestibulären Input angewiesen war, hochsignifikante Verbesserungen zeigten. Es muß angenommen werden, das Spacecurltraining insbesondere die Integration vestibulärer Afferenzen fördert. Eine Regredienz der Rückenschmerzen war tendenziell, jedoch nicht signifikant, vorhanden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die MTT mit dem Spacecurl die Standstabilität und somit die Koordination verbesserte und dass die Verwendung der Posturographie zur Verlaufskontrolle der Medizinischen Trainingstherapie mit dem Spacecurl geeignet ist.

Bibliographische Daten

Granert, Jan Paul: Koordinationstrainingstherapie im Spacecurl – posturographische Ergebnisse bei Pflegepersonal mit Rückenschmerzen. Halle, Univ., Med. Fak., Diss., 76 Seiten, 2004

Inhaltsverzeichnis	SEITE
<u>1 Einleitung</u>	1
1.1 Posturographie	1
1.1.1 Posturographie - Begriffsbestimmung und Entwicklung	3
1.1.2 Klinische Bedeutung der Posturographie	4
1.2 Literaturüberblick und theoretische Grundlagen zum Begriff Koordination	8
1.2.1 Physiologische Aspekte der Koordination	9
1.2.2 Die Bedeutung der Afferenzen für die koordinative Leistung bei Gleichgewichtskontrolle, Haltung und Bewegung	13
1.3 Rückenschmerz und Koordinationsdefizite	14
1.3.1 Epidemiologie und gesellschaftliche Folgen des Rückenschmerzes	15
1.3.2 Rückenbeschwerden bei Pflegepersonal	16
1.4 Präventions- und Therapiestrategien	16
1.4.1 Forschungsstand und besondere Aspekte von Therapie und Prävention	16
1.4.2 Koordinationstraining im Spacecurl	17
1.4.3 Verhaltenspräventionsschulung	19
<u>2 Zielstellung</u>	22
<u>3 Material und Methoden</u>	23
3.1 Allgemeines Studiendesign und Untersuchungsablauf	23
3.2 Probanden	25
3.3 Koordinationstraining im Spacecurl	26
3.3.1 Funktionsweise des Spacecurl	26
3.3.2 Trainingsprinzipien	27
3.3.3 Trainingsmethoden	27
3.3.4 Trainingsprogramm	28
3.4 Verhaltenspräventionsschulung	29
3.4.1 Allgemeine Aspekte	29
3.4.2 Angewandten Methoden der Verhaltenspräventionsschulung	29
3.5 Posturographie	31
3.5.1 Gerätebeschreibung	31
3.5.2 Auswertung	32

3.5.3	Posturographischer Meßablauf	33
3.6	Weitere Datenerfassung und Statistische Berechnungen	35
3.6.1	Datenerfassung	35
3.6.2	Stichprobenberechnung und statistische Auswertung	36
<u>4</u>	<u>Ergebnisse</u>	38
4.1	Ergebnisse zur Charakterisierung der Stichprobe zum MZP 1	38
4.2	Veränderung der Gesamtkörperkoordination in den einzelnen Therapiesträngen	39
4.2.1	Vergleich der Ergebnisse der Trainingsgruppen und Nicht-Trainingsgruppen	39
4.2.2	Koordinationsveränderung durch Spacecurltraining	41
4.2.3	Koordinationsveränderung durch Spacecurltraining und Verhaltenspräventionsschulung	42
4.2.4	Koordinationsveränderung durch Verhaltenspräventionsschulung	42
4.2.5	Koordinationsveränderungen in der Kontrollgruppe	42
4.3	Gesamtkörperkoordination in bestimmten Körperhaltungen und Frequenzbereichen	42
4.3.1	Posturographische Veränderungen in den Stellungen PC und HB zwischen MZP I und II	42
4.3.2	Verbesserungen in den 4 Frequenzbereichen zwischen MZP I und II	43
4.4	Untersuchungen der Posturographieergebnisse auf Korrelationen	44
4.4.1	Posturographieergebnisse und Koordinationstraining	44
4.4.2	Posturographieergebnisse und Alter	44
4.4.3	Posturographieergebnisse und Gewicht	44
4.4.4	Posturographieergebnisse und Hypermobilität	45
4.4.5	Korrelationen zwischen Posturographieergebnissen und subjektivem Rückenschmerzempfinden	45
<u>5</u>	<u>Diskussion</u>	46
5.1	Diskussion der ermittelten Werte	47
5.1.1	Verbesserung posturographischer Ergebnisse durch Training	47
5.1.2	Superkompensationseffekt zum MZP 1B?	50
5.2	Diskussion der gefundenen Korrelationen	51

5.2.1	Posturographie und Alter	51
5.2.2	Posturographie und Gewicht	53
5.2.3	Posturographieergebnisse und Hypermobilität	54
5.2.4	Posturographische Veränderungen in den Stellungen PC und HB sowie Verbesserungen in den 4 einzelnen Frequenzbereichen zwischen MZP I und III	54
5.2.5	Posturographie und Rückenschmerz	56
5.3	Fehlerdiskussion	57
5.3.1	Zeitraumen der Trainingseinheiten	57
5.3.2	Störfaktoren	57
5.3.3	Möglichkeiten und Grenzen der statischen Posturographie	58
5.3.4	Trainings- und Meßfehler	60
6	<u>Zusammenfassung</u>	62
7	<u>Schlussfolgerungen</u>	63
8	<u>Literaturverzeichnis</u>	65
9	<u>Thesen</u>	75
	Tabellarischer Lebenslauf	
	Eidesstattliche Erklärung	
	Publikationsliste	
	Danksagung	

Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
DPG	Dynamische Posturographie
ggf.	gegebenenfalls
HWS	Halswirbelsäule
max.	maximal
MTT	Medizinische Trainingstherapie
MZP	Meßzeitpunkt
o.g.	oben genannt
SPG	Statische Posturographie
usw.	und so weiter
vs.	versus

1 EINLEITUNG

Zur Wahrung der Standstabilität wird eine adäquate Koordination der Haltemuskulatur des Rumpfes und der unteren Extremität benötigt. Muskuläre Koordination und Standstabilität stehen in engem Zusammenhang. Ist die muskuläre Koordination gestört, verschlechtert diese Dyskoordination auch die Standstabilität. Bei Chronifizierung der Dyskoordination ist klinisch auch die Standstabilität dauerhaft nachteilig beeinflusst. Die Standstabilität und ihre Störungen kann man mittels Posturographie objektivieren.

Unter der Annahme, dass die beeinträchtigte Standstabilität dyskoordinativ bedingt sein könnte und das Spacecurltraining koordinationsverbessernde Wirkung hat, müsste unter der trainingstherapeutischen Behandlung posturographisch ein Rückgang der Störungen der Standstabilität erkennbar sein. Da klinisch bei Rückenschmerzpatienten häufig Koordinationsstörungen gesehen werden, wurden die Probanden aus dieser Patientengruppe rekrutiert.

In der hier vorliegenden Arbeit soll innerhalb einer über zwei Jahre durchgeführten experimentellen, randomisierten und kontrollierten Studie untersucht werden, inwieweit sich die Posturographie zur Verlaufskontrolle der Variable Standstabilität eignet. Weiterhin wird untersucht, welche der drei Behandlungsstränge

1. Koordinationstraining im Spacecurl,
 2. Koordinationstraining im Spacecurl mit Verhaltenspräventionsschulung sowie
 3. Verhaltenspräventionsschulung
- im Vergleich mit einer Kontrollgruppe Veränderungen der Standstabilität bei Rückenschmerzpatienten bewirken.

1.1 Posturographie

Verfahren zur Haltungsanalyse werden allgemein als Posturographie bezeichnet. Da die Posturographie Körperschwankungen registriert, liegt es nahe, sie zur Erweiterung der Diagnostik, zur Verlaufskontrolle entsprechender Störungen und zur Objektivierung von Therapieergebnissen einzusetzen.

Unter Posturographie (posture [engl.] Haltung) wird heute insbesondere die Erfassung der Körperschwankungen im aufrechten Stand subsummiert. Mit Hilfe der Posturographie können zwei wesentliche Funktionen der Gesamtkörperkoordination, die Gleichgewichts- und die Haltungskontrolle, objektiv überprüft werden. Dabei ist die Posturographie ein hochgenaues, untersucherunabhängiges und standardisierbares diagnostisches Verfahren zur Kontrolle der Koordinationsfähigkeit.

Die Entwicklung der direkten Posturographie begann zu Anfang des vorigen Jahrhunderts. Eines der ersten mechanisch funktionierenden Geräte wurde 1922 von Miller konstruiert. Er befestigte vier Fäden an einem Körperpunkt, von dem aus die Fäden in alle vier Himmelsrichtungen durch ein Zählwerk liefen, wodurch die Körperschwankungen direkt registriert werden konnten. Bei einer weiteren Untersuchungsmethode, der Kraniographie nach Claussen, wird die Körperschwankung mittels der Leuchtspuren verfolgt, die ein Lämpchen auf Helm und Schultern der Untersuchten bei Langzeitbelichtung eines Polaroidfilms erzeugen (Stoll et al., 1986).

Die Entwicklung der indirekten Posturographie begann 1964 mit der Herstellung des ersten elektronischen Posturometers durch Baron und Mitarbeiter. Es wurde durch die Pariser Werkstatt ELECTRONIC APPLIQUEE zum ELA- STATOKINESIOMETER entwickelt und vertrieben. Erstmals wurden Dehnungsmessstreifen zur Aufzeichnung von Druckkräften verwendet, die eine auf einer Fußplattform stehende Person durch Körperschwankungen erzeugt. Es erfolgte die Errechnung eines Statokinesiogramms, das die Bahn des Körperschwerpunktes dokumentierte, und eines Stabilogramms, in dem die Druckschwankungen in antero-posteriore und laterale Richtung aufgezeichnet wurden.

Derzeit häufig benutzte Geräte sind der von Nashner entwickelte Balance Master, die Fußplatten der Firmen Tönnies und Kistler sowie das Multi Plate Tetrax-System nach Kohen-Raz. Allen heutigen Systemen gemeinsam ist die Benutzung piezoelektrischer Bauteile in den Fußplatten, die bei auf sie einwirkenden Druckkräften eine proportionale Widerstandsveränderung aufweisen. Damit wird die Bewegung des Körperdruckpunktes errechnet und seine Auslenkungen nach anterior, posterior sowie lateral indirekt verfolgt.

1.1.1 Posturographie - Begriffsbestimmung und Entwicklung

Im engeren Sinne umschrieb der Begriff zunächst die *direkte* Messung von Weggrößen zur Lage – und Bewegungsanalyse ausgewählter Körperpunkte am Kopf (repräsentativ für die Bewegung des Vestibularorgans) oder Rumpf (stellvertretend für den Körperschwerpunkt) z.B. mittels lichtoptischer und „sway-magnetometry“- Verfahren (Fitzgerald et al. 1993; Fitzgerald et al. 1994). Diese Verfahren ordnet man der *direkten Posturographie* zu, die Bedeutung ist eher geschichtlich anzusehen. Mit der *indirekten Posturographie*, die sich mit der kommerziellen Verfügbarkeit piezoelektrischer Kraftmessplatten entwickelte, wurden die diagnostischen Verfahren zur Analyse koordinativer Fähigkeiten bereichert. Früher wurde versucht, die Bewegung des in Beckenmitte vermuteten *Körperschwerpunktes* zu erfassen. Da dieser aber eine individuelle Lage im jeweiligen Körper einnimmt, waren die Messungen entsprechend ungenau und kaum vergleichbar.

Heute bestimmt man die Lage des *Druckmittelpunktes*. Die Lage des Druckmittelpunktes entspricht der Gewichtsverteilung des Körpers im Stand auf zwei oder mehr Kraftmessplatten (KMP). Ist das Gewicht auf beispielsweise zwei KMP gleichmässig verteilt, befindet sich der Druckmittelpunkt genau zwischen den Platten auf einer gedachten Symmetrieachse. Schwankt ein Patient zur Seite, geht das mit einer entsprechenden Gewichtsverlagerung einher und der Druckmittelpunkt wandert ebenfalls zur Seite. Neigt sich die Person nach vorn und hält dabei das Gewicht gleich verteilt, wandert auch der Druckmittelpunkt mittig nach vorn. Diese Bewegung des Druckmittelpunktes nach vorn kann aber nur dann wahrgenommen werden, wenn man vier Platten benutzt, je eine für Vorfuß und Ferse, um nicht nur die seitlichen Gewichtsverlagerungen, sondern auch die anterior-posterioren Bewegungen messen zu können. Der mit den Kraftmessplatten computerunterstützt ermittelte Druckmittelpunkt (Center of Pressure, Kraftmittelpunkt, etc.) darf nicht verwechselt werden mit dem Körperschwerpunkt (Center of Gravity, Massenmittelpunkt, etc.) (Witte und Recknagel 1997). Daher führten die Hersteller auch neue Variablen, wie die area of sway oder den stability index ein, die stark mit der Bewegung des Körperschwerpunktes korrelieren, aber nicht gleichzusetzen sind (Jeong 1994).

Weitere Unterschiede gibt es in der *Beweglichkeit der Fußplatten*. Man unterscheidet zwischen *statischer* (SPG) und *dynamischer* Posturographie (DPG). Während die Fußplatte bei der statischen Posturographie unbeweglich gelagert ist, ist bei der dynamischen Posturographie eine Kippung in seitlicher und anterior-posteriorer möglich. Somit können die Platten einerseits schwankadaptiert mitbewegt werden, um die Afferenzen der Gelenkrezeptoren und der Oberflächensensibilität bis zum Informationsverlust zu stören. Andererseits kann man die Platten auch gezielt auslenken, um die Reaktionsfähigkeit des Gleichgewichtssystems zu testen. Die dynamische Posturographie wird sehr breit für diagnostische Zwecke verwendet. Untersuchungsgegenstand war beispielsweise die Beobachtung der Gleichgewichtskontrolle nach Anästhesie (Gupta et al. 1991) oder bei Patienten mit Schleudertraumata (Ödkvist et al. 1995). Speziell zur statischen Posturographie geeignete Posturometer sind z.B. die Kistler-Platte und das Multi Plat Tetrax System. Untersuchungen mit statischen Systemen wurden durch Wall and Black 1983, Weisemann 1988, Pyykkö et al. 1991, Himmelfarb et al. 1992, Kohen-Raz 1991 durchgeführt und sind ebenfalls übliche Untersuchungsverfahren in der Posturographie.

Das von uns verwendete Posturometer Multi Plat Tetrax-System nimmt bei Einordnung in die statische Posturographie auf Grund seiner vier Fußplatten eine Sonderstellung ein. Der Körper wird nicht einfach als umgekehrtes Pendel auf einer Grundplatte verstanden, dessen seitliche Druckverlagerung gemessen wird, sondern auch die Kompensation zwischen Ferse und Vorfuß einer Seite sowie zur Gegenseite und Schwankungen in ap-Richtung werden erfasst. Es misst unter anderem die Parameter Stabilität, Gewichtsverteilung, Synchronisation und Frequenzamplitude. Seit mehreren Jahren wird es wissenschaftlich und klinisch eingesetzt (Kohen-Raz 1991, Roth und Kohen-Raz 1998).

1.1.2 Klinische Bedeutung der Posturographie

Derzeit werden die DPG ebenso angewandt wie die SPG, wobei die DPG in letzter Zeit häufiger Gegenstand von Veröffentlichungen ist. Dass dabei die DPG der SPG statistisch in der Sensitivität äquivalent ist, konnte Di Fabio 1995 als Ergebnis einer Metaanalyse über Spezifität und Sensitivität beider Messverfahren zeigen (Di Fabio 1996). Mit den gewonnenen Daten kann der Weg (Norre und Forrez, 1986; Stoll, 1985; Weisemann, 1988) und die Geschwindigkeit (Aalto et al., 1988) des Druckmittelpunktes gemessen werden oder die von diesem eingeschlossene Fläche sowie die sagittalen und seitlichen

Schwankungsbewegungen (Hytönen et al., 1989; Weisemann, 1988). Diese Schwankungen werden in ihrer Frequenz unterschieden, und man ist bemüht, einzelnen, überdurchschnittlich häufig auftretenden Frequenzbereichen Störungsursachen zuzuschreiben (Kohen-Raz, 1991). Die Betrachtung der Frequenzen ist in der vorliegenden Arbeit von besonderem Interesse, weil sie Bestandteil der Auswertung ist.

So beschrieb De Witt 1972 den Zusammenhang zwischen vestibulären Störungen und der Häufung von Frequenzen um 0,2 Hz sowie häufiger vorkommenden propriozeptiv bedingten Schwankfrequenzen zwischen 0,5 und 1,0 Hz. Weitgehend bestätigt sind diese Ergebnisse in den Veröffentlichungen von Kohen-Raz 1986, 1991 und 1996, wobei zunächst der Bereich von 0 bis 3 Hz in 8 Frequenzbereiche eingeteilt wurde und die Häufigkeitszunahmen im niedrigen und mittleren Frequenzbereich mit vestibulären Störungen in Verbindung gebracht wurden, während höheren Frequenzen mit propriozeptiven oder zentralen Störungen verbunden erschienen. 1991 schrieb Kohen-Raz einer Häufung von Frequenzen $< 0,1$ Störungen der visuell-labyrinthischen Kontrolle zu, während er Häufungen im Frequenzbereich von 0,2 – 1,0 Hz mit Dysfunktionen des somatosensorischen Feedbacks, Kleinhirnschäden und auch Stretch-Reflex-Mobilisierungen assoziiert sah. Horak et al. (1988) beschrieben eine Assoziation der Frequenzen von 0,2 und 0,5 Hz mit Störungen des vestibulo-okulären Reflexes bei Kindern. Eine vestibulär bedingte Schwankzunahme im Frequenzbereich 0,1-0,3 Hz bei Ausschaltung des visuellen und somatosensorischen Inputs wurde von Nashner et al. (1989) festgestellt.

Eine Schwierigkeit besteht darin, Aussagen darüber zu treffen, ab wann ein Befund als pathologisch anzusehen ist. Mehrere Autoren legten per definitionem fest, dass die Häufigkeit des Vorkommens einer bestimmten Frequenz mit zusätzlichen Befunden (Shumway-Cook et al. 1987) bzw. ohne zusätzliche Befunde als pathologisch gilt, wenn diese Erhöhung außerhalb der zweifachen Standardabweichung ($> 95,45\%$) liegt (Black et al. 1978; Horak et al. 1988). Norre und Forrez (1986) nutzten nicht die Häufung von Schwingungen bestimmter Frequenzbereiche zur Identifikation peripher-vestibulärer Erkrankungen, sondern Fläche und zurückgelegten Weg des Körperdruckpunktes im Vergleich mit dem 95 % Konfidenzintervall der Werte Gesunder. Sie stellten zwar generell abnorme Schwankmuster fest, konnten aber kein für peripher-vestibuläre Erkrankungen typisches Muster abnormaler Schwankungen (z.B. in gewissen Frequenzbereichen)

auffinden. Die zum Teil widersprüchlich erscheinenden Untersuchungsergebnisse sind als Ausdruck der Empfindlichkeit der Posturographiemethode und der vielfältigen unterschiedlichen Verfahren zur Datengewinnung zu verstehen. Eine Beurteilung der Gleichgewichtsregulation durch über die Fußsohle abgeleitete Veränderungen des Druckes muss als sehr komplexes Geschehen verstanden werden. So fanden sich beispielsweise in einer Untersuchung durch Alund et al. (1991) bei Patienten mit zervikalem Schwindel gegenüber Gesunden in der dynamischen Posturographie signifikante Unterschiede, während die statische Posturographie in keiner Position signifikante Unterschiede zeigte. Diese Unsicherheiten in der diagnostischen Aussage wird die vorliegende Untersuchung allerdings kaum beeinträchtigen, da hier die Posturographie nicht zur Diagnostik einer bestimmten Erkrankung bzw. Differenzierung von einer zweiten benutzt wird, sondern nur, um in einem Vorher-Nachher-Vergleich die Wirkung einer bestimmten Trainingstherapie objektiv zu evaluieren und die Nutzbarkeit der Methode in diesem Zusammenhang zu belegen. Bis zur stichhaltigen Erklärung einzelner Posturographieergebnisse könnte eine derartige Verwendung der Posturographie eine attraktive Alternative darstellen.

Ein weiteres Anwendungsfeld der Posturographie sind Screening und Vorhersage von Erkrankungen und Störungen. So registrierten Diener und Dichgans (1988) bei nur 1/3 der Patienten mit chronischem Alkoholabusus *klinisch* cerebelläre Symptome, während *posturographisch* über 2/3 pathologisch auffielen. Andere Autoren nutzen die Posturographie zur Abschätzung der Fallneigung bei geriatrischen Patienten und beschrieben die Methode als wertvoll zum Screening nach klinisch stummen Patienten, beispielsweise bei alkoholbedingten Hirnschädigungen (Era und Heikkinen 1985, Straube et al. 1988, Teasdale et al. 1993).

Gleichgewichtsdefizite sind, zumindest bei Provokation oder Störung der afferenten Systeme, mit einem veränderten Schwankverhalten des Körpers behaftet. Eine besonders wichtige Rolle spielt daher die Beachtung der vielfältigen Untersuchungsbedingungen, die die Posturographie erlaubt. So kann der Patient auf einer dynamischen oder statischen KMP stehen, passiv durch Bewegung der Platten ausgelenkt werden oder aktiv besondere Haltungen einnehmen. Weiterhin ist es möglich, das visuelle, vestibuläre oder propriozeptive Afferenzsystem getrennt zu untersuchen, um die Posturographie diagnostisch anzuwenden. So sollen Schaumstoffunterlagen unter den Füßen die

Sensibilität der Fußsohlen reduzieren und die propriozeptiven Afferenzen durch die Bewegung der Sprunggelenke im Raum weniger verwertbar machen. Die Doppelinformation zwischen Sprunggelenksbewegung und Druckveränderung an den Fußsohlen wird weitgehend aufgehoben. Norre (1995) untersuchte speziell bei Patienten mit Gleichgewichtsstörungen den Einfluss des Stehens auf Schaumstoff mit offenen und geschlossenen Augen. Fand er bei Erkrankten während experimenteller Störung eines afferenten Systems posturographische Auffälligkeiten, sprach er von dessen kompensatorischer Dominanz für die Gleichgewichtskontrolle.

Zur Unterbindung von brauchbaren visuellen Afferenzen wird eine kabinenartige, gesichtsfeldgroße Platte entsprechend den Körperschwankungen mitbewegt, wodurch visuelle Hinweise zur Lage im Raum entfallen und die Irritabilität bzw. Kompensationsfähigkeit der verschiedenen afferenten Systeme überprüft wird (Goebel et al. 1997; Jauregui-Renaud, 1998). Scherer (1997) untersuchte die Kompensationsfähigkeit der afferenten Systeme durch Störung aller oder in bestimmten Kombinationen. Dabei fand er die stärkste Beeinträchtigung der Gleichgewichtskontrolle bei Störung folgender Inputsysteme (in abnehmender Stärke):

- propriozeptiv-visuell-vestibulär
- propriozeptiv-visuell
- propriozeptiv
- visuell-vestibulär

Daraus wird die prominente Stellung der Propriozeption erkennbar. Ihre Störung beeinträchtigt die Standstabilität auf dem Posturometer stärker als die Störung von visuellem und vestibulärem Input zusammen.

1.2 Literaturüberblick und theoretische Grundlagen zum Begriff Koordination

„Unter Coordination verstehen wir die Fähigkeit des Organismus, mit Hilfe der Muskelfaser solche äusseren Effekte hervorzubringen, die einen bestimmten Zweck oder eine an sie gerichtete Aufgabe erfüllen, und diesen Effekt mit möglichst geringem Aufwand zu erreichen“ (Foerster 1902). Mit diesem frühen Versuch der Definition des Koordinationsbegriffs gelang Foerster zu Beginn des 20. Jahrhunderts ein recht umfassender Entwurf in der Beschreibung dessen, was unter Koordination zu verstehen sei.

Präziser in der Beschreibung der funktionellen Aspekte sind Froböse und Nellesen, indem sie Bedingungen formulieren, nach denen die Qualität der Koordination zu beurteilen sei, jedoch ohne näher auf die an der Funktion beteiligten Strukturen einzugehen. Für sie ist Koordination die „Fähigkeit des Einzelnen, schnelle und unbewusste Bewegungshandlungen *ohne Verlust der Gelenkstabilität oder Körperbalance zielgerichtet und sicher* auszuführen (Froböse und Nellesen, 1998).

Stärker ergebnisbezogen wird die Koordination als die „genaue Abstimmung synergistischer, agonistischer und antagonistischer Muskelinnervation“ durch Hinrichs (1999) beschrieben.

Übereinstimmend sehen mehrere Autoren die Fähigkeit zur Balance, die Gleichgewichtskontrolle, als Teilgebiet der koordinativen Fähigkeiten (Wilke und Froböse 1998) bzw. der Haltungskontrolle (Rasev 1999). Diese Einschätzung ist bedeutend hinsichtlich der vorliegenden Untersuchung, bei der stellvertretend für den Gesamtbereich der koordinativen Fähigkeiten die Gleichgewichts- und Haltungskontrolle im Verlauf einer Trainingstherapie posturographisch untersucht wird. Führte man früher den Rückenschmerz allein auf hypotrophe Muskulatur zurück und behandelte mittels Krafttraining, weiß man heute um die zumindest gleichrangige Rolle der Koordination. So wurde in einer Studie zum Rückenschmerz unter dem Gesichtspunkt der Koordination der Ist-Zustand beurteilt. Im Ergebnis stellen die Autoren fest, dass (Körper-) Haltung weniger ein Problem der Muskelkraft ist, sondern vielmehr die Veränderungen in der Koordination der Muskeln hervorzuheben sind (Bittmann/Badtke 1999). Dem stimmt auch Gröber zu, wenn er formuliert, Haltung bestehe nur zu einem bestimmten Anteil aus den kapazitiven

Fähigkeiten der posturalen Muskulatur, der größere Anteil der Haltung resultiert aus der Koordination, dem Körperbewusstsein und dem Verständnis um den Begriff „Haltung“ (Gröber 1999). Bekräftigt wird diese Feststellung durch den Hinweis, dass ein gut ausbalancierter Stand mit wenig oder gar keiner Muskelaktivität zu realisieren sein müsste (Janda 1983). Folgt man diesen Postulaten und untersucht den Energieverbrauch im Stehen, zeigt sich eine deutliche Erhöhung desselben bei schlecht ausgeglichener Körperhaltung im Vergleich mit gut ausbalanciertem Stand (Poland et al. 1981), so dass die zuvor genannten Aussagen gestützt werden.

Gegenwärtig wird die Koordination allgemein in Feedback- und damit fehlerorientierten Regelkreismodellen dargestellt, die auch als Closed-loop-Theorien bezeichnet werden. Grundlage der regulativen Leistung ist der ständige Vergleich von Ist- und Soll-Zustand. Dazu stehen den cerebralen Integrationszentren propriozeptive, vestibuläre und visuelle Afferenzen zur Verfügung, die mit den Efferenzkopien der Engramme verglichen werden und ggf. modifizierend auf die motorischen Programme einwirken.

1.2.1 Physiologische Aspekte der Koordination

Die Koordination der Motorik kann unter verschiedenen Aspekten betrachtet werden:

- zielgerichtet und ergebnisorientiert oder
- neuromuskulär.

Velé (1989) betrachtet die koordinativen Abläufe unter dem Blickwinkel ihres Ziels, dass darin besteht, Haltung und Bewegung zu ermöglichen, und postulierte 1989 zwei Hauptfunktionen der Motorik: die *posturale* und die *phasische* Funktion. Unter der *posturalen* Funktion versteht er die *Einnahme einer bestimmten Haltung zu einer gewissen Zeit*, wobei diese Haltung vor der Bewegung antizipatorisch eingestellt und während der Bewegung ständig kontrolliert und neu berechnet wird. Sie betrifft also die *Gelenkstellung nicht bewegter Segmente*, die so lange wie nötig und möglich fixiert werden. Macht sich eine Bewegung bislang gehaltener Segmente notwendig, beginnt die *phasische Funktion* der Motorik, d.h. die *Bewegung eines Segmentes oder des ganzen Körpers von A nach B in einer bestimmten Zeit* (Velé 1989).

Andere Autoren unterscheiden sinngemäß ein „motor move system“ (Zielmotorik) und ein

„motor hold system“ (Stützmotorik) (Silbernagl und Despopoulos 1991) bzw. unter dem Aspekt der Gleichgewichtskontrolle posturale Balance und dynamische Balance (Wilke und Froböse 1998).

Aus neuromuskulärer Sicht kann man sich dem Begriff der Koordination semantisch nähern. Koordination ist von dem Lateinischen „cum ordo“ abgeleitet und bedeutet „nach bestimmter Ordnung“. Darunter versteht man, dass sowohl Reihenfolge als auch Intensität eines Geschehens gesteuert werden. Unter dem neuromuskulären Blickwinkel ist der Gegenstand der Steuerung die Koordination der motorischen Leistungen. Steht innerhalb der neuromuskulären Sichtweise die Betrachtung der Innervationsmuster der Muskeln im Vordergrund, wird eine Einteilung in inter- und intramuskuläre Koordination vorgenommen (Sibbel 1999, Tittel 1999).

Das Afferenzsystem für Haltung und Gleichgewicht wird in ein peripheres und ein cerebrales unterteilt. Die zwei wesentlichen *cerebralen* Zuflüsse kommen aus Kleinhirn und Motokortex (Silbernagl und Despopoulos 1991). Weiterhin wurden drei wesentliche *periphere* Inputsysteme zur Regulation von Haltung und Gleichgewicht identifiziert:

1. das Vestibularsystem
2. das visuelle System
3. das propriozeptive System (Seifert 1999).

Diese drei peripheren Inputsysteme sind in unterschiedlichem Ausmaß an der Gleichgewichts- und Haltungsregulation beteiligt. Die teilweise differierenden Forschungsergebnisse zum Einfluss des jeweiligen Inputsystems auf die Standstabilität weisen auf das Vorhandensein einer individuellen Komponente hin. Führend scheint jedoch die Propriozeption zu sein, denn, so bemerkte De Witt schon 1972, könne durchaus ohne Vestibularorgan und Augenlicht Haltung und Gleichgewicht bewahrt werden, nicht jedoch ohne propriozeptive Afferenzen. In Untersuchungen zur Stärke des Einflusses von Propriozeption, Vestibularorgan und Visus stellte De Witt 1972 fest, dass die Stärke der einzelnen Einflüsse offenbar trainierbar und damit individuell ist und verweist darauf, dass bei erheblicher Störung oder Ausschaltung von visuellen und vestibulären Afferenzen keine Schwank- oder Fallneigung auftritt, wenn die betreffenden Personen propriozeptiv gut trainiert sind. Er verweist dabei auf Sportler, Tänzer und Patienten mit völligem Funktionsverlust beider Vestibularorgane.

Auf die führende Stellung der Propriozeption wurde schon hingewiesen. Sie wird gestützt

durch die Befunde von Nashner und Berthoz (1978), die zeigen konnten, dass unter normalen Umständen bei gesunden Probanden die Korrektur der Körperschwankungen mehr vom somatosensorischen als vom visuellen Input abhängig ist. Eine besondere und wichtige Stellung innerhalb der vielfältigen propriozeptiven Afferenzen scheint die Propriozeption im Halsbereich einzunehmen. Darauf weist Hülse hin, wenn er formuliert, dass die Propriozeption im oberen Halsbereich zur Raumorientierung und Gleichgewichtskontrolle eine ähnlich zentrale Stellung einnimmt wie die Afferenzen aus den Sprunggelenken und Fußsohlen, da sie als einzige Informationen über die Stellung des Kopfes zum Rumpf liefern (Hülse 1998). Mit ähnlicher Intention nennt Falkenau (1976) die Wirbelsäule - unter besonderem Hinweis auf die HWS mit ihren tonischen Halsreflexen - ein Gleichgewichtsorgan und zitiert Lewit, „der Mensch könne sein Gleichgewicht zwar ohne Labyrinth, nicht jedoch ohne propriozeptive Afferenzen [...] aufrechterhalten.“

Die Rezeptorstrukturen der drei Afferenzsysteme werden unterteilt in Interozeptoren und Exterozeptoren. Interozeptoren nehmen *mechanische Zustände im Inneren des Körpers* auf, Exterozeptoren nehmen *Informationen aus der Körperumwelt* wahr. Diese Afferenzen werden in einer ersten Integrationsebene in den Vestibulariskernen miteinander verschaltet (Hamann 1982, Wilke und Froböse 1998, Rasev 1999).

Zu den Exterozeptoren, deren Funktion es ist, Wahrnehmungen aus der Umwelt aufzunehmen, gehören die entsprechenden Strukturen des Vestibularorgans und des Visus. Aufgrund der Forschung nach den adäquaten Reizen konnte Kornhuber (1974) nachweisen, dass jede Kopfbewegung das Vestibularorgan erregt, während Lestienne et al. (1977) nachwies, dass das visuelle System durch Bewegung des Gesichtsfeldes stimuliert wird. Dem folgend wurde in jüngeren Untersuchungen ein Gesichtsfeldmodell am Kopf der Probanden befestigt, so dass durch die zwangsläufige Mitbewegung des künstlichen Gesichtsfeldes keine für die Koordination der Gleichgewichts- und Stellreaktionen verwertbare Afferenzbildung ermöglicht wird. Betrachtet man die Stellung von vestibulärem und visuellem System innerhalb der drei peripheren Afferenzsysteme, sind im Gegensatz zur oben erwähnten führenden Stellung der Propriozeption Wilke und Froböse der Meinung, dass das vestibuläre System bei aufrechten Bewegungen nahezu alle Afferenzen der anderen Systeme dominiere. Sie schlussfolgern weiter, dass das geläufige „propriozeptive Training“ daher in der Regel eine Schulung des vestibulären Systems sei (Wilke und Froböse, 1998). Da diese gegenteilige Aussage jüngeren Datums

ist, muss der weitere Verlauf der Forschung zur abschließenden Beurteilung abgewartet werden. Andere Autoren sind der Meinung, dass die einzelnen afferenten Systeme bei Störungen gezielt von der Integration ausgeschlossen bzw. die ungestörten Afferenzen bevorzugt werden und sprechen dann von der kompensatorischen Dominanz dieses Systems für die Gleichgewichtskontrolle (Norre 1995).

Zur Vervollständigung werden kurz die am afferenten Informationsfluss beteiligten Strukturen sowie die Entstehung modifizierter motorischer Programme im Literaturüberblick skizziert. Die motorischen Zentren des Hirnstammes zur Kontrolle der Stützmotorik (Nucleus ruber, Vestibulariskerne und Teile der *Formatio reticularis*) erhalten ihre peripheren Informationen vorwiegend aus propriozeptiven und vestibulären Zuflüssen, während die zentralen cerebralen Zuflüsse vorwiegend von Kleinhirn und Motokortex stammen. Die motorischen Zentren des Hirnstamms sind die Schaltstationen für die Halte- und Stellreflexe, deren Funktion es ist, die Körperhaltung und das Gleichgewicht (unwillkürlich) aufrechtzuerhalten. Dabei dienen die *Haltereflexe* der Tonusverteilung der Muskulatur und der Augenstellung, während die *Stellreflexe* dazu dienen, zunächst den Kopf (via Halsstellreflex, hauptsächlich den vestibulären Afferenzen folgend) und dann den Rumpf (vorwiegend den propriozeptiven Afferenzen folgend) in Normalstellung zu bringen. Zusätzlich beeinflusst werden diese Reflexe durch visuelle und oberflächensensible Afferenzen (Silbernagl und Despopoulos 1991). Dabei ist der Einfluss der Afferenzen und ihre mentale Präsenz nicht ständig gleich. Beide Punkte unterliegen der Beeinflussung durch ganz unterschiedliche Strukturen (diverse Rezeptoren, Rückenmark und höhere Ebenen des ZNS) und Einflussgrößen wie körperliche Belastung und Konzentration (Quante und Hille 1999)(Anatomie und Physiologie nach Schiebler und Schmidt, 1991, Silbernagl und Despopoulos, 1991, Stoll et al.1998). Die efferente Steuerung der Motorik erfolgt über den Motokortex, die Basalganglien, das pyramidale System, Thalamus, Kleinhirn, Hirnstamm und Rückenmark. Entsteht ein Bewegungsantrieb, fertigt der assoziative motorische Kortex (v.a. Area 6) einen Bewegungsentwurf an, nach dessen Bedürfnissen die motorischen (Stereotyp-) Programme aus Kleinhirn und Basalganglien „hochgeladen“ werden. Diese werden nun situationsgerecht modifiziert, indem in den motorischen Zentren adäquat zu den jeweiligen Afferenzen Programmänderungen eingearbeitet werden, bevor die Peripherie angesteuert wird. Das Kleinhirn integriert dazu die afferenten Informationen der Systeme, indem es unter Zuhilfenahme der Efferenzkopien einen Soll-Ist-Vergleich durchführt und situationsgerecht nachreguliert. Die

Innervation der Muskulatur wird dann entsprechend den inter- und intramuskulären Koordinationsverhältnissen vorgenommen. Die Darstellung der neurophysiologischen Abläufe erscheint hier nur ausschnittartig unter dem Verweis auf weiterführende Arbeiten von Nieuwenhuys (1988), Jankowska (1992), Schewe (1997) und Umphred (1997).

1.2.2 Die Bedeutung der Afferenzen für die koordinative Leistung bei Gleichgewichtskontrolle, Haltung und Bewegung

Gleichgewichtskontrolle ist die Fähigkeit, den Körper in Haltung und Bewegung unter Bezug auf die Schwerkraftrichtung im Gleichgewicht zu halten. Haltung ist die Fähigkeit, dem Körper mittels der Stellreflexe die Aufrechterhaltung bzw. durch Einstellung eines angepassten Muskeltonus eine bestimmte Stellung zu ermöglichen. Bewegung ist die Fähigkeit, Lageänderungen des Körpers oder seiner Körperteile in Raum und Zeit durchzuführen (Froböse und Nellesen, 1998).

Alle Körperhaltungen und –bewegungen beinhalten Gleichgewichtsaspekte. Stehen, Gehen und Laufen ebenso wie Hinsetzen oder Aufstehen (Bäumler und Schneider 1981). Die Gleichgewichtskontrolle ist somit die Voraussetzung für alle koordinativen Bewegungsmuster im Raum. Letztlich entstehen alle aktiven Bewegungen durch Veränderung von Gleichgewichtszuständen (Frohöse und Nellesen 1998). Die verminderte Effizienz der somatosensorischen Afferenz, z.B. durch *Muskelermüdung* oder *Änderungen der propriozeptiven Informationen oder ihrer Integration*, beeinträchtigt wahrscheinlich die Regelkreise der Haltungskontrolle (Postural Regulation Loop) (Lepers et al. 1997). Diese Hypothese wird unterstützt durch die Beobachtungen von Hortobagyi et al. 1991 und Nicol et al. 1996, die eine verringerte Stretch –Reflex –Sensitivität nach erschöpfendem Training fanden. Lepers et al. formulierten, dass die verringerte posturale Stabilität, die mit Haltungsschwankungen verbunden ist, ihre Ursache in reduzierter peripherer Sensitivität des visuellen, vestibulären oder propriozeptiven Systems bzw. in einer Störung der zentralen Integrationsmechanismen oder der Konfiguration des Systems der Haltungskontrolle haben kann (Lepers et al. 1997). Fest steht, dass eine Aufhebung des Kraftdefizits und eine Verbesserung der Beweglichkeit regelmäßig nicht ausreichen, um alltägliche Bewegungsfunktionen nach Verletzungen wieder herzustellen. Neben Kraft, Beweglichkeit und Ausdauer sind koordinative Fähigkeiten entscheidend (Wilke und Froböse 1998). Durch Traumata, Degeneration oder Immobilisation kommt es zu

Veränderungen am Bewegungsapparat mit der Folge einer Wahrnehmungsstörung im Sinne von Hypo- oder Hypersensibilität (Wilke und Froböse 1998) und zu Schädigungen der Propriozeptoren. Diese Schädigungen des sensomotorischen Apparates mit der Folge koordinativer Dysfunktionen können sowohl als pathogenetischer Faktor wie auch als Folge chronisch funktioneller (z.B. Rückenschmerzen) und später chronisch degenerativer Beschwerden gesehen werden.

Neben den allgemein anerkannten Koordinationsstörungen als Folge traumatischer, degenerativer oder anderweitiger Zerstörung von Rezeptorgewebe gibt es Theorien, die zentrale Mechanismen als Ursache hervorheben. Nur erwähnt werden sollen die *Mismatch-Theorie* (Mismatch-Theorie nach Brandt 1992), die Rolle der *veränderten Lebensbedingungen der modernen Zivilisation* (Rasev 1999), die Rolle der *Halspropriozeption* (Karnath 1994).

1.3 Rückenschmerz als Folge der Koordinationsdefizite

Viele Autoren betonen die übergeordnete Stellung der Rumpfmuskulatur zum Bewegen der Extremitäten (Froböse und Nellesen 1998; Broll-Zeitvogel et al. 1999). Diese Bewegungen werden als Stereotype bezeichnet. Bei vielen Patienten mit chronischem Rückenschmerz wurde eine *Störung dieser die Bewegung einleitenden Automatismen* festgestellt. So fand man, dass zum Anheben des Armes zunächst der M. transversus abdominis kontrahiert wird, was bei Rückenschmerzpatienten deutlich verzögert auftrat und als Defizit an neuromuskulärer Koordination interpretiert werden kann (Hodges und Richardson 1996).

Auch Rasev (1999) betont die Rolle der gestörten Koordination durch propriozeptive Beeinträchtigung und beschreibt eine in sich geschlossenen Genese dieser Störungen. Er beobachtete vermehrte Oszillationen und Schwankungen der Gelenke oder Körperregionen, die während einer Haltung oder Bewegung stabil sein bzw. fließend bewegt werden sollten. Die ursächliche Dysfunktion der Steuerung der Muskelspannung führt dabei zu einem schlechten Zusammenspiel der einzelnen Körpersegmente der unteren Extremität und des Rumpfes. Folgen dieser Funktionspathologien sind Muskelhyper- oder -hypotonien sowie schmerzfreie oder schmerzhafte Bewegungseinschränkungen. Oftmals sind dafür auch organische Veränderungen ursächlich, die

nach ihrer Abheilung *veränderte Steuermechanismen* zurücklassen. Mit den Veränderungen in der Reizbarkeit der Muskulatur entstehen die sogenannten muskulären Dysbalancen. Diese sind wiederum eine neue Quelle erhöhter Nozizeption. Dabei können schwerste und /oder schmerzhafteste Störungen der Motorik auftreten, die oft völlig ohne diagnostizierbare organische Veränderungen existieren, z.B. als *Rückenschmerz*. Diese Funktionspathologie bedeutet, dass die Muskelspannung in bestimmten Muskelgruppen für das Erreichen eines bestimmten Ziels unökonomisch gesteuert wird – durch unterschiedliche Exzitabilität und durch schlechte (inter- und intramuskuläre) Koordination (Rasev 1999). Dass Verletzungen eine Veränderung somatosensorischer und propriozeptiver Leistungen bewirken, konnte mittels elektromyographischer, elektroenzephalographischer und psychophysischer Untersuchungen gezeigt werden (Jerosch 1996, Lephart 1997, Quante und Hille 1999).

1.3.1 Epidemiologie und gesellschaftliche Folgen des Rückenschmerzes

Rückenleiden gehören in Mitteleuropa und Nordamerika zu den häufigsten Diagnosegruppen hinsichtlich Arbeitsunfähigkeit sowie Frühberentung und stellen einen erheblichen volkswirtschaftlichen Kostenfaktor dar (Broll-Zeitvogel et al. 1999). Die wirtschaftlichen Folgekosten der durch Rückenleiden verursachten 63 Mio. Arbeitsunfähigkeitstage in Deutschland im Jahr 1990 beliefen sich auf ca. 3,8 Mrd. DM (Matthias und Raspe 1997). In einer Überblicksstudie zur Epidemiologie des Rückenschmerzes wurde eine Lebenszeit –Prävalenz zwischen 51-84 % und eine Punkt-Prävalenz von 14-42 % ermittelt. Die höchste Prävalenz zeigte sich im Altersbereich 50-64 Jahre, wobei Frauen zum Zeitpunkt der Diagnosenstellung tendenziell älter und häufiger betroffen waren als Männer (Schochat und Jackel 1998).

Das biopsychosoziale Erklärungsmodell sieht die Ursache für Rückenschmerzen in den Wechselbeziehungen zwischen dem Alterungsprozess, akuten Schädigungen, beruflicher Belastung, allgemeinem Gesundheitszustand, physischer Fitness und psychosozialen Faktoren (Engel 1977; Elkeles 1994).

Als *Risikofaktoren für Rückenschmerz* gelten biologische Faktoren wie Erbgut, Größe, Alter und Geschlecht, dass wiederholte Heben schwerer Lasten in ungünstigen Körperhaltungen, spezifische mechanische Belastungen wie Autofahren und Vibrationen,

unzureichende muskuläre Fitness, Übergewicht, Zigarettenkonsum und strukturelle Veränderungen der Wirbelsäule wie Hyperlordosierung der Lendenwirbelsäule, Spondylolisthesis und Osteoporose, (Fritz 1990; Raspe 1991; Holmes 1992; Burns 1994). Ein weiterer Risikofaktor besteht in Koordinationsstörungen (Richardson und Jull 1995, Hodges und Richardson 1996, Riede 1995)

1.3.2 Rückenbeschwerden bei Pflegepersonal

Rückenbeschwerden sind auch in den Pflegeberufen anzutreffen. In einer cross-sectional study zur berufsspezifischen Prävalenzermittlung chronischer Rückenschmerzen bei Pflegekräften wurde der Beruf als wichtigster Risikofaktor identifiziert. In 4 von 5 Fällen war die Ursache der Rückenschmerzen als berufsbedingt anzusehen (Nubling et al. 1997). Die Hauptursache krankheitsbedingter Abwesenheit unter 1505 weiblichen Pflegekräften über 1 Jahr in großen Hospitälern in Paris stellten muskuloskeletale Beschwerden dar und betrafen 16 % der Mitarbeiterinnen. 47 % beschrieben Rückenschmerzen, 28 % benötigten Behandlung. Es wurden 3 Risikofaktoren zur Charakterisierung der Haltung während der Arbeit ermittelt: Stehen über mehr als 6 Stunden, Rückenbeugung mehr als 10 mal pro Stunde und das gehäufte Einnehmen unkonfortabler Haltungen (Estry-Behar et al. 1990). Allerdings weist Riede (1995) darauf hin, dass sich kein neues pathologisch-anatomisches Substrat des Rückenschmerzes finden lässt, sondern ein neues Verhalten, veränderte Reaktionen und Bewältigungsstrategien im Umgang mit Rückenschmerz auf der Patientenseite sowie das längere und frühzeitigere Arbeitsunfähigkeitsschreiben durch westliche Mediziner.

1.4 Präventions- und Therapiestrategien bei Rückenschmerzen

1.4.1 Forschungsstand und besondere Aspekte von Therapie und Prävention

Prinzipiell stehen zur Rückenschmerztherapie und Prävention mehrere Strategien zur Auswahl, die Schmerz reduzieren sowie die Bewegung ökonomisieren sollen und allein oder in Kombination angewandt werden:

- medikamentös-analgetisch und antiphlogistische Therapie
- Manuelle Therapie
- Verfahren zur psychischen Stabilisierung und Schmerzverarbeitung
- physikalisch-balneologische Massnahmen incl. Elektro-und Hydrotherapie

- physiotherapeutische Behandlung incl. der Techniken auf neurophysiologischer Basis
- Verhaltensschulung (Rückenschule)
- Medizinische Trainingstherapie und erweitertes Muskelkrafttraining
- temporärer Einsatz externer Stabilisatoren (Orthesen)
- Schulung der Propriozeption und Koordination (bis hierher gering modifiziert nach Broll-Zeitvogel 1999)
- Aerobic- und Stretching –Übungen (Praxis-Depesche 5/2000, S. 36, (UB)
- TENS, PENS (Transkutane bzw. Perkutane Elektrische Nerven-Stimulation) und Akupunktur (Ghonomie et al. 1999)

1.4.2 Koordinationstraining im Spacecurl

Ziel eines koordinativ orientierten Trainings sollte u. a. die *Aktivierung propriozeptiver Mechanismen* (Wilke und Froböse 1998) und die *Schulung motorischer Abläufe* sein (Quante und Hille 1999). In diesem Sinne trainierend wirken alle Übungen, für deren Gelingen die ständige Regulation motorischer Aktivitäten durch wechselnde afferente Signale nötig ist (Quante und Hille 1999). Dieser Forderung entspricht das Spacecurltraining. Dass auch die *Nozizeption* positiv beeinflusst werden soll, betont Rasev: „Dyskoordination mit Muskeldysbalancen bei funktionell bedingter Nozizeption kann man in der neuroorthopädischen Rehabilitation durch gezielte Veränderung der Afferenz mit Erfolg behandeln.“ So könne z.B. das Training mit dem „Spacecurl“ die posturale Umprogrammierung begünstigen (Rasev 1999).

Ziel eines die Koordination verbessernden Trainings ist die Verbesserung der Informationsaufnahme und –verarbeitung und deren Umsetzung in Bewegungshandlungen auf einer stabilen Basis und unter ständiger Kontrolle. Endziel ist eine „gute Koordination“, definiert als Fähigkeit des Einzelnen, schnelle und unbewusste Bewegungsänderungen ohne Verlust der Gelenkstabilität oder Körperbalance zielgerichtet und sicher auszuführen (Wilke und Froböse 1998). Die Gleichgewichtskontrolle gehöre dabei zu den Grundelementen der Bewegung.

Training soll als zielgerichteter, planvoller und systematischer Vorgang durchgeführt werden. Voraussetzung für das Erzielen von Trainingseffekten ist gemäß der Trainingslehre ein überschwelliger Reiz, der zur Störung der Homöostase führt und damit

eine Superkompensation in Gang setzt. Das Prinzip der Superkompensation ist ein übergeordnetes Prinzip in der Trainingswissenschaft, es drückt die Grundlagen biologischer Adaptationsvorgänge aus. Die durch Training initiierten Anpassungen des Organismus bestehen aus qualitativen und quantitativen Veränderungen der zur Energiebereitstellung benötigten Substrate, Veränderungen der muskulären Enzymmuster sowie morphologischen und elektrophysiologischen Anpassungen (Broll-Zeitvogel 1999). Im Ergebnis wird durch den überschwelligen Reiz eine bessere Anpassung an Belastungen erreicht.

Das Prinzip der dynamischen Stabilität, also einer nicht steifen Haltung während des Trainings, ist mit zweidimensionalen Trainingsgeräten kaum zu vermitteln. Außerdem fördern gängige Trainingsgeräte vorwiegend den Kraftaufbau und nicht die Gesamtkörperkoordination. Unter der Voraussetzung, dass während des Trainings die aufrechte Körperhaltung beibehalten wird und Bewegungen als Auslösung oder Reaktion nur innerhalb der Bandbreite adäquater Stellreaktionen vorkommen, wird das posturale System mit dem Training im Spacecurl direkt und physiologisch einem überschwelligen Reiz ausgesetzt. Adaption an und Umgang mit diesem Stress stellen das Training dar. Die Vorteile dieses Trainings sind :

- *Physiologische Trainingshaltung*: aufrecht, Reaktions- und Auslösebewegungen mit kurzen Wegen
- *Multidimensionale Belastung*: ständig wechselnde Belastungs- und Reaktionsrichtungen mit kurzweiligen Hebelausschlägen auf der Basis einer statischen Grundstabilität
- *Hoher koordinativer Anspruch*: durch direkte Verbindung von Reiz und Gleichgewichtsreaktion in drei Dimensionen, rascher Folge und außerhalb der sonst üblichen Orthogonalität
- *Training der posturalen Muskulatur* sowie der Koordination der Stellreaktionen durch Ausschaltung der Schultergürtelmuskulatur mittels Fixation im Becken, die auch eine Konzentration auf die Rumpf-, Becken- und Beinmuskulatur zulässt
- *Geringe Verletzungsgefahr* stark instabiler Patienten durch die Beckenfixation, die Dosiermöglichkeiten und die Trägheit des Systems (Ring-Ruhemasse ca. 200 kg)
- *Gute Dosiermöglichkeiten* durch Sperren der Mitbewegung einzelner Ringe sowie durch Höhenverstellung der Standardplattform und damit des Schwerpunktes zur Simulation stabiler (max. Anforderung an die Kraft) bis instabiler

Situationen (max. Anforderung an die Koordination) (Gröber 1999).

1.4.3 Praktische Verhaltenspräventionsschulung

Die durchgeführte Verhaltenspräventionsschulung besteht aus der Vermittlung von Inhalten aus dem Bereich der Kinästhetik und aus Rückenschulelementen. Kinästhetik ist ein Begriff für Bewegungsempfindung und wird von Hatch und Maietta als Eigenname für die von ihnen entwickelte Pflegemethode benutzt (Hatch und Maietta 1994). Ziel dieser Methode ist es, als gleichzeitige Pflege- und Therapietechnik durch die Sensibilisierung für das eigene Bewegungsempfinden zur verbesserten Pflegekompetenz der Pflegenden beizutragen, aber auch gleichzeitig zu vermitteln, wie die Körperwahrnehmung der Patienten zu schulen ist. Dabei ermöglicht es die Anwendung kinästhetischer Grundsätze zum einen, dass der Pflegende kraftsparend und rückschonend arbeitet und zum anderen dem Gepflegten, sich selbst besser wahrzunehmen und die vorhandene Beweglichkeit erschöpfend auszunutzen. Aspekte kinästhetischer Programme sind:

- Kommunikation durch Berührung und Bewegung
- Rolle von Bewegung und Empfindung in der Wahrnehmung, Bewusstwerdung von grundlegenden Bewegungsmuster
- Beachtung der Voraussetzungen für Bewegung: funktionale Anatomie, Bewegung und Funktion, Anstrengung , Umgebungsgestaltung, Interaktion und Kognition (Hatch und Maietta 1994).

Die Kinästhetik dient im Kurs vornehmlich dazu, die Probanden, die ja gleichzeitig Pflegekräfte sind, für die Wahrnehmung der Bewegungen ihres Körpers zu sensibilisieren, um ihnen dann gewinnbringend die rückengerechteren Verhaltensweisen vermitteln zu können.

Ein weiterer Bestandteil des Verhaltenspräventionskurses sind Rückenschulelemente. Rückenschulen sind Trainingsprogramme zur Schulung wirbelsäulenfreundlicher Bewegungsabläufe mit dem Ziel der Prävention degenerativer Wirbelsäulenerkrankungen (Lühmann, Kohlmann, Raspe 1998). Moderne Rückenschulprogramme zur Prävention und Rehabilitation umfassen daher Information und Schulung der Betroffenen auf motorischer, emotional-affektiver, kognitiver und sozialer Ebene, um Kompetenz für einen eigenverantwortlichen Umgang mit dem Körper zu entwickeln. Daher sind Informationen und Gruppengespräche, kleine Spiele, Bewegungslernen, Aktivitäten des täglichen

Lebens, funktionelle Gymnastik und Entspannungsverfahren sinnvolle Elemente solcher Programme (Kempf, 1996; Kempf, 2000).

Vischer und Oliveri untersuchten 1996 die Wirksamkeit von Interventionen mittels Durchführung von Rückenschulprogrammen. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Prävalenz und die Bedeutung von Rückenbeschwerden sinkt, der Behandlungsbedarf reduziert wird und die Absolventen sich aktiver mit ihren Beschwerden auseinandersetzen. Als besonders effizient erwies sich die Kombination der Rückenschule mit einer Trainingsintervention bei einer Gruppe von Krankenhausangestellten. Im Hinblick auf die Wirkungsdauer kommen Keel et al. zu dem Schluss, dass die langfristige Effizienz der meisten Behandlungsmethoden gering ist. Nur wenige Verfahren zeigen bei Nachuntersuchungen nach längeren Intervallen (z. B. nach mindestens einem Jahr) bessere Ergebnisse, als der natürliche Verlauf (Keel et al. 1996). Eine Metaanalyse von Maier-Riehle und Härter 1996, in die 18 Studien eingingen, bekräftigte diese Feststellung. Die Autoren ermittelten, dass alle gefundenen Effekte nur bis zu einem Jahr nachweisbar waren. Die Ergebnisse hinsichtlich der Sekundärpräventionen fielen ebenso aus (Schlapbach 1991). Andere Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass die Effektivität der Rückenschulen, trotz einiger positiver Berichte, nicht belegt ist (Cohen et al. 1994).

Zusammengefasst wird der Kenntnisstand hinsichtlich der Wirksamkeit von Rückenschulprogrammen durch die Empfehlungen der folgenden fünf Expertengruppen:

1. Quebec Task Force on Spinal Disorders (QTF)
2. Agency for Health Care Policy and Research (AHCPR)
3. United States Preventive Task Force
4. Royal College of General Practitioners
5. Institut für Sozialmedizin der Universität Lübeck

Sie formulieren, dass die Wirksamkeit am ehesten als gesichert gelten kann für:

1. Programme, die im Betrieb und arbeitsplatznah durchgeführt werden
2. Programme, die eine intensive Schulung beinhalten, wobei die Intensität steigt mit:
 - der Dauer der Schulung und
 - dem Einsatz didaktischer Maßnahmen zur Verhaltensänderung und Stabilisierung.

Als ungesichert gilt die Wirksamkeit bei Rückenschulen, die außerhalb der Arbeitsumgebung durchgeführt werden und bei Rückenschulen, die bei akuten und

subakuten Beschwerden Anwendung finden. Bei chronischen Rückenschmerzen scheint die Wirksamkeit besser zu sein, was der erhöhten Motivation chronischer Schmerzpatienten geschuldet sein könnte.

2 ZIELSTELLUNG

In der hier vorliegenden Arbeit soll innerhalb einer über zwei Jahre durchgeführten experimentellen, randomisierten und kontrollierten Studie untersucht werden, inwieweit sich die Posturographie zur Verlaufskontrolle der Variable Standstabilität eignet, die Ausdruck der Gesamtkörperkoordination ist, und welche der drei Präventionsstrategien

1. Koordinationstraining mit dem Spacecurl,
 2. Verhaltenspräventionsschulung sowie
 3. Koordinationstraining im Spacecurl mit zusätzlicher Verhaltenspräventionsschulung
- Veränderungen der Standstabilität bewirken. Die erwartete Veränderung der Gesamtkörperkoordination wird posturographisch erfasst.

Weiterhin wird der Einfluss sogenannter Moderatorvariablen (Geschlecht, Alter, Gewicht) in Hinsicht auf den Erfolg der MTT untersucht. Es wird erwartet, dass Individualgrößen wie Alter und Gewicht Einfluss auf die posturographischen Ergebnisse haben.

Innerhalb der Gesamtstudie wurde unterstellt, dass

- 1) ein Teil der rezidivierenden oder chronischen Rückenschmerzen durch fehlerhaft veränderte Koordination verursacht wird, sei sie *afferent* (vestibulär, visuell oder somatosensorisch), *zentral* (Störung der Integration der Afferenzen oder der motorischen Programme) oder *muskulär* (muskuläre Hypotrophie, intramuskuläre Dyskoordination) bedingt, und dass diese Koordinationsstörung als gestörte Standstabilität posturographisch erfassbar ist
- 2) durch Spacecurltraining eine Verbesserung der Koordination erreicht werden kann, indem durch vermehrtes Erzeugen sensorischer Afferenzen eine Stimulation der zentralen Integration dieser Afferenzen in die motorischen Programme und die somit verbesserte Qualität des motorischen Outputs koordinationssteigernd wirkt,
- 3) die Verbesserung der Standstabilität als Funktion der Gesamtkörperkoordination posturographisch erfassbar ist.

In der vorliegenden Arbeit stehen die posturographischen Aspekte der erwarteten koordinativen Veränderungen im Vordergrund des Interesses.

3 MATERIAL UND METHODEN

Die vorliegende Untersuchung ist ein Bestandteil der randomisierten, kontrollierten, zweijährigen Studie über „Koordinationsschulung zur Sekundärprävention chronischer Rückenschmerzen mit dem Spacecurl“(Schwesig 2001).

3.1 Allgemeines Studiendesign und Untersuchungsablauf

104 Krankenschwestern und Pfleger mit chronisch rezidivierenden Rückenschmerzen konnten zur Teilnahme an der Untersuchung gewonnen werden.

Diese 104 Probanden sind, mit Ausnahme der Gruppe **V** (wurde aus Teilnehmern kürzlich stattgefundener Verhaltenspräventionskurse rekrutiert), randomisiert den Gruppen **T**, **T+V** und **K** zugewiesen und damit unterschiedlichen Präventionsstrategien unterzogen worden: Die Trainingsgruppe (n = 52) wurde unterteilt in:

Gruppe **T**: Trainingsgruppe, erhielt ein 12-wöchiges Koordinationstraining auf dem Dreiaxstrainer „SPACECURL“ , n = 22

Gruppe **T+V**: Trainings- und Verhaltenspräventionsgruppe, erhielt zusätzlich zum 12-wöchigen Koordinationstraining eine verhaltenspräventive Schulung zum Thema „Kinästhetik, rückengerechter Patiententransfer und Rückenschule“, n = 30

Die Nicht-Trainingsgruppe (n = 52) besteht aus der

Gruppe **V**: Verhaltenspräventionsgruppe, nahm nur an den Schulungen zur Verhaltensprävention teil, n= 23, und

Gruppe **K**: Kontrollgruppe, ohne Koordinationstraining bzw. Verhaltenspräventionsschulung, n = 29.

Eine Sondergruppe bildete die

Gruppe **M**: Muskelfunktionsdiagnostikgruppe aus Probanden der Gruppen **T** und **T+V**, bei denen zusätzlich Muskelfunktionsdiagnostik nach Prof. Janda durchgeführt wurde, n = 9.

Zum Studieneintritt (=Messzeitpunkt 1) unterzogen sich die Probanden zunächst

1. einer Fragebogenuntersuchung zur Erfassung der demografischen Daten, der Rückenschmerzen, der sportlichen Aktivitäten sowie der Lebensqualität

2. einer anthropometrischen Datenerfassung (Größe, Gewicht, Bauchumfang),
3. einem posturographischen Test zur Erfassung der Gleichgewichtskontrolle als Ausdruck der individuellen koordinativen Fähigkeiten zum Studieneintritt (gleichzeitig Messzeitpunkt 1 der Untersuchung),
4. einem sportmotorischen Eingangstest im SPACECURL (Eignungstest: selbständige Einnahme einer Ganzkörperkipfung um 90°, von allen bestanden) sowie
5. einer EMG-Untersuchung der Brust- und Bauchmuskulatur.

Nachfolgend absolvierten die Gruppen **T** und **T+V** ein 36 Trainingseinheiten beinhaltendes Trainingsprogramm im SPACECURL, wobei die Gruppe **T+V** (Training + Verhaltenspräventionskurs) ebenso wie die nicht trainierende Gruppe **V** (nur Verhaltenspräventionskurs) eine verhaltenspräventiv ausgerichtete Schulung zum Thema „Kinästhetik und rückengerechter Patiententransfer“ besuchten.

Die posturographischen Messungen wurden zu vier Messzeitpunkten (MZP) vorgenommen. Die erste Messung fand vor Beginn der einzelnen Interventionen statt. Messung 1B (MZP 1B) fand nach der 6. Trainingseinheit statt. Eine zweite Messung wurde nach Absolvierung aller 36 Trainingseinheiten durchgeführt. Die letzte Messung schloss sich 3 Monate nach Trainingsende (MZP 3) an. Dazu fanden zur Beurteilung der koordinativen Fähigkeiten folgende Untersuchungen statt:

1. Messung der Gleichgewichtskontrolle mittels Posturometer zur objektiven Beurteilung
2. Muskelfunktionsdiagnostik nach Janda (nur Gruppe **M**)
3. EMG – Untersuchungen der Bauch- und Rückenmuskulatur

Die posturographisch ermittelten Daten wurden im zugehörigen Programm („TETRAX“) ausgewertet und zu weiteren Berechnungen in das Statistikprogramm „SPSS“ (Version 9.0) überführt.

3.2 Probanden

An der Untersuchung nahmen 104 Mitarbeiter des Pflegedienstes teil, die mit Ausnahme der Verhaltenspräventionsgruppe (Gruppe V) randomisiert einzelnen Präventionsstrategien zugeordnet wurden. 11 Teilnehmer (12 %) waren männlichen Geschlechts. Vier Probandinnen brachen die Teilnahme frühzeitig wegen Schwangerschaft o.ä. ab. Ihre Plätze konnten neu besetzt werden. Das Alter der Teilnehmer betrug zwischen 20 und 59 Jahren, der Mittelwert lag bei 35,1 Jahren. Das durchschnittliche Körpergewicht lag bei 66,5 kg. Folgende Einschlusskriterien wurden vor Untersuchungsbeginn festgelegt und unverändert beibehalten:

1. Rezidivierende Rückenschmerzen in den letzten Jahren
2. Rückenschmerzfreies Intervall zum Zeitpunkt des Untersuchungsbeginns
3. MitarbeiterIn des Pflegedienstes
4. arbeitsfähig gesund
5. Freiwillige Teilnahme und schriftliche Einverständniserklärung
6. Körpergröße zwischen 135-195 cm, max. Gewicht 120 kg (limitiert durch SPACECURL)

Ausschlusskriterien:

1. Rückenschmerzen zum Zeitpunkt des Untersuchungsbeginns
2. Akute Rehabilitationsphase nach Bandscheibenvorfall
3. Neigung zu Schwindelanfällen
4. bekanntes Aortenaneurysma
5. Schwangerschaft
6. Chronische Erkrankungen und Erkrankungen des Stütz- und Bewegungsapparates
7. Stattgehabte Operationen innerhalb der vorhergehenden 4 Monate

Mit Ausnahme der Verhaltenspräventionsgruppe (Gruppe V) wurden alle Probanden randomisiert den verschiedenen Präventionsstrategien zugeteilt. Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte mit Hilfe des Programms SPSS, Version 9.0, durch folgendes Verfahren: Aus 75 Probanden erfolgte zunächst die Bestimmung einer ersten Gruppe. Dazu wurde die Bernoulli-Verteilung mit $p = 1/3$ verwendet. Zur Aufteilung in die zwei weiteren Gruppen wurde noch einmal die zufällige Zuordnung durch die Bernoulli-Verteilung mit $p = 1/2$ angewendet. Die Prozedur erfolgte mehrfach mit zufälligen Startpunkten, um eine genaue Aufteilung auf die Gruppen zu erhalten. Dazu lieferte das Programm SPSS (Version 9.0) Pseudozufallszahlen.

3.3 Koordinationstraining im SPACECURL

3.3.1 Funktionsweise des SPACECURL



Abb. 1: Spacecurl

Die Bewegungsmöglichkeiten im Spacecurl beruhen auf dem seit dem Altertum bekannten Prinzip der kardanischen Aufhängung. In Deutschland entwickelten Wissenschaftler darauf aufbauend ein dreidimensionales Trainingsgerät. Dabei ermöglichen drei ineinander aufgehängte Ringe einer im innersten Ring an Füßen und Becken befestigten Person eine dreidimensionale Bewegung. Zunächst wurden damit Kampfflieger der US Air Force auf ihre Einsätze (z. B. Sturzflüge) vorbereitet. Noch heute nutzt die NASA ein solches Gerät zur Körper- und Koordinationsschulung ihrer Astronauten, bevor diese im Schwerelosigkeitssimulator trainieren dürfen. Derzeit ist der Spacecurl das einzige dreidimensionale Trainingsgerät, das sowohl im Rehabilitations- als auch im Fitnessbereich eingesetzt werden kann. Das Gerät ist TÜV-zertifiziert. Hersteller ist die Firma Physiobörse.

3.3.2 Trainingsprinzip (Prinzipielle SPACECURL-Wirkung)

Während bei herkömmlichen Trainingsverfahren vielfach mit hohen Belastungen (z.B. Zusatzgewichten) bzw. mit großen Bewegungsamplituden (z.B. sit-ups mit fixierten Beinen) trainiert wird, um trainingswirksame, d.h. überschwellige Reize zu erzielen, ist dies beim SPACECURL nicht nötig. Die Rumpfmuskulatur wird im SPACECURL funktionell trainiert, indem sie zum *ständigen Ausgleich dauernd wechselnder Belastungen aus unterschiedlichen Richtungen mit kleinen Amplituden und kurzen Bewegungswegen* gezwungen wird. Durch die ständig wechselnde Lage des Probanden im Raum entsteht der Reiz, auf Richtungs- und Geschwindigkeitsänderungen schnell und präzise zu reagieren. Das entspricht den *physiologischen* Anforderungen des Alltags, z.B. beim Gehen über unebenen Boden oder beim Stehen im fahrenden Bus. Damit erfüllt der SPACECURL eines der fundamentalsten Trainingsprinzipien, das *Prinzip der funktionellen Anpassung*, wobei die Reize des SPACECURL (Auslenkung des Körpers aus der Vertikalen) die Anpassung der Struktur (Rumpfmuskulatur) durch Ausüben ihrer physiologischen Funktion herausfordern.

3.3.3 Trainingsmethode (Spezielle Anwendung des SPACECURL-Prinzips)

Die Möglichkeit des SPACECURL-Prinzips, den Körper in jede gewünschte Achse zu drehen, erfordert geradezu den Einsatz der gesamten Rumpfmuskulatur, um den ständigen schwerkraftabhängigen Richtungsänderung entgegenzuwirken. Der „*Herausforderung des Systems*“ als trainingsmethodisches Prinzip entspricht die dreidimensionale Bewegungsausführung, die für den Probanden einen vor allem qualitativ überschwelligen Reiz darstellt. Selbstverständlich stehen wir dem Probanden begleitend zur Seite und geben entsprechende Hinweise, wann immer es gewünscht wird (z. B. Einweisung, Stellen von Bewegungsaufgaben) oder erforderlich ist (z.B. Haltungskorrektur).

Die Anforderungen innerhalb der methodischen Übungsreihe wurden entsprechend dem *Trainingsprinzip der Individualisierung* je nach Leistungsvermögen gesteigert. Das Training kann prinzipiell in zwei Varianten durchgeführt werden. Entweder derart, dass der Trainierende selbst unter Einsatz der Rumpfmuskulatur und der unterschiedlichen Belastung seiner Fußsohlen (Förderung der propriozeptiven Fähigkeiten) aktiv seinen Körperschwerpunkt verlagert, um Bewegungen des Gerätes auszulösen oder zu beenden. Oder es initiiert eine Hilfsperson von außen Bewegungen, die plötzlichen Richtungs- und Geschwindigkeitsänderungen entsprechen und auf die schnell und präzise mit einer Haltungskorrektur reagiert werden muss.

3.3.4 Trainingsprogramm des SPACECURL

Das Training, ein bis zwei Mal pro Woche, gliederte sich in eine Aufwärmphase, die anschließende Trainingsphase und eine abschließende Lockerungsphase. In der Aufwärmphase wurde der Körper mit dem Fahrradergometer über 5 –7 Minuten auf die Belastung vorbereitet. Daran schloss sich das eigentliche Spacecurltraining über 15 Minuten an. Nach Trainingsende erfolgten über 5-7 Minuten Dehnungs- und Mobilisationsübungen.

Zum eigentlichen Spacecurltraining wird der Proband an Füßen und Becken im innersten der drei Ringe befestigt. Die Arme befinden sich verschränkt vor dem Körper, um die Trainingswirksamkeit für die Rumpfmuskulatur durch die Ausschaltung der Schulter-Arm-Muskulatur zu erhöhen. Zusätzlich wird der Trainierende aufgefordert, den Rumpf durch eine (isometrische) Anspannung der Rumpfmuskulatur (Aufbau von Körperspannung!) möglichst lotgerecht zu halten. Beide Instruktionen sollen dem Probanden einerseits zu einem verbesserten Körpergefühl verhelfen, indem er zum Aufbau von Körperspannung angehalten wird und ihn andererseits anregen, die Muskulatur gezielt zur Bewegungssteuerung einzusetzen. Denn es handelte sich bei den Probanden mehrheitlich um Personen, die zum Studieneintritt keinen oder nur geringen sportlichen Aktivitäten nachgingen und daher an das Training entsprechend herangeführt werden mussten. Während des 15-minütigen Trainings erfolgte die Absolvierung einer methodischen Übungsreihe.

3.4 Verhaltenspräventionsschulung

3.4.1 Allgemeine Aspekte

Unter der Zielstellung, die Veränderungen der posturalen Stabilität durch Koordinationstraining u.a. mit den Auswirkungen verhaltenspräventiver Wissensvermittlung und Praxisübungen zu vergleichen, wählten wir das Kombinationsprogramm „Kinästhetik und Rückengerechter Patiententransfer“, dass auf eine seit Jahren durch die universitären Physiotherapeuten durchgeführte Weiterbildungsveranstaltung zurückgeht. Diese Veranstaltung findet als Doppelkurs über 2 x 4 Stunden statt. Teilnehmer sind Probanden der Gruppen T+V sowie V (SPACECURL-Training mit Verhaltenspräventionsschulung bzw. nur Verhaltenspräventionsschulung).

Bestandteil des 1. Kursabschnittes ist die Vermittlung der Grundlagen des Rückengerechten Patiententransfers sowie der Kinästhetik. Dazu wurden Elemente der Rückenschule und der Kinästhetik zugeschnitten auf die alltäglichen beruflichen Anforderungen des Pflegepersonals. Zur anschaulichen Vermittlung werden Kurzvorträge, praktische Beispiele, Selbsterfahrungssequenzen und die bildliche Darstellung mittels Overhead-Projektion angewandt. Diese Kursphase ist vorwiegend theoretisch orientierend. Dagegen wird im 2. Kursabschnitt, aufbauend auf die erworbene Theorie aus Phase 1, die Anwendung des Erlernten geübt. Im wechselnden Rollenspiel trainieren die Teilnehmer rückschonendes und gleichzeitig patientengerechtes Verhalten miteinander.

3.4.2 Angewandte Methoden der Verhaltenspräventionsschulung

Die vorgestellten Arbeitstechniken sind nach kinästhetischen, orthopädischen und biomechanischen Gesichtspunkten pragmatisch ausgewählt worden. Sie lassen sich nicht unter dem Oberbegriff einer „Schule“ zusammenfassen, sondern sind eine Gruppe von Techniken und Prinzipien, die ein rückengerechtes Arbeiten unterstützen sollen. Die Prinzipien des Rückengerechten Patiententransfers sind im einzelnen folgende:

1. Ergonomisch planen: bei allen Tätigkeiten mit einer hohen körperlichen Belastung, muss durch geschickte Gestaltung des Arbeitsablaufs die eigene Rückenbelastung reduziert werden
2. Sich günstig zum Patienten stellen: z.B. um das Bett herumgehen, den Nachtschrank beiseite schieben oder das Bett von der Wand abziehen trägt zur Rückenentlastung bei

3. Hilfsmittel benutzen: einfache, jedoch effiziente Hilfsmittel wie Stecklaken, Gleithilfen oder Lifter müssen bereitstehen und benutzt werden
4. Tragen vermeiden: Das Ziehen des Patienten auf einem Laken ist weniger belastend als das Tragen des Patienten (ungünstige Körperhaltung)
5. Reibung reduzieren: der Patient wird durch den geschickten Einsatz von Laken, Gleitbrettern und Händen bewegt
6. Schwerpunkt verlagern: Durch geschicktes Einsetzen des eigenen Körpergewichtes und des eigenen Körperschwerpunktes Muskelkraft sparen, denn der größte Anteil der auf die Bandscheiben wirkenden Druckkräfte rührt von der eigenen Muskulatur her
7. Hebel benutzen: Hebel sparen Körperkraft. Beim Drehen eines Patienten können beispielsweise die angestellten Beine des Patienten als Hebel dienen.
8. Höhengefälle ausnutzen: Beim Überlagern eines Patienten kann die Schwerkraft zur Unterstützung der eigenen Körperkraft eingesetzt werden.
9. Schiefe Ebene einsetzen: Durch vorübergehendes Verstellen des Neigungswinkels des Krankenbettes kann der Patiententransfer unterstützt werden.
10. Den Patienten aktivieren: Wann immer es geht, soll der Patient zur Mithilfe aktiviert werden.

Ziel ist es, als gleichzeitige Pflege- und Therapiemethode durch die Sensibilisierung für das Bewegungsempfinden zur verbesserten Pflegekompetenz der Probanden beizutragen, aber auch gleichzeitig die Körperwahrnehmung der Patienten zu schulen. Wichtige kinästhetische Grundsätze sind:

1. Bewusstwerdung der eigenen, grundlegenden Bewegungsmuster
2. Kommunikation mit dem Patienten durch Berührung und Bewegung

3.5 Posturographie

3.5.1 Gerätebeschreibung

Ein Posturometer ist ein Gerät zur Erstellung von Haltungsanalysen stehender Personen. Das von uns verwendete Gerät TETRAX-INTERAKTIV BALANCE SYSTEM (IBS) der Firma NEURODATA WIEN-BERLIN ist ein Posturometer zur objektiven Messung der Druckschwankungen an den Fußsohlen einer stehenden Person. Dazu stehen die Füße auf Kraftmessplatten. Diese sind in 4 eigenständige Platten derart unterteilt, dass jede Ferse und jeder Vorfuß jeweils auf einer dieser Platten steht. Somit können die jeweiligen Druckschwankungen entsprechend ihrer Verteilung auf Ferse und Vorfuß beiderseits gemessen werden.

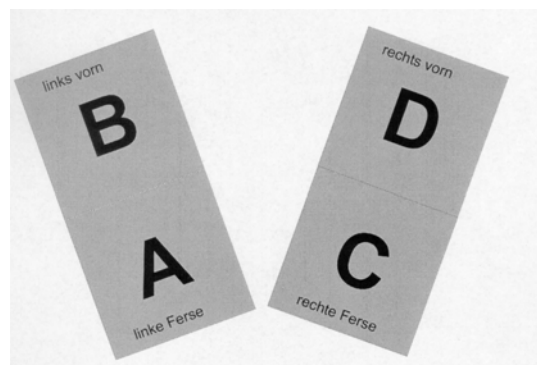


Abb. 2: Posturographische Versuchsanordnung; Anordnung der vier Fußplatten

Die Messung der Druckschwankungen basiert auf dem piezoelektrischen Effekt der entsprechenden Messstreifen, wobei Druckveränderungen als Widerstandsveränderungen elektronisch erfassbar gemacht werden. Zur Auswertung der damit ermittelten 152 Messergebnisse pro Messzeitpunkt steht mit dem TETRAX-Datenverarbeitungssystem ein umfangreiches Programm zur Verfügung. Es ermöglicht die Beurteilung folgender Parameter:

1. Stabilität
2. Synchronisation
3. Abschnittsweise Fourier-Analyse

4. Gewichtsverteilung

5. Muster der Druckverteilung in 8 Positionen

Die *Stabilität* ist definiert als Summe der Amplitudenänderungen dividiert durch das Körpergewicht und korreliert als Stabilitätsindex mit dem Parameter „Weg des Kraftschwerpunktes“ , „Length of Sway“, „Amount of Sway“ bzw. „Area of Sway“ bei anderen Systemen. Je größer dieser Wert ausfällt, umso instabiler ist die Gleichgewichtskontrolle des Probanden. Ist der Wert normal, obwohl die anderen Parameter Abweichungen von der Norm aufzeigen, ist dies ein Zeichen für die noch vorhandene Kompensationsfähigkeit des Patienten (NEURODATA, 1999).

Die vier unabhängigen Druckwellensignale der vier Platten können auch durch die sogenannte „*Synchronisation*“ miteinander verglichen werden. Dabei werden für je zwei Signale (z.B. Ferse vs. kontralateralen Vorfuß) der Parallel- oder Gegenverlauf mathematisch ermittelt. Synchronisation bedeutet dabei, dass untersucht wird, welcher Teil der Füße (Vorfuß oder Ferse) jeweils gemeinsam (synchron) belastet wird, um Aussagen über die pathologischen Gewichtsverteilungen treffen zu können.

Die Parameter Gewichtsverteilung (als Abweichung von je einem Viertel des Körpergewichts pro Platte) wie auch Synchronisation und die Darstellung der Gewichtsverteilung zwischen rechter und linker Ferse bzw. Vorfuß sind gerätespezifisch und ohne Entsprechung in der Literatur. Das Gerät wird seit 1995 in Mitteleuropa und Israel klinisch zur Beurteilung vestibulärer Funktionen, insbesondere der statischen Gleichgewichtsfähigkeit, zur Differentialdiagnose des Schwindels (z.B. zentrale vs. periphere vestibuläre Störung) sowie zur Unterscheidung zwischen Lernstörungen und Autismus vs. Deblität bei Kindern eingesetzt. Das Gerät eignet sich zum Einsatz bei Kindern ab dem 4. Lebensjahr.

3.5.2 Auswertung

Zur Auswertung diente die von der Herstellerfirma des Posturometers (NEURODATA WIEN-BERLIN) entwickelte Software „TETRAX“. Der jeweilige Krafteintrag pro Fußplatte wird piezoelektrisch gemessen und die daraus entstehende Druckverteilung auf den vier Platten lässt sich genau erfassen und zuordnen.

Die Intensität der Körperschwankungen wurde mittels Fourier-Analyse (disharmonische Schwingungen werden in die zugrunde liegenden Einzelschwingungen zerlegt) in acht typische Frequenzbereiche unterteilt, wobei einige der dabei entstehenden Muster typischerweise bestimmten Erkrankungen bzw. typischen Schädigungs-Lokalisationen entsprechen. Die Schwankmuster entstehen durch *übernormal häufig* vorkommende Schwankungen in bestimmten *Frequenzbereichen* im Vergleich zu Normalpopulationen oder Kontrollgruppen.

3.5.3 Posturographischer Messablauf

Die 1. Messung (Messzeitpunkt [MZP] 1) fand vor dem 1. Training bzw. Kurs statt, weiter nach dem 6. Training (MZP 1B), nur für die Muskelfunktionsdiagnostik-Gruppe zusätzlich nach dem 14. Training, dann nach Trainingsabschluss (MZP 2) sowie nach weiteren 3 Monaten (MZP 3).

Eine Messung dauerte maximal 10 Minuten. Sie war nicht invasiv. Es wurden jeweils 8 Messungen mit 13 Parametern je Proband und Messzeitpunkt durchgeführt. Diese 8 Messungen pro Messzeitpunkt gehen auf die unterschiedlichen Positionen zurück, die die Probanden einnehmen müssen:

NO = Augen offen, Kopf gerade

NC = Augen geschlossen, Kopf gerade

PO = Augen offen, Kopf gerade, auf Schaumstoffpolster (6,5cm Höhe) stehend

PC = Augen geschlossen, Kopf gerade, auf Schaumstoffpolster (6,5cm Höhe)

HR = Augen geschlossen, Kopf 45° nach rechts rotiert

HL = Augen geschlossen, Kopf 45° nach links rotiert

HB = Augen geschlossen, Kopf im Nacken

HF = Augen geschlossen, Kopf auf der Brust

Die Messungen erfolgten ohne Schuhe. Die Testzeit betrug in jeder Position 30 Sekunden. Für die Messung wurde der Proband aufgefordert, möglichst ruhig zu stehen und nicht zu sprechen. Während der Messungen wurde der Zutritt zum Untersuchungsraum für Dritte unterbunden, um ablenkende Störungen zu vermeiden. Für reliable Ergebnisse bei den Positionen mit Rotation des Kopfes wurden im Winkel von 45° rechts und links der Probanden Markierungen an der Wand angebracht. Die Probanden wurden aufgefordert, den Kopf auf diese Markierung auszurichten.

Die Auswertung der 152 Messergebnisse pro Messzeitpunkt erfolgte mit dem TETRAX-Datenverarbeitungssystem. Dazu wurden Daten im oben beschriebenen Programm „TETRAX“ (entwickelt durch Prof. Kohen-Raz) zunächst graphisch präsentiert. Dieses Programm gestattet den *Vergleich mit Normdaten*, welche für Normalpersonen und klinische Populationen in den letzten 20 Jahren weltweit erhoben und integriert wurden. Grundlage für die Auswertung dieser Messungen war der „Summary Report“, welcher die 9 wichtigsten Parameter der jeweils 8 Messungen mit Normwerten (gesunder Normalpersonen) vergleicht.

Summary Report										
Code		Summary Report	NO	NC	PO	PC	HR	HL	HB	HF
00673		ST	○	○	○	○	○	○	○	○
Last Name		F1	□	□	□	□	□	□	□	□
First Name		F2-F4	□	▨	□	□	□	□	□	□
Date 30.07.1999		F5-F6	□	□	□	□	□	□	□	□
Legend		F7-F8	□	□	□	□	□	□	□	□
SS values		W.D.	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢	▨▢	▨▢	▩▢	▨▢
0 to 1.5		WDI	○	○	○	○	○	○	○	▨○
1.5 to 3		SYN	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢
3 to 6		L \ R	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢
6 -->		TOES	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢
Print		HEEL	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢	▢▢
Close										

Abb. 3: Summary Report: NO bis HF (1. Zeile) symbolisieren die differenten Stellungen, F1 bis F8 die Frequenzbereiche, die Schraffurstärke entspricht der Standardabweichung.

Im postural summary sheet werden 4 Intervalle von Standardabweichungen grafisch präsentiert, auf deren Basis in Absprache mit dem Entwickler Prof. Kohen-Raz ein Summenscore erstellt wurde (vgl. Tab. 1). Dabei entspricht die zunehmende Stärke der Schraffur einer abnehmenden Gleichgewichtskontrolle.

Tab. 1: Auswertungsmodus der posturographischen Messungen zur Erstellung des Summenscores

Standardabweichung	Interpretation	Score
0 – 1,5	Normal	0
1,5 – 3	Normal	1
3 – 6	Grenzwertig	2
> 6	Pathologisch	3

Der jeweiligen Schraffur ist zur statistischen Erfassung der Messergebnisse einen Zahlenwert zwischen 0 und 3 zugeordnet (weis = 0 = gute Gleichgewichtskontrolle, schwarz = 3 = schlechte Gleichgewichtskontrolle, vgl. Abb. 3, Summary sheet). Anschließend wurden die schraffierten Felder entsprechend ihrem Zahlenwert ausgezählt. Der Wert des MZP 1 wurde als Ausgangswert auf Null gesetzt und mit den Ergebnissen der folgenden Messzeitpunkte verglichen. Die Verbesserung oder Verschlechterung der Folgewerte zum Vorergebnis wurde mit unterschiedlichen Vorzeichen versehen. Ebenso erfolgte die Verrechnung der Ergebnisse der weiteren MZP. Dieses Verfahren ermöglichte die Verfolgung der Entwicklung der Gleichgewichtskontrolle gegenüber dem Ausgangswert mit zunehmendem Training bzw. Präventionsstrategien. Die Messergebnisse wurden in das Statistikprogramm SPSS, VERSION 9.0 übertragen und dort statistisch bearbeitet.

3.6 Weitere Datenerfassung und Statistische Berechnungen

3.6.1 Datenerfassung

Im Fragebogen wurden folgende Parameter erfasst:

1. Demographische Daten
2. Arbeitsbelastungsdaten
3. Rückenschmerz
4. Sportliche Aktivität
5. Lebensqualität

Die anthropometrischen Daten dienen vornehmlich der Charakterisierung der Stichproben und der Grundgesamtheit. Es erfolgte die Erfassung folgender Körperbaumerkmale: Körpergewicht, Körpergröße und Bauchumfang

Die Beurteilung der konstitutionellen Hypermobilität als Risikofaktor für Rückenschmerz erfolgte ebenfalls qualitativ durch ein von uns erstelltes Testdesign, welches die folgenden Merkmale erfasste:

1. Konnten Sie früher Spagat oder die Brücke?
2. Haben Sie früher die Sportarten Turnen und/oder Gymnastik betrieben?
3. Leiden oder litten Sie an Krampfadern, Wandernieren, Senkfüßen, Nabelbruch oder Leistenbruch?
4. Untersuchung mittels folgender Hypermobilitätstests:
 - Fingerbodenabstand;
 - beidseitige Überstreckbarkeit der Ellenbogengelenke;
 - kann der Daumen den Unterarm berühren;
 - Überlappung der Hände hinter dem Rücken beidseitig möglich;
 - Überstreckbarkeit der Kniegelenke beidseitig möglich

Die Muskelfunktionsdiagnostik nach JANDA wurde mittels folgender Untersuchungsmethoden durchgeführt: Goniometrie, Longimetrie und Beobachtung.

Das Testdesign entsprach den von JANDA entwickelten Bewertungsvorschriften. Die Durchführung der Untersuchung erfolgte gemeinsam mit einer Physiotherapeutin aus der Arbeitsgruppe von Prof. JANDA, um Qualität und Objektivität der Untersuchung zu gewährleisten.

3.6.2 Stichprobenberechnung und statistische Auswertung

Vor dem Beginn einer Untersuchung war es notwendig, einen geeigneten Stichprobenumfang festzulegen, da die Größe eines statistisch signifikanten Effektes vom Umfang der untersuchten Stichprobe abhängig ist. Zur Festlegung bzw. Berechnung des Stichprobenumfanges wurde die Effektgröße ermittelt: Zur Ermittlung der Effektgröße (Größe des erwarteten Unterschieds) erfolgte eine Literaturrecherche, um den Stichprobenumfang so zu wählen, dass statistisch signifikante Ergebnisse erwartet werden können. Entsprechend der Recherche erwarteten wir eine Verbesserung der Rückenbefindlichkeit durch Koordinationstraining bei ca. 77 % der Probanden, in der Kontrollgruppe bei höchstens 50 % der Teilnehmer.

Berechnung der Effektgröße nach Bortz:

77 % = 0,77 → 2,141 (siehe BORTZ 1984, Tabelle E 10)

50 % = 0,50 → 1,571 (siehe BORTZ 1984, Tabelle E 10)

Berechnung der Effektgröße h. Diese ergibt sich aus der Differenz der beiden Werte

$h = 2,141 - 1,571 = 0,57$.

Der genaue Wert der Stichprobenumfänge errechnet sich nach folgender Gleichung:

$$n = n_{,10} / 100 * h^2$$

$n_{,10}$ = Stichprobenumfang für $r = 0,10$ bei gegebenem alpha und $1 - \beta$

$n_{,10} = 1237$ (siehe Bortz 1984, 519, Tabelle 30)

$$n = 1237 / 100 * (0,57)^2$$

$$n = 38,07 \sim 38$$

Demzufolge sind 38 Probanden pro Gruppe (Trainierende / Nichttrainierende) notwendig, um unter den gegebenen Bedingungen signifikante Ergebnisse zu erzielen. Diese Bedingung wird durch die Teilnahme von *jeweils* 52 Probanden pro Gruppe erfüllt.

Vergleiche zwischen den einzelnen Stichproben hinsichtlich Homogenität erfolgten auf der Grundlage des Mann-Whitney-U-Tests für unabhängige Stichproben, da keine Normalverteilung erwartet wurde. Vergleiche innerhalb der Stichprobe hinsichtlich des Prä-Posttest-Vergleichs wurden durch den Wilcoxon-Test für nicht normal verteilte, verbundene Stichproben. Die Auswertung der erfassten Daten erfolgte mit Hilfe einer zu diesem Zwecke erstellten Maske im Programm SPSS, Version 9.0.

4 ERGEBNISSE

Während zum MZP 1 nach *Korrelationen der Testergebnisse mit den konstitutionellen Merkmalen der Testteilnehmer* gesucht wurde, erfolgte nach dem Training (MZP 2) die *Untersuchung auf Veränderungen der Gleichgewichtskontrolle* und damit korrelierender Variablen. Zum MZP 3 wurde 3 Monate nach Trainingsende die *Stabilität der Trainingsergebnisse* erneut posturographisch überprüft.

4.1 Ergebnisse zur Charakterisierung der Stichprobe zum MZP 1

Zwischen den einzelnen Gruppen wurden zur Homogenitätsprüfung mit dem Mann-Whitney-U-Test keine signifikanten Unterschiede festgestellt. In der untersuchten Stichprobe befanden sich 104 Probanden mit einem Geschlechterverhältnis von 93 Frauen (88 %) zu 11 Männern (12 %).

Die Gruppe der 20-29-jährigen war mit rund 40% (39,8%) am stärksten vertreten. Es folgten die 30-39-jährigen mit ca. 30% (31,1%), die 40-49-jährigen mit rund 20% (18,4%) und die Gruppe der 50-59-jährigen mit 10,7%.

Das durchschnittliche Gewicht lag bei 66,5 kg, die Standardabweichung betrug 11,9 kg. Unter den Probanden befanden sich zum Untersuchungszeitpunkt 76 % Nichtraucher.

Eine konstitutionelle Hypermobilität wurde bei 22,1 % gefunden.

4.2 Veränderung der Gesamtkörperkoordination in den einzelnen Therapiesträngen

Zur Untersuchung der Veränderung der Koordination verglichen wir vor (Messzeitpunkt (MZP) 1), während (MZP 1B) und nach den 36 Trainingseinheiten (MZP 2) sowie 3 Monate nach Trainingsende (MZP 3) die Gleichgewichtskontrolle (= posturale Stabilität) der Probanden mittels Posturographie. Die Ergebnisse der Gleichgewichtsuntersuchung wurden durch Summenscore quantitativ ausgewertet.

4.2.1 Vergleich der Ergebnisse der Trainings - und Nicht-Trainingsgruppen (Gr. T und T+V versus Gr. K und V)

Betrachtet man die **Trainingsgruppen (T und T+V, n=52)** zusammen, zeigt sich eine hoch signifikante ($p = 0,000$) *posturographische Verbesserung* bei 73 % aller aktiven Probanden ($n = 38$ von 52 Aktiven) gegenüber den Nichttrainingsgruppen ($n=52$).

Bei 13,5 % der Trainierenden blieben die posturographischen Ergebnisse unverändert, ebenfalls 13,5 % verschlechterten sich. Der gemittelte Summenscore der posturographischen Fehlermeldungen sank von 10,9 zum MZP 1 auf 7,0 zum MZP 2, dies entspricht einem Rückgang um 35,8 %. Zum MZP 3 (3 Monate nach Trainingsende) zeigte sich im Vergleich zum Ausgangsbefund eine nahezu unveränderte Situation.

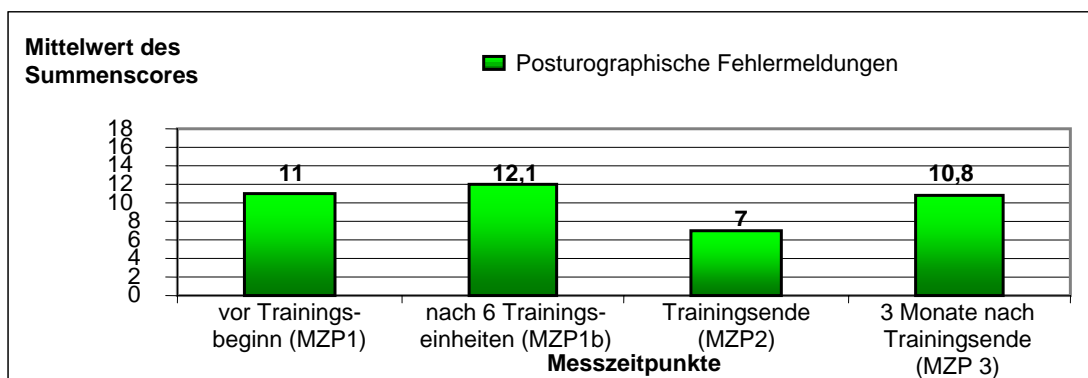


Abb.4: gemittelter Summenscore aller posturographischen Fehlermeldungen der Trainingsgruppe ($n=52$) im Verlauf; nach Trainingsende (Messzeitpunkt 2) signifikante Reduktion sichtbar

Dagegen zeigten beide **Nichttrainingsgruppen** zusammen (n = 52) bei nur 50 % der Probanden eine nicht signifikante *posturographische Verbesserung* um 4,3 %. Unverändert blieben posturographisch 3,8 % aller nicht trainierenden Probanden. Verschlechterungen in der Gleichgewichtskontrolle traten bei 46,1% der Probanden ein, die ebenfalls nicht signifikant waren.

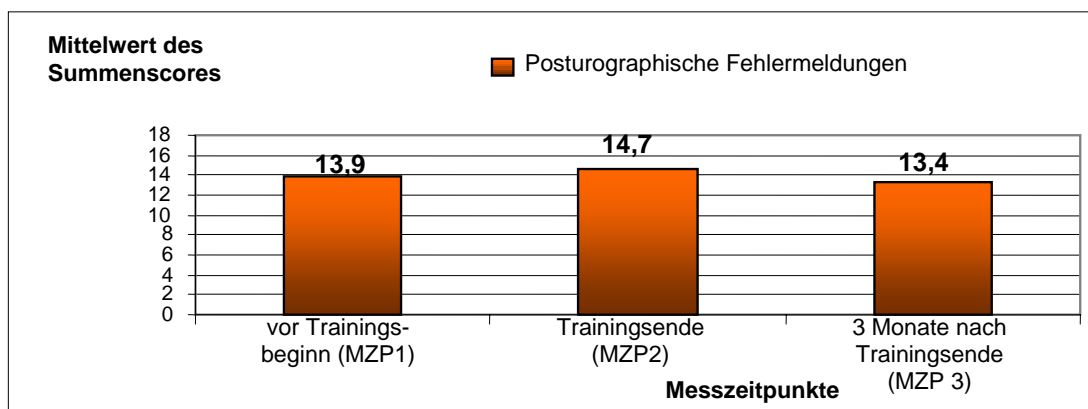


Abb.5: Summenscore aller posturografischen Fehlermeldungen der Nicht-Trainingsgruppe (n=52) im Verlauf.

Alle Veränderungen in der Kontrollgruppe (=Nichttrainingsgruppen) zeigten im Vergleich mit dem Ausgangswert zum MZP 1 keine Signifikanz (vgl. nachfolgende Abb.).

In der qualitativen Auswertung des Postural summary sheet wurde der Anteil der als pathologisch definierten Einzelergebnisse (drei- und vierfache Standardabweichung) gesondert untersucht. Zunächst wurde durch das Training eine hochsignifikante Reduktion (vgl. Abb. 6, MZP 2) erreicht. Im Vergleich der Messergebnisse zwischen Trainierenden und Nicht-Trainierenden zeigt sich jedoch drei Monate nach Trainingsende (vgl. Abb. 6, MZP 3) eine Angleichung der posturographischen Werte.

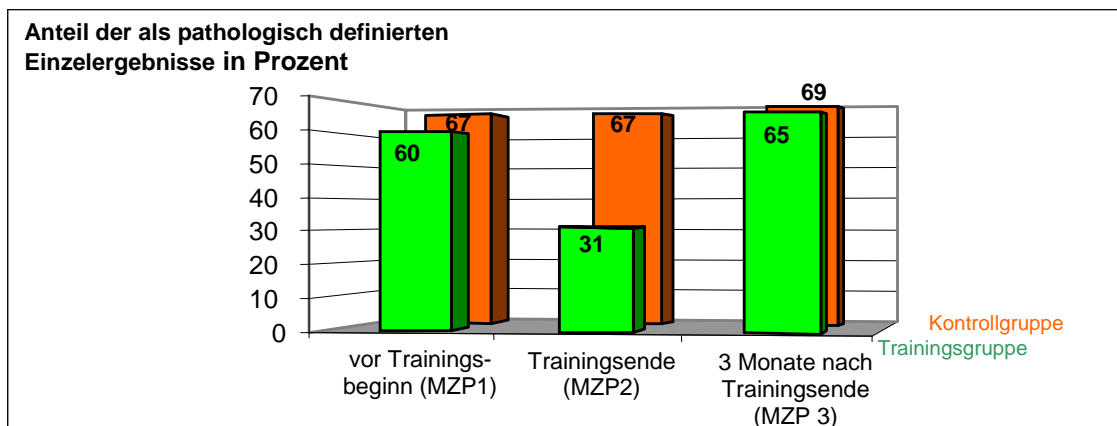


Abb.6: Langzeitstabilität des posturographisch gemessenen Anteils stark pathologischer Befunde der Standstabilität

Die posturographischen Effekte sind drei Monate nach Absolvierung aller Trainingseinheiten - zum MZP 3 - ohne signifikante Unterschiede in den posturographischen Ergebnissen zwischen Trainierenden und Nicht-Trainierenden.

4.2.2 Koordinationsveränderung durch Spacecurltraining (Gr. T)

Der posturographische Test zur Gleichgewichtskontrolle zeigte bei 81,8 % der Probanden eine signifikante Verbesserung der Gleichgewichtskontrolle ($p = 0,023$) nach dem Training (MZP 2) im Vergleich zum unbeübten Zustand (MZP 1). Drei der Teilnehmer (13,6 %) blieben im Vergleich zum Vortrainingsbefund unverändert, nur einer verschlechterte sich. Die durchschnittliche Verbesserung der Probanden dieser Gruppe lag bei 38,3 %.

4.2.3 Koordinationsveränderung durch Spacecurltraining mit Verhaltenspräventionsschulung (Gruppe T+V)

In dieser Gruppe zeigten sich wider erwarten nicht die stärksten Effekte in der Verbesserung der Gleichgewichtskontrolle. So verbesserten sich 66,7 % der Probanden hochsignifikant ($p = 0,000$), 13,3 % blieben gleich und 20 % verschlechterten sich. Dabei verringerten sich die posturographischen Fehlermeldungen vom Vor- zum Nachtrainingsbefund im gemittelten Summenscore um 32,7 %.

4.2.4 Koordinationsveränderung durch Verhaltenspräventionsschulung (Gr.V)

In dieser Gruppe verbesserten sich posturographisch 47,8 % der Teilnehmer, allerdings verschlechterten sich auch 43,5 % der Probanden. Unveränderte Ergebnisse zeigten sich bei 8,7 % ($n = 2$). Diese Ergebnisse unterschieden sich nicht signifikant von den Ausgangswerten ($p = 0,248$).

4.2.5 Koordinationsveränderungen in der Kontrollgruppe (Gr. K)

In der Kontrollgruppe zeigten sich im Vergleich zwischen MZP 1 und MZP 3 keine signifikanten Veränderungen. Der gemittelte Summenscore der posturographisch ermittelten Fehlermeldungen erhöhte sich nicht-signifikant um 3,8 % ($p = 0,83$), die Anzahl der Verbesserten zu den Verschlechterten war mit 15 zu 14 nahezu ausgeglichen.

4.3 Gesamtkörperkoordination in bestimmten Körperhaltungen und Frequenzbereichen

4.3.1 Posturographische Veränderungen in den Stellungen PC (mit geschlossenen Augen auf Schaumstoff stehend) und HB (mit geschlossenen Augen und rekliniertem Kopf) zwischen MZP I und II

Weiterhin wurden von MZP 1 zu 2 die posturographischen Ergebnisse der trainierten Probanden in 2 Stellungen (mit geschlossenen Augen auf Schaumstoff bzw. mit geschlossenen Augen und rekliniertem Kopf stehend) auf Rückgang der Fehlermeldungen überprüft, wobei die Stellung PC (mit geschlossenen Augen auf Schaumstoff stehend) eine hochsignifikante Verringerung der Körperschwankungen $p=0,007$ zeigte, während die Veränderungen in der Position HB (mit geschlossenen Augen bei rekliniertem Kopf) nicht

signifikant waren (vgl. Abb. 7).

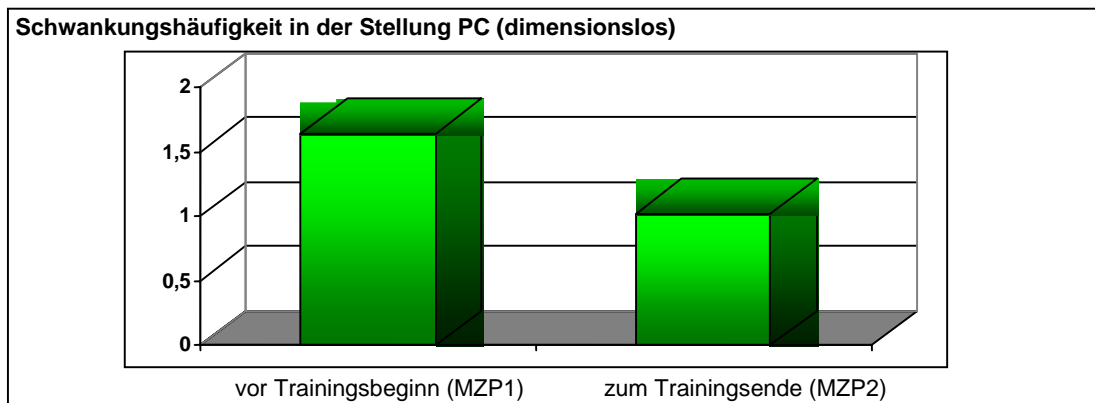


Abb. 7: Schwankungshäufigkeit vor bzw. nach dem Trainingsblock in der Testposition PC (Augen geschlossen, elastische Unterlage)

4.3.2 Verbesserungen in den 4 Frequenzbereichen zwischen MZP I und II

Um festzustellen, in welchen Frequenzbereichen die Verbesserungen der aktiven Probanden aufgetreten sind, wurden die vier Frequenzbereiche einzeln auf signifikante Verbesserungen zwischen MZP I und MZP III untersucht. Nur in 2 bestimmten Bereichen fanden sich Veränderungen. So zeigten sich eine hochsignifikante Verbesserung im Bereich von 0,1-0,5 Hz ($p=0,006$) sowie eine signifikante Verbesserung im Bereich >1 Hz ($p=0,038$).

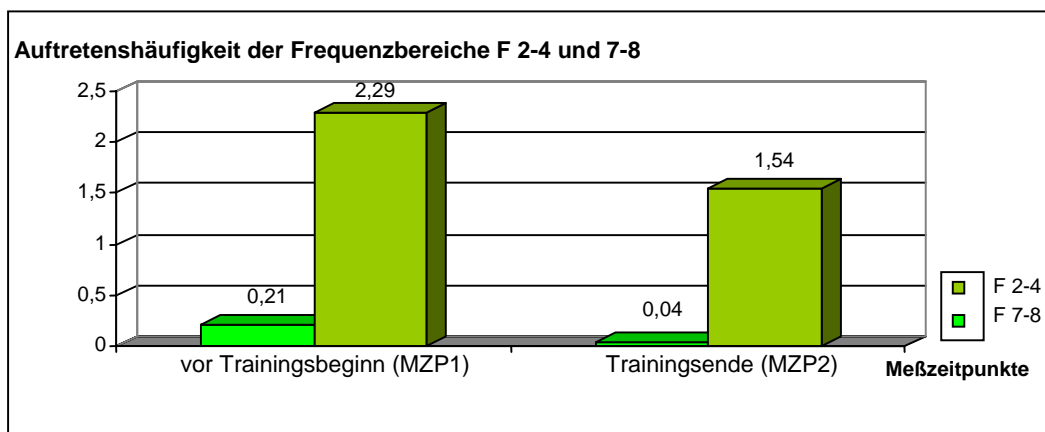


Abb. 8: Frequenzbereiche F2 – F4 (0,1 – 0,5 Hz) und F7 – F8 (über 1 Hz) (vgl. Müller et al. 2000b)

4.4 Untersuchung der Posturographieergebnisse auf Korrelationen

Auf Korrelationen untersuchten wir folgende Variablenpaare zum MZP 1 und im Verlauf:

1. Posturographieergebnisse und Koordinationstraining
2. Posturographieergebnisse und Alter der Probanden
3. Posturographieergebnisse und Gewicht
4. Posturographieergebnisse und Hypermobilität
5. Posturographieergebnisse und Rückenschmerz (dem Fragebogen entnommen)

4.4.1 Posturographieergebnisse und Koordinationstraining

Erwartungsgemäß zeigte sich bei 73% der trainierenden Probanden (n=52) eine hochsignifikante Verbesserung der Gleichgewichtskontrolle nach dem Spacecurltraining, erkenntlich an einen durchschnittlichen Rückgang der posturographischen Fehlermeldungen um 35,8% im Vergleich zur Nicht-Trainingsgruppe (n=52), bei der die posturographischen Fehlermeldungen nicht signifikant um 3,9% fielen.

4.4.2 Posturographieergebnisse und Alter

Unter der Annahme, Koordinationsdefizite seien altersabhängig, untersuchten wir die Altersdekaden unserer Probanden getrennt nach Hinweisen auf stärkere Abweichungen. Wir fanden keine Altersabhängigkeit der Koordinationsdefizite.

Allerdings fanden wir im Vergleich der koordinativen Leistungszuwächse nach Abschluss aller 36 Trainingseinheiten heraus, dass nur die Altersgruppen der 30-40 bzw. 40-50-jährigen hoch signifikant vom Koordinationstraining profitierten. Diese Altersstufen zeigten im Vergleich zwischen Prä- und Posttrainingswerten einen signifikanten Zuwachs der Gleichgewichtskontrolle von $p = 0,001$ bzw. $p = 0,003$, während die 20-30-jährigen ein $p = 0,095$ und die 50-60-jährigen ein $p = 0,102$ aufwiesen.

4.4.3 Posturographieergebnisse und Gewicht

Zum MZP 1 untersuchten wir die Abhängigkeit der Gleichgewichtskontrolle vom Körpergewicht (BMI). Wir fanden eine mittlere, positive Korrelation (Korrelationskoeffizient $r = 0,394$) bei einem hoch-signifikanten p-Wert ($p = 0,000$). Dies entspricht einer

Verschlechterung der Koordination bei zunehmendem Übergewicht. Auch das Ausmaß der Koordinationsverbesserung zeigte bei den Aktiven beim Vergleich der p-Werte der Aktiven eine signifikante Abhängigkeit vom Gewicht, wenn man diese in drei BMI-Gruppen einteilt. Die Normalgewichtigen (BMI 20-24,9) wiesen mit $p = 0,000$ den stärksten Zuwachs an Gleichgewichtskontrolle auf. Ihnen folgten die Übergewichtigen (BMI \geq 25) mit einem p von 0,018 und die Untergewichtigen (BMI $<$ 20) mit einem p-Wert von 0,042.

4.4.4 Posturographieergebnisse und Hypermobilität

Es wurde ein p-Werte-Vergleich zwischen den Vor- und Nachtrainingsbefunden aller aktiven Hypermobilen und aller aktiven Normmobilen durchgeführt. Während der Rückgang der posturographischen Fehlermeldungen in der Gruppe der Normmobilen mit einem $p=0,000$ hochsignifikant war, zeigte die Gruppe der Hypermobilen nur eine nicht signifikante Verbesserung zwischen Vor- und Nachtrainingsbefund mit $p=0,061$.

4.4.5 Korrelationen zwischen Posturographieergebnissen und subjektivem Rückenschmerzempfinden (dem Fragebogen entnommen)

Es fand sich keine Korrelation zwischen den Probanden mit posturographischen Verbesserungen und denen, die einen mit Hilfe eines Fragebogens erfassten subjektiven Rückgang der Rückenbeschwerden schilderten. Die trainierenden Probanden schilderten insgesamt eine tendenzielle Besserung ihrer Rückenbeschwerden, die keine Signifikanz aufwies.

5 Diskussion

Bevor im Folgenden die einzelnen Ergebnisse diskutiert werden, werden zunächst einige Grundgedanken dargelegt. Bei allen Alltagsbewegungen ist eine regelrechte Rumpfstabilisierung erforderlich. Dabei ist die individuelle Leistungsfähigkeit entscheidend von der neuromuskulären Belastungsfähigkeit abhängig. Bei zu geringer neuromuskulärer Kapazität kommt es schon bei leichten Leistungsanforderungen zur Überbeanspruchung der Muskulatur und damit auch der Bänder und Gelenkstrukturen. Bei ständiger Überbeanspruchung treten chronische Überlastungsreaktionen mit akuter und chronischer Aktivierung von Proprio- und Nozizeptoren mit reflektorischer Muskeltonuserhöhung und Inhibition auf, die zur Ausbildung neuromuskulärer Dysbalancen führen (Broll-Zeitvogel 1999). Neuromuskuläre Dysbalancen sind ein funktionelles Korrelat für Koordinationsstörungen, welche wiederum ein Risikofaktor für Rückenschmerz sind. Dieser Mechanismus sollte im Rahmen einer experimentellen Studie durch ein physiologisches Training durchbrochen werden, indem durch die Reize der MTT mittels Spacecurl die Koordination verbessert wird und Bewegungsmuster neu aufgebaut werden. Diese Veränderungen und die damit zusammenhängenden Faktoren mittels Posturographie aufzuzeigen ist Anliegen dieser Untersuchung und soll nun im einzelnen diskutiert werden.

Prinzipiell ist eine Verbesserung von Gleichgewichtskontrolle und Standstabilität und somit der posturographischen Ergebnisse über drei Funktionsänderungen denkbar:

1. Verbesserung der zentralen Integration der afferenten Inputsysteme (HB,PC)
2. Verbesserung der muskulären Innervationsmuster (mot. Muster, Bewegungstereotype)
3. Kräftigung der posturalen Muskulatur

Das Spacecurltraining beeinflusst die Punkte 1 und 2. Der Punkt 2 wurde zwar im Rahmen der Studie erfasst, ist aber kein direkter Gegenstand der vorliegenden Untersuchung. Es konnte gezeigt werden, dass sich die motorischen Muster im EMG nachweisbar verändern und die Stereotype ökonomisiert wurden (Müller et al 2000A und 2000 B; Schwesig 2001).

In der vorliegenden Arbeit wurde die Veränderung der Gleichgewichtskontrolle durch die MTT untersucht und die Posturographie als Instrument zur Verlaufskontrolle dieser experimentellen Studie eingesetzt.

Die Posturographie ermöglicht durch Sichtbarmachung des Gleichgewichtsvermögens indirekt Rückschlüsse auf die Wirksamkeit des Koordinationstrainings. Auch die Trainingseffekte auf die einzelnen afferenten Systeme können beurteilt werden. So wurde beispielsweise durch Ermittlung und Vergleich der Anzahl der außerhalb der einfachen Standardabweichung liegenden Häufungen von bestimmten Schwankfrequenzen in bestimmten Positionen zwischen Prä- und Posttraining der Einfluss des Trainings auf jeweils ein Afferenzsystem eruiert. Es konnte festgestellt werden, dass das Spacecurltraining die Standstabilität gegenüber der Kontrollgruppe bei der Mehrzahl der Teilnehmer signifikant verbessert (s. Kap. 5.1.1 ff) und die posturographischen Ausgangs- und Posttrainingswerte mit persönlichen Eigenschaften (Gewicht, Alter, Hypermobilität) in Zusammenhang stehen (s. Kap. 5.2.1 ff). Eine Fehlerdiskussion, bei Nutzung einer neueren Technologie in neuen Zusammenhängen zwingend notwendig, schließt sich an (s. Kap. 5.3.1 ff).

5.1 Diskussion der ermittelten Werte

5.1.1 Verbesserung posturographischer Ergebnisse durch Training

Betrachtet man die **Trainingsgruppen** (T sowie T+V, n=52) zusammen, zeigt sich eine hoch signifikante ($p = 0,000$) *posturographische Verbesserung* bei 73 % aller aktiven Probanden (n = 38 von 52 Aktiven) gegenüber den Nicht-Trainingsgruppen. Bei 13,5 % blieben die posturographischen Ergebnisse unverändert, ebenfalls 13,5 % verschlechterten sich. Der gemittelte Summenscore der posturographischen Fehlermeldungen sank von 10,9 zum MZP 1 auf 7,0 zum MZP 2, dies entspricht einem Rückgang um 35,8 %.

Dagegen zeigten beide **Nicht-Trainingsgruppen** (Gr. V und K, n gesamt = 52) zusammen bei nur 50 % der Probanden eine durchschnittliche *posturographische Verbesserung* ein, insgesamt um 4,3 % , bei den *Koordinationstests* zeigten 30,8 % der Probanden eine Verbesserung, insgesamt um 3,9 %. Verschlechterungen traten bei 46,1 % der Probanden in der Gleichgewichtskontrolle ein.

Da keine Veröffentlichungen bekannt ist, die das Spacecurltraining interventionsbezogen untersucht hätte, beschränkt sich die Diskussion der Ergebnisse selbstständig vor dem Hintergrund der wenigen Studien, in denen vor und nach einer (beliebigen)

sporttherapeutischen Intervention posturographische Messungen vorgenommen wurden. In einer Studie von M. Karlberg (1996) konnte gezeigt werden, dass physiotherapeutische Behandlung bei Patienten mit Schwindel, unspezifischen Halswirbelsäulenbeschwerden und Kopfschmerz nach Ausschluss extrazervikaler Ursachen im Vergleich mit der Kontrollgruppe u.a. signifikant bessere Ergebnisse in der dynamischen Posturographie (bei vibrationsinduzierten und galvanisch induzierten Körperschwankungen) und im allgemeinen Beschwerderückgang aufwies.

In dieser Untersuchung wurde zur Intervention nur ein Abschnitt der Wirbelsäule (HWS) mit Heimtrainingsprogrammen, Stabilitätsübungen der HWS, passiver und aktiver Mobilisierung, Relaxationstechniken, sanfter Gewebebehandlung etc. behandelt und keine speziellen Balance- oder Gleichgewichtsübungen durchgeführt. Karlberg's Probanden zeigten vor der Behandlung signifikant schlechtere Posturographieergebnisse als die Kontrollgruppe und nach der Intervention hochsignifikante Verbesserungen gegenüber den Ausgangswerten. Diese Ergebnisse lassen sich mit der vorliegenden Studie vergleichen, weil zumindest ein Teil dieser posturographischen Verbesserungen durch Training der halsstabilisierenden Muskulatur und Verbesserung der Innervationsmuster begründet ist, ähnlich wie es im Rahmen der von uns durchgeführten Studie mittels EMG-Untersuchungen für die rumpfstabilisierende Muskulatur gezeigt werden konnte.

Das Fehlen ausgesprochener Reize zur Verbesserung der Gleichgewichtskontrolle unterscheidet die Arbeit Karlberg's von der vorliegenden Untersuchung, zeigt aber eindrucksvoll, dass schon ein überwiegend muskulär Training durch die immer enthaltene, koordinativ beanspruchende (stimulierende) Komponente die Innervationsmuster verbessert werden und das Gleichgewichtsvermögen trainiert wird. Allerdings wird bei dem Spacecurltraining durch die 3-D-Bewegung im Raum zwangsläufig eine viel stärkere Stimulation zur Integrierung von Afferenzen in motorische Programme der Gleichgewichts- und Bewegungskontrolle ausgeübt.

Da die Trainingsreize überschwelligen Charakter waren, erscheint dem Autor gegeben. Arbeiten zum Nachweis der notwendigen Schwellenreize zur Auslösung adäquater Reaktionen sind vielfältig vorhanden: So wies Kornhuber (1974) nach, dass jede Kopfbewegung das Vestibularorgan erregt, Merton (1964) konnte zeigen, dass jeder

Schritt (respektive jede Lageveränderung des Spacecurl) die Hautafferenzen der Fußsohle, Muskelspindeln, Sehnenspindeln sowie Druck- und Bewegungsrezeptoren erregt. Lestienne et al. (1977) wies nach, dass das visuelle System durch Bewegung des Gesichtsfeldes stimuliert wird.

Zu daraus entstehenden Therapiemöglichkeiten bei posturalen Koordinationsstörungen schreibt Rasev (1999), dass es nach der Optimierung der afferenten Informationen zur Aktivierung der idealen posturalen Reaktion im Stehen und bei der vertikalen Lokomotion kommen sollte. Dieser Anforderung wurde genügt, wenn der hohe Anteil von $\frac{3}{4}$ der Probanden betrachtet wird, bei denen eine signifikante Verbesserung der Gleichgewichtskontrolle nachgewiesen werden konnte. Obwohl wir nicht genau wissen, welcher Art die funktionelle Störung unserer Probanden war (afferent [vestibulär, visuell, propriozeptiv] oder zentral [mot. Programme, intermuskuläre Dyskoordination] oder muskulär [muskuläre Hypotrophie, intramuskuläre Dyskoordination]), konnte posturographisch nachgewiesen werden, dass Spacecurltraining die Gleichgewichts- und Haltungsstabilität verbessert. Welchen Anteil daran das Training der Afferenzen oder ihrer zentralen Integration, die daraus entstehende Verbesserung der motorischen Programme oder die muskuläre Kräftigung hat, ist derzeit unklar und Gegenstand späterer Untersuchungen.

Nur im scheinbaren Widerspruch zu unseren Ergebnissen steht eine Studie von Lepers et al. 1997, in der eine posturographische Verschlechterung nach dem Training gefunden wurde. Allerdings war dieses Training ein Erschöpfungstraining (25 km-Lauf bzw. 1h 44 min Fahrradergometer) und es wurde unmittelbar vor bzw. nach dem Training gemessen. Die Probanden zeigten eine signifikante Verschlechterung der posturographischen Ergebnisse (dynamische Posturographie) nach dem Training, wobei die Läufer signifikant schlechtere Ergebnisse zeigten als die Radfahrer. Lepers et al. vermuten als Ursache dieser Differenz eine Adaptation der zur Haltungs- und Gleichgewichtskontrolle benötigten vestibulären, visuellen und propriozeptiven Systeme an den Lauf, während auf dem Fahrradergometer nur das propriozeptive System durch gleichförmige Wiederholung der Reize adaptiert und somit zur Gleichgewichtskontrolle zwei nicht an Bewegung adaptierte Inputsysteme zur Verfügung standen. Auch wurden hämodynamische oder andere Ursachen für die Verschlechterung nicht ausgeschlossen. Hingegen fanden unsere Messungen nie an einem Trainingstag statt und das Training im Spacecurl über 15 min

war keinesfalls so erschöpfend wie ein 25 km Lauf.

In der Gruppe T+V zeigten sich wider erwarten nicht die stärksten Effekte in der Verbesserung der Gleichgewichtskontrolle, hätte man doch eine Synergie der Verhaltenspräventionsschulung incl. Rückenschulelemente zusammen mit der Trainingstherapie erwarten können. So verbesserten sich jedoch „nur“ 66,7 % der Probanden hochsignifikant ($p = 0,000$), während die Gruppe mit ausschließlicher Durchführung der Trainingstherapie eine Verbesserung bei 81,8% der Probanden zeigte. Vischer und Olivieri (1996) hingegen fanden bei ihrer Untersuchung zur Wirksamkeit von Rückenschulprogrammen bei Pflegekräften mit Rückenbeschwerden einen deutlichen Rückgang der Beschwerden bei Anwendung einer Kombination von Rückenschule und Trainingstherapie, die effizienter war als die alleinige Durchführung von Rückenschulprogrammen. Diese Diskrepanz lässt sich mit der Dauer und Frequenz unserer Verhaltenspräventionsschulung erklären: sie fand an zwei aufeinander folgenden Wochen statt und ging über jeweils drei bis vier Stunden. Dass ist offenbar nicht genug, um die geforderte Anzahl Wiederholungen bestimmter Bewegungen zu erbringen, die notwendig sind, um ein Bewegungsmuster zu verankern. Möglicherweise wirkte die Überlagerung mit den neuen Bewegungsmustern aus der MTT auch eher störend bei der Implantation derselben.

5.1.2 Superkompensationseffekt zum MZP 1B?

Zum MZP 1B (nach 6 x Training) fanden wir bei den aktiven Gruppen (T sowie T+V) keine signifikante Verbesserung. Diese Gruppen zeigten im Gegenteil die schlechtesten p-Werte im Vergleich (0,671 und 0,243 gegenüber 0,132 und 0,180 in Gruppe T sowie T+V). Signifikant verbessert haben sich die aktiven Gruppen erst zwischen MZP 1 und 2 (p-Wert $_{Gr.T} = 0,001$, p-Wert $_{Gr.T+V} = 0,000$). Ähnliches gilt sinngemäß für die Ergebnisse der Koordinationstests. Dieses Ergebnis lässt sich mit dem sog. Superkompensationseffekt (Froböse und Nellesen, 1998) erklären, bei dem nach ungewöhnlicher, überschwelliger Belastung zunächst eine Ermüdungsphase eintritt, bevor sich die belasteten Strukturen stärker aufbauen als zuvor. Da sich dabei die unterschiedlichen Strukturen durch verschiedene Aufbaugeschwindigkeiten auszeichnen und Sehnen und Bänder zu den Systemen mit langsamerer Anpassungsgeschwindigkeit gehören, ließe sich die Verschlechterung gegenüber den Ausgangswerten damit erklären, dass die Anpassung an

die neue Belastung noch nicht abgeschlossen war und insbesondere die für die Propriozeption wichtigen Sehnen und Bänder eine besonders langsame Anpassungsgeschwindigkeit zeigen.

Dass Trainingseffekte zu teilweise paradoxen Ergebnissen führen können und daher nicht zwangsläufig mit einer erfolgreichen Verbesserung der propriozeptiven Gesamtleistung gleichzusetzen sind, betonen auch Quante und Hille (1999). Damit in Übereinstimmung stehen die Ergebnisse von Barrack et al. (1984), die bei einer Untersuchung zum Winkelreproduktionsvermögen von Balletttänzern *nach* propriozeptivem Training Verschlechterungen feststellte.

Eine spekulative Erklärung liegt im trainingsbedingten Umbau der motorischen Programme begründet, wobei das bisherige Programm durch die beginnende Bahnung des neuen Programms eine Störung erfahren haben könnte.

5.2 Diskussion der gefundenen Korrelationen

5.2.1 Posturographie und Alter

Die Angaben zur Altersabhängigkeit der Gleichgewichtskontrolle sind uneinheitlich. Sowohl Norre (1987) wie auch Ojala et al. (1989) fanden keinen Einfluss des Lebensalters auf die posturographisch erfasste Gleichgewichtskontrolle. Pyykkö et al. (1991) fanden in der Altersspanne 15-60 keine Unterschiede in der Gleichgewichtskontrolle. Norre et al. (1987) eruierten nur einen geringen Rückgang der Standstabilität mit zunehmendem Alter, ursächlich hierfür seien weniger umfassende Afferenzen der Systeme und Einschränkungen der zentralen Integration und Steuerung. Auch Weisemann (1988) postuliert eine zunehmende Abnahme der Standstabilität mit dem Alter.

Dagegen wurden bei Patienten mit vestibulären Störungen auch im jüngeren Lebensalter Reduktionen der Standstabilität beobachtet (Norre et al. 1987). Jackson et al. (1991) beschreiben eine altersabhängige Abnahme der Gleichgewichtskontrolle in der Position mit Kopfretroflexion gegenüber normalen Werten in der Normalposition, verantwortlich hierfür seien altersabhängige Funktionseinschränkungen der Sensomotorik. Jackson et al. untersuchten 1991 mittels dynamischer Posturographie die Hinfallrate gesunder Probanden bei posturographischen Untersuchungen in Kopfextension. Sie fanden in der

Altersgruppe der 22 bis 59jährigen keine Stürze, während bei den über 59jährigen schon 35 von 100 Patienten 79 mal im Kopfgeradstand stürzten und 171 mal (52%) bei Kopfextension. Diese Ergebnisse korrespondieren mit denen von Wolfson et al. (1992). Auch sie fanden keinen Balanceverlust in der Kontrollgruppe der jüngeren, aber eine erhöhte Falltendenz bei den Älteren, insbesondere in Kopfextension. Wolfson empfiehlt, die Untersuchung der Fallneigung bei über 60jährigen als Kriterium bei Gleichgewichtsstörungen heranzuziehen. Er stellt fest, dass der dramatische Wechsel in der Zahl der Stürze der über 60jährigen die partielle Degeneration des visuellen, propriozeptiven und vestibulären Systems widerspiegelt.

Auch die Untersuchung Austs` von 1996 wies einen Alterseinfluss auf die Genauigkeit des Zusammenwirkens von propriozeptivem und visuellem System nach. Er fand eine stetige Zunahme der Interaktionen zwischen visuellem und propriozeptivem System ab dem Kindesalter, während sich ab dem 40. Lebensjahr eine deutliche Abnahme der interaktiven Leistung zeigte. Auch wies er nach, dass die Posturographie mit visuellem Feedback eine aussagekräftige Technik zur Analyse visuell-propriozeptiver Interaktionen ist, die ab dem 3. Lebensjahr bis ins hohe Alter eingesetzt werden kann. Von Aust 1995 und 1991 durchgeführte Untersuchung von vestibulären, okulomotorischen und vestibulospinalen Reaktionen sowie visuell-vestibuläre Interaktionen zeigten bei Patienten die Altersabhängigkeit. Es konnte die Entwicklung der Reaktionsfähigkeit in den ersten zwei Lebensjahrzehnten gezeigt werden, die sich im Erwachsenenalter stabil hält und sich erste Altersvorgänge im fünften Lebensjahrzehnt andeuten. Aust (1895) und Seifert (1995) wiesen als Ursache der funktionellen Abnahme der propriozeptiven Interaktionen histologisch einen alterungstypischen Abbau muskulärer, sensibler und zentraler Strukturen nach.

Acconero untersuchte altersabhängige Differenzen in Strategien des aufrechten Standes mit multisegmentaler Posturographie in virtueller Realität. Ältere zeigten dabei einen rigideren Stand. Bei geschlossenen Augen erhöhte sich generell die Rigidität im Stand, allerdings bei den jüngeren stärker als bei den älteren. Je jünger die Probanden, um so größer war die Veränderung der Rigidität zwischen offenen und geschlossenen Augen (Acconero et al. 1997), was bedeuten könnte, dass ältere Probanden durch Einnahme einer rigideren (militärisch steifen) Haltung ihre Defizite im Sinne einer Kompensation begrenzt ausgleichen können. Dieser Umstand ist eine mögliche Ursache für die

Nichtaltersabhängigkeit unserer Posturographieergebnisse. Es fand sich möglicherweise auch deswegen keine Altersabhängigkeit der Koordinationsdefizite zum MZP I, weil die deutlichsten Veränderungen in der Literatur durchweg erst jenseits des sechzigsten Lebensjahres sicher nachweisbar sind, wogegen die Probanden der vorliegenden Studie zwischen 20 und 60 Jahren alt waren.

Allerdings fanden wir bei dem Vergleich der koordinativen Leistungszuwächse heraus, dass nur die Altersgruppen der 30-40 bzw. 40-50-jährigen hoch signifikant vom Koordinationstraining profitierten. Diese Altersstufen zeigten im Vergleich zwischen Prä- und Posttrainingswerten einen signifikanten Zuwachs der Gleichgewichtskontrolle von $p = 0,001$ bzw. $p = 0,003$, während die 20-30-jährigen ein $p = 0,095$ und die 50-60-jährigen ein $p = 0,102$ aufwiesen. Dies wird derart interpretiert, dass bei den 20-30-jährigen noch keine so großen Defizite in Koordination und Muskulatur vorhanden sind, als das sie sich statistisch signifikant verbessern ließen (Ausgangswertgesetz nach Wilder 1931), während bei den Älteren (50-60 Jahre) der Verfall der Gleichgewichtskontrolle so weit fortgeschritten ist, dass entweder ein intensiveres Training nötig wäre oder man den altersabhängigen Untergang neuromuskulärer Strukturen (Aust 1995, Seifert 1995) als so tiefgreifend bewerten muss, dass posturales Lernen nicht mehr möglich erscheint. Allerdings muss beachtet werden, dass sich nur 5 Personen in der Gruppe der 50-60-jährigen befanden und die statistische Aussagefähigkeit entsprechend vermindert ist. Die Frage nach Inhalt und Sinn eines Koordinationstrainings für ältere Menschen sollte unter dem Aspekt der physiologischen Degeneration der Inputsysteme und der Trainingsintensität in Folgeuntersuchungen betrachtet werden.

5.2.2 Posturographie und Gewicht

Der Einfluss des Gewichts auf Körperschwankungen ist kaum untersucht. Lediglich eine Arbeit von Weisemann (1988) zeigte bei zunehmenden Körpergewicht verstärktes Schwankverhalten. Dieses Ergebnis konnte bestätigt werden: in der vorliegenden Untersuchung wurde zum MZP I die Abhängigkeit der Gleichgewichtskontrolle vom Körpergewicht (BMI) kontrolliert und eine Verschlechterung der Koordination bei zunehmendem Übergewicht gefunden. Es zeigte sich eine mittlere, positive Korrelation (Korrelationskoeffizient $r = 0,394$) bei einem hochsignifikanten p-Wert ($p = 0,000$).

Auch der Zuwachs an Koordinationsverbesserung zeigte bei den Aktiven beim Vergleich der p-Werte der Aktiven eine signifikante Abhängigkeit vom Gewicht, wenn man diese in 3 BMI-Gruppen einteilt. Die Normalgewichtigen (BMI 20-24,9) wiesen mit $p = 0,000$ den stärksten Zuwachs an Gleichgewichtskontrolle auf. Ihnen folgten die Übergewichtigen (BMI \geq 25) mit einem p von 0,018 und die Untergewichtigen (BMI $<$ 20) mit einem p -Wert von 0,042. Für diese Daten wurde kein Vergleich in der Literatur gefunden.

5.2.3 Posturographieergebnisse und Hypermobilität

Es wurde ein p -Werte-Vergleich zwischen den Vor- und Nachtrainingsbefunden aller aktiven Hypermobilen und aller aktiven Normmobilen durchgeführt. Während der Rückgang der posturographischen Fehlermeldungen in der Gruppe der Normmobilen mit einem $p=0,000$ hochsignifikant war, zeigte die Gruppe der Hypermobilen nur eine nicht signifikante Verbesserung zwischen Vor- und Nachtrainingsbefund mit $p=0,061$.

5.2.4 Posturographische Veränderungen in den Stellungen PC (mit geschlossenen Augen auf Schaumstoff stehend) und HB (mit geschlossenen Augen und rekliniertem Kopf) sowie Verbesserungen in den 4 einzelnen Frequenzbereichen zwischen MZP I und III

Um festzustellen, in welchen Frequenzbereichen die Verbesserungen der aktiven Probanden aufgetreten sind, wurden die vier Frequenzbereiche einzeln auf signifikante Verbesserungen zwischen MZP I und MZP III untersucht. Nur in bestimmten Bereichen fanden sich Veränderungen. So zeigten sich eine hochsignifikante Verbesserung im Bereich von 0,25-0,5 Hz ($p=0,006$) sowie eine signifikante Verbesserung im Bereich >1 Hz ($p=0,038$). Diese werden in der Literatur dem peripheren vestibulären System zugeordnet (De Witt 1972, Kohen-Raz 1991). Weiterhin wurden von MZP 1 zu 2 die posturographischen Ergebnisse der trainierten Probanden in 2 Stellungen (mit geschlossenen Augen auf Schaumstoff bzw. mit geschlossenen Augen und rekliniertem Kopf stehend) auf Rückgang der Fehlermeldungen überprüft, wobei die Stellung PC (mit geschlossenen Augen auf Schaumstoff stehend) eine hochsignifikante Verringerung der Körperschwankungen $p=0,007$ zeigte, während die Veränderungen in der Position HB (mit geschlossenen Augen bei rekliniertem Kopf) nicht signifikant waren. In diesen Positionen, in denen der Gleichgewichtssinn nahezu ausschließlich auf den vestibulären Input angewiesen ist, zeigten sich hochsignifikante Verbesserungen. Somit darf vermutet

werden, dass durch Spacecurltraining insbesondere die Integration vestibulärer Afferenzen gefördert wird. Nicht signifikant waren die Verbesserungen in der Position, in der die Propriozeption (Stellung HB, geschlossene Augen, reklinierter Kopf) den maßgeblichen Input zur Gleichgewichtskontrolle lieferte. Für diese Messergebnisse wurde in der Literatur keine vergleichbaren Ergebnisse gefunden. Daher bleibt es spekulativ, diese Befunde zu deuten. Es liegen jedoch Untersuchungen zum Einfluss der einzelnen Afferenzsysteme vor, vor deren Hintergrund Interpretationen gewagt werden können. Karlberg betonte 1996 die Wichtigkeit der Störung der Inputsysteme zur posturographischen Untersuchung, da er bei einem Vergleich gesunder und kranker Probanden nur während der Ausschaltung propriozeptiven bzw. vestibulären Afferenzen mittels Vibration bzw. galvanischen Strömen signifikante Unterschiede eruieren konnte. Enbom et al. (1988) benutzten ebenfalls Vibrationen der Waden zur Störung des propriozeptiven Systems.

Scherer (1997) untersuchte die Kompensationsfähigkeit der Afferenten Systeme durch Störung aller oder in bestimmten Kombinationen. Dabei fand er die stärkste Beeinträchtigung der Gleichgewichtskontrolle in abnehmender Stärke bei Störung folgender Inputsysteme:

- propriozeptiv-visuell-vestibulär
- propriozeptiv-visuell
- propriozeptiv
- visuell-vestibulär

Aus den beiden letzten Punkten wird die prominente Stellung der Propriozeption erkennbar: die alleinige Störung der Propriozeption beeinträchtigt die Standstabilität auf dem Posturometer stärker als die gemeinsame Störung von visuellem und vestibulärem Input.

Andererseits ist die Sensibilität des vestibulären Inputs und seiner Integration daran erkennbar, dass bei Ausschaltung der komplementären Afferenzen (propriozeptiv und visuell) die zweitstärkste Beeinträchtigung der Gleichgewichtskontrolle stattfindet. D.h., wenn die Standstabilität ausschließlich vom vestibulären Input abhängig ist, ist das Gleichgewichtssystem am fragilsten. Damit wäre die Rolle des vestibulären Systems gewürdigt, es bleibt jedoch ungeklärt, ob die Probanden ein vorbestehendes vestibuläres Defizit hatten oder die Stimulation zur Integration vestibulären Inputs durch das

verwendete Trainingsgerät so intensiv war, dass die genannten Verbesserungen auftraten. Möglicherweise ist die im Alltag vorherrschende Verarmung an vestibulären Reizen und Bewegungsarmut eine Ursache. Wir klettern nicht mehr auf Bäume und die Gelegenheiten, unebene Wege zu gehen oder zu stolpern und derart das Vestibularorgan zu reizen sind eher gering. Dass Spacecurltraining könnte durch die vestibuläre Reizung deren Integration wieder auf ein normales, physiologisches Maß erhöht haben.

Die obengenannten Frequenzbereiche sind typischerweise für (peripher) vestibuläre Störungen ein Marker. Dem entspricht, dass die Probanden auch in der Position, in der ihr Gleichgewichtssinn nahezu ausschließlich auf den vestibulären Input angewiesen war, hochsignifikante Verbesserungen zeigten. Somit darf vermutet werden, dass durch Spacecurltraining insbesondere die Integration vestibulärer Afferenzen gefördert wird.

Nicht signifikant waren die Verbesserungen in der Position, in der die Propriozeption den maßgeblichen Input zur Gleichgewichtskontrolle lieferte. Dies steht scheinbar im Widerspruch zum häufig propagierten und angewendeten propriozeptiven Training. Allerdings ist das sog. propriozeptive Training vermutlich ein Training, welches zur verstärkten *Integration* propriozeptiver Afferenzen führt, da ein Training der Propriozeptoren nach Laube et al. nicht möglich ist. Diese würden, ähnlich einem Computer, nur Null oder Eins melden und eine dauerhafte Änderung der Erregungsschwelle sei nicht möglich. Weiterhin sollte auch hinterfragt werden, inwieweit das sog. Propriozeptive Training Elemente vestibulärer Stimulation enthält (z.B. Wackelbrett etc.), welche für die Effekte mitverantwortlich sein könnten.

5.2.5 Posturographie und Rückenschmerz

Wie schon oben angeführt, wurde die Posturographie selten zur Verlaufskontrolle einer Therapie und noch nie bei Rückenschmerzkranken eingesetzt. In der vorliegenden Untersuchung konnte keine Korrelation der Reduktion der Rückenschmerzen mit der Verbesserung der Standstabilität nachgewiesen werden, obwohl die Mehrzahl der Teilnehmer tendenziell eine Reduktion angab. Die stärkste Verbesserung der Koordination fand keinen Niederschlag in einem entsprechenden Rückgang der Rückenschmerzen. Möglicherweise muss, wie schon durch Pagel (2000) erwähnt, angenommen werden, dass die posturographischen Ergebnisse eigenständig zu

interpretieren sind. Gegebenenfalls müssten dann auch die Berührungspunkte mit anderen Test- und Messverfahren hinsichtlich der Interpretation von Ergebnissen neu geordnet werden. Weiterhin ist der Rückenschmerz als ein multifaktorielles Geschehen zu verstehen, wobei in der vorliegenden Untersuchung nur ein Risikofaktor, die gestörte Koordination, behandelt wurde. So kann nicht ausgeschlossen werden, dass andere Faktoren wie z.B. die Arbeits- oder Stressbelastung einen entscheidenden Beitrag zur Aufrechterhaltung der Schmerzen bzw. ihrer Wahrnehmung geleistet haben.

Zusätzlich ist es bei chronischen Schmerzen schwer, Schmerzerleben und Schmerzwahrnehmung ohne begleitende Psychotherapie zu verändern. Durch die Verselbständigungstendenzen hin zum chronischen Schmerzsyndrom mit einhergehender Verschiebung der Schmerzschwelle ist es möglich, dass das Schmerzempfinden trotz ursächlicher Therapie unverändert bleibt.

5.3 Fehlerdiskussion

5.3.1 Zeitrahmen der Trainingseinheiten

Nur einer der Probanden schaffte die Absolvierung der 36 Trainingseinheiten in 12 Wochen. Die Probanden benötigten durchschnittlich 173,4 Tage. Die minimale Trainingsdauer betrug 77 Tage, die längste 367 Tage, entsprechend einer Trainingsfrequenz von 3,5 bzw. 0,8 Trainingseinheiten pro Woche. Es konnte nicht gezeigt werden, dass die Probanden mit längerer Trainingsdauer schlechtere Ergebnisse aufwiesen als diejenigen, die in kurzer Zeit ihre 36 Trainingseinheiten absolvierten.

5.3.2 Störfaktoren

Lepers et al. (1997) weist darauf hin, dass die Posturographie stark beeinflusst ist von Konzentration und Motivation. Unsere Messungen fanden in einem ausschließlich dafür benutzten Raum in ruhiger Umgebung statt. Nur der Proband und der Untersucher hatten während der Messungen Zutritt. Bei freiwilliger Teilnahme ist von einer ausreichenden Motivation auszugehen.

Kohen-Raz et al. fanden 1996 in einer Untersuchung zum Einfluss von Arbeitsbelastung und zirkadianen Rhythmen einen signifikanten Beeinflussung der Arbeitszeit auf Stabilität,

Schwankungsstärke (spectral power of postural sway) bei geringen Frequenzen (0,1-0,25 Hz), Synchronisationsstörungen zw. Ferse und Vorfuß eines Fußes und einen signifikanten Einfluss des zirkadianen Verlaufs auf Schwankungsstärke bei hohen Frequenzen (1-3 Hz) und die harmonische Gewichtsverteilung auf den vier Fußplatten. Allerdings nur in solchen Positionen, bei denen das visuelle und somatosensorische System unterdrückt wurde, wodurch das vestibuläre System unter den Stress der alleinigen Verantwortung für die Gleichgewichtskontrolle kommt. Daraus schloss Kohen-Raz, dass die Funktion dieses Systems am stärksten von der Ermüdung betroffen wird. Diese Einflüsse dürften sich bei der vorliegenden Arbeit herausmitteln, da die Probanden zw. 6.00-22.00 Uhr zum Training bzw. Messen kommen konnten und auch nicht vorgeschrieben wurde, ob das jeweils vor oder nach der Arbeitszeit zu geschehen hatte. Auch konnte durch den die Untersuchung durchführenden Studienleiter keine Vorliebe für bestimmte Zeiten festgestellt werden.

Sibbel (1999) weist darauf hin, dass der psychische Zustand einer Person die Ausführung körperlicher Aktivitäten mit hohen koordinativen Anforderungen positiv wie negativ beeinflussen kann. Nach Eindruck des Untersuchers lagen keine psychopathologischen Aberrationen vor. Die Teilnahme wie auch die Möglichkeit zum Abbruch der Teilnahme an der Studie war zu jeder Zeit eigenständig und ohne Nachteil durch die Probanden zu entscheiden. Die Einschlusskriterien schlossen ein akutes Schmerzgeschehen aus, um psychische Wirkungen im oben genannten Sinne zu vermeiden.

5.3.3 Möglichkeiten und Grenzen der statischen Posturographie

In diesem Abschnitt wird auf die statistisch gesicherte Eignung der Posturographie als Methode eingegangen, die Unterdrückung einzelner Sinnesqualitäten und die Störungen der Gleichgewichtskontrolle durch äußere Einflüsse wird im Literaturvergleich untersucht und der eigenen Arbeit gegenübergestellt.

Di Fabio (1996) bestätigte in einer Meta-Analyse aus den Jahren 1966-1994 über Spezifität und Sensitivität posturographischer Arbeiten bei der Diagnostik zentralvestibulärer Störungen die statistische Äquivalenz der Sensitivität zw. DPG und SPG. Beide Posturographiearten sind hochspezifisch zur Feststellung von Balancedefiziten (Di Fabio 1995). Auch fand sich kein Vorteil des einen gegenüber dem anderen hinsichtlich Anwenderfreundlichkeit und Patientenakzeptanz. Er berichtet über die

erfolgreiche und statistisch korrekte Benutzung der SPG als Balance-Test in den Arbeiten von Black et al. (1978), Norre und Forrez (1986) sowie Gagey (1991). Norre und Forrez studierten Patienten mit peripherer vestibulärer Störung mittels Romberg-Test, modifiziert durch Kopfextension und Augenschluss. Black et al. fügten das Stehen auf Schaumstoff hinzu. Norre und Forrez fanden Balancestörungen, ohne spezielle Schwankmuster bestimmten Erkrankungen zuordnen zu können. Auch Gagey bestätigte die Eignung der statischen Plattformposturographie zur Messung der Gleichgewichtskontrolle und weniger zur direkten Lokalisierung defekter anatomischer Strukturen.

Lepers et al. beschreiben 1997, dass die Möglichkeiten der Untersuchung einzelner Sinnesqualitäten hinsichtlich ihres Einflusses auf das Gleichgewichtssystem begrenzt sind. Diese Einschätzung wird vom Autor nur bedingt geteilt, denn es muss daran erinnert werden, dass man die einzelnen Inputsysteme selektiv unterdrücken kann. Das visuelle System lässt sich durch das Schließen der Augen unterdrücken oder durch schwanksynchrone Mitbewegungen des Gesichtsfeldes derart stören, dass die Integrationszentren (Lepers et al. 1997) die mit den anderen Inputsystemen gelieferten Informationen nicht zur Deckung bringen (können) und die visuellen Informationen daher unterdrückt werden, ähnlich dem Vorgang der Adaptation an schwankendem Untergrund bei Seekrankheit. Das vestibuläre System lässt sich durch Reklination des Kopfes und galvanische Ströme irritieren (Karlberg et al. 1996). Die Propriozeption kann durch Vibrationen an Waden und Hals bzw. Stehen auf Schaumstoff gestört werden. Die Unterdrückung einzelner Afferenzsysteme wurde im Rahmen der angeführten Untersuchungen vielfach geschildert, die Ergebnisse sind reliabel, statistisch stabil und anerkannt. Bei unseren Untersuchungen kam die Unterdrückung von je zwei der drei Afferenzsysteme zum Einsatz, z. B. in Position vier: Stand auf Schaumstoff mit geschlossenen Augen. Dabei erfolgt eine Störung bzw. Unterdrückung des propriozeptiven sowie des visuellen Systems hinsichtlich ihres Beitrags zur Gleichgewichtskontrolle.

Norre fand 1995 beim Vergleich von Patienten mit peripher vestibulären Störungen gegenüber Gesunden keine Unterschiede zwischen Messungen mit bzw. ohne Schaumstoff bei der Untersuchung mittels SPG. Als mögliche Ursache wird diskutiert, dass bei peripheren vestibulären Störungen die Propriozeption nicht als Ersatzsystem eingesetzt wird oder der Schaumstoff die Propriozeption nicht ausschalten konnte, da er

ungeeignet gewesen sei. In der vorliegenden Untersuchung wurde eine durch die Herstellerfirma standardisierte Schaumstoffunterlage verwendet, auf die sich die Referenzdaten der Software beziehen. Somit konnte ein systematischer Fehler ausgeschlossen werden.

Äußere Einflussgrößen auf die Gleichgewichtskontrolle sind nach Scherer (1997) Müdigkeit, Medikamente, Alkohol, Nikotin und Willküraktivität. Kohen-Raz (1996) untersuchte und bestätigte die Wirkungen von zirkadianen Rhythmen und Erschöpfung nach einem Arbeitstag auf die Standstabilität. Diese Einflüsse dürften, wie oben schon erwähnt, keinen weiteren Einfluss auf die vorliegenden Untersuchungsergebnisse haben. Der Einfluss von Alkohol und Medikamenten erscheint auch deshalb gering, weil die Untersuchungen und das Training der Probanden in unmittelbarer zeitlicher Nähe zur Arbeitszeit vorgenommen wurden. Ausfälle durch Krankheit traten nicht auf. Zwei Probandinnen verließen die Untersuchung aufgrund einer Schwangerschaft frühzeitig, ihre Messergebnisse wurden ausgeschlossen.

5.3.4 Trainings – und Messfehler

Wichtig zum Erhalt valider Ergebnisse ist ein standardisierter Messablauf. Dieser wurde durch eine Fixierung der Messgeräte für die Dauer der Studie in einem Raum am gleichen Platz mit täglichem Eichen sowie die Untersuchungsdurchführung durch den gleichen Untersucher gewährleistet.

Einen besonders empfindlichen Abschnitt der posturographischen Untersuchung stellte die Platzierung der Füße auf den Plattformen dar. Geschieht dies außermittig, ist die Messung nicht verwertbar. Daher wurden Schablonen verwandt, um die Platzierung der Füße im immer gleichen Bereich zu ermöglichen.

Um Trainingsfehler zu vermeiden, wurde das Trainingskonzept durch Sportwissenschaftler erarbeitet und durch den immer gleichen Trainer vermittelt. Nach den Erkenntnissen von Froböse und Wilke sollte ein neuromuskulär-koordinatives Training folgendermaßen aufgebaut sein:

1. Schulung der Integration propriozeptiver Einflüsse zunächst in horizontaler Ebene (zur Ausschaltung des vestibulären Systems)
2. Schulung der statischen Balance erst horizontal, dann vertikal

3. Schulung der dynamischen Balance (Bewegung im Raum!)
4. Zeitgleiche Schulung der Gleichgewichtsreaktionen
5. Schulung der Bewegungsvielfalt und -qualität (Wilke und Froböse 1998)

Diesen Anforderungen entspricht das verwendete Trainingsschema im Spacecurl.

6 Zusammenfassung

(a) Untersuchungsziel: In einer randomisierten, kontrollierten Experimentalstudie wurden zur Darstellung des *Einflusses des Spacecurltrainings auf die Koordination* 104 Krankenschwestern mit rezidivierenden Rückenbeschwerden einer MTT mit dem Spacecurl unterzogen und posturographisch untersucht.

(b) Gruppeneinteilung: Die posturographischen Ergebnisse *der Gruppe der Trainierenden (Gruppe T)* wurden vor und nach dem Trainingszyklus verglichen mit: einer weiteren *Spacecurl-Trainingsgruppe mit zusätzlichem Rückeninformationsprogramm (Gr. T+V)*, dass kinästhetisch orientiert war, einer *Gruppe, die nur das Rückeninformationsprogramm (Gr. V)* absolvierte und einer *Kontrollgruppe (Gr. K)* ohne jegliche Intervention

(c) Durchführung: Der Trainingszyklus, 36 Trainingseinheiten mit ein bis zwei Trainingseinheiten wöchentlich, wurde jeweils nach ca. einem halben Jahr beendet. Die Untersuchungen beinhalteten die Erfassung der Gleichgewichts- und Haltungskontrolle durch Posturographie vor und nach dem Trainingszyklus sowie 3 Monate nach Beendigung. Weiterhin wurden demographische Daten und Angaben u.a. zum Rückenschmerz in einem Fragebogen vor bzw. nach dem gesamten Trainingsprogramm untersucht.

(d) Ergebnisse: In den 2 trainierenden Gruppen verbesserten sich 75,7 % der Probanden bezüglich der Standstabilität im Vergleich zwischen Prä- und Posttrainingstest hochsignifikant um 1/3 gegenüber ihren Ausgangswerten, die zwei nicht trainierenden Gruppen blieben unverändert. Am stärksten profitierten die 30-50-jährigen, normalgewichtigen Probanden. Übergewichtige zeigten schon in der Ausgangsuntersuchung schlechtere posturografische Ergebnisse als die normgewichtigen Probanden und profitierten weniger vom Spacecurltraining als Normgewichtige, jedoch mehr als die Untergewichtigen. Bei den untersuchten Probanden (20-60-jährig) fand sich keine Altersabhängigkeit der Koordinationsdefizite in der Erstuntersuchung. Der subjektiv empfundene Rückenschmerz blieb statistisch unverändert, zeigte aber eine rückläufige Tendenz. Die Posturographie eignete sich zur Verlaufskontrolle der Variable Standstabilität.

7 Schlussfolgerungen

1. Training im Spacecurl verbessert die Standstabilität respektive Koordination hochsignifikant, sowohl gegenüber den Ausgangswerten der Experimentalgruppe als auch gegenüber der Kontrollgruppe.
2. Die Posturographie eignet sich zur Verlaufskontrolle der Variable Standstabilität und damit einer koordinativ ausgerichteten Therapie. Die Nutzung der Posturographie zur Verlaufskontrolle von entsprechenden Befunden und deren Therapie ist eine Bereicherung in der Verwendung des bisher vorwiegend diagnostisch genutzten Gerätes.
3. Auf Grund der posturographisch erfassten Frequenzveränderungen sind die Effekte als vorwiegend vestibulär und zentral bedingt einzuschätzen. Die Frequenzanalysen der Trainierenden ergeben eine signifikante Verbesserung in dem Frequenzbereich und der Haltung, die typischerweise bei (peripheren) vestibulären Störungen verändert sind, und sprechen somit für Veränderungen in diesem Bereich.
4. Nur die Altersgruppe der 30-50-jährigen profitiert hoch signifikant vom Koordinationstraining, somit erscheint ein Training dieser Altersgruppe besonders sinnvoll.
5. Übergewichtige haben eine schlechtere Gleichgewichtskontrolle als Normgewichtige. In absteigender Reihenfolge profitierten die Normalgewichtigen vor den Über- und Untergewichtigen vom Spacecurltraining. Dies sollte bei zukünftigem Einsatz des Spacecurls unter therapeutischem Aspekt beachtet werden.
6. Die posturographisch gemessenen Verbesserungen der Gesamtkörperkoordination sind weniger stabil als die Verbesserung der Koordinationsmuster. Sie ließen sich 3 Monate nach Trainingsende im Gegensatz zu den EMG-Veränderungen nicht mehr nachweisen. Dies könnte Ausdruck dafür sein, dass die durch Training verbesserte Integration der Afferenzsysteme (insbesondere vestibulär) weniger stabil ist als die Verbesserung der Koordinationsmuster. Auch die Dominanz des visuellen Inputs bei gleichzeitiger Reduktion von Gleichgewichtsreizen aus der Umwelt könnte dazu beigetragen haben. Daher erscheint zum Erhalt der koordinativen Fähigkeiten ein entsprechendes und regelmäßiges Training sinnvoll.

7. Welchen Anteil an den posturographischen Verbesserungen das Training der zentralen Integration der Afferenzen, die Verbesserung der motorischen Programme oder die muskuläre Kräftigung im einzelnen hat, ist derzeit unklar und sollte Gegenstand späterer Untersuchungen sein.
8. Rezidivierende Rückenbeschwerden lassen sich mit dem verwandten Trainingsprogramm nicht zufriedenstellend verbessern. Eine zeitliche Ausdehnung des Trainings zur Verstärkung der Effekte sollte alternativ erwogen werden.
- 9 Der Einsatz des Verhaltenspräventionstrainings zeigte nicht die gewünschten Effekte, es trat sogar eine Effektreduktion in Kombination mit dem Spacecurltraining auf. Daher sollte auf eine gleichzeitige Durchführung beider Behandlungen verzichtet werden, außerdem erscheint eine Erhöhung des zeitlichen Aufwandes der Übungsphase zur Verstärkung der gelernten neuen Bewegungsmuster sinnvoll.

8 Literaturverzeichnis

1. Aalto M, Pyykko I, Starck J: Computerized Posturography, a development of the measuring system. Z Acta Otolaryngol Suppl Stockh 449 (1988) 71-75
2. Acconero N, Capozza M, Rinalduzzi S, Manfredi, GW: Clinical multisegmental posturography: age-related changes in stance control Z Electroencephalography and Clinical Neurophysiology 105 (1997) 213 – 219
3. Alund M, Larsson SE, Ledin T, Odkvist L, Moller C: Dynamic Posturographie in Cervical Vertigo. Z Acta Otolaryngol Suppl Stockh 481 (1991) 601-602
4. Aust G: Das sensorische Rezeptorverhalten in Zeit und Raum. Habilitationsschrift FU Berlin **1995**
5. Aust G: Der Einfluss des Lebensalters auf vestibulo-okuläre Reaktionen. Z Laryngo-Rhino-Otol. 70 (1991) 132 - 137
6. Aust G: Zur Altersabhängigkeit von Interaktionen zwischen Propriozeptivität und Sehen. Z Laryngo – Rhino – Otol. 75 (1996) 379 – 383
7. Baloh RW, Jacobson KM, Enrietto, JA, Corona S, Honrubia V: Balance disorders in older persons: Quantification with Posturography. Z Otolaryngol Head Neck Surg 119 (1998) 89 – 92
8. Barrack RL, Skinner HB, Cook SD: Propriozeption of the knee joint. Paradoxical effect of Training. Z Am J Phys Med 63 (1984) 175-181
9. Bäumler G, Schneider K: Sportmechanik: Grundlagen für Studium und Praxis. Verlagsgesellschaft, München, Wien, Zürich, 1981
10. Bittmann F, Badtke G: Bewegungsmuster – primärer Faktor von Fehlentwicklungen des Muskel-Skelett-Systems. Z Manuelle Medizin 32 – 2 (1994) 61-65 (Anhang)
11. Black FO, Wall C III, O`Leary D: Computerized screening of the human vestibulospinal system. Z Ann Otol 87 (1978) 853-860
12. Bortz J: Lehrbuch der empirischen Forschung. Springer Berlin, Heidelberg, New York, 1984
13. Bös K: Fitness testen und trainieren. Sportinform, Oberhaching, 1987
14. Brandt T: Schwindel. In: Kunze A (Hrsg): Lehrbuch der Neurologie. Thieme, Stuttgart, New York, 1992, S. 318-340
15. Brandt, T: Vertigo and Dizziness. In: Asbury AK, Mc Khann GM, Mc Donald I (Hrsg): Diseases of the Nervous System. Saunders, Philadelphia, 1986, S. 561-547
16. Broll-Zeitvogel E, Grifka J, Bauer J, Roths PH, Degryse P: Medizinische

- Trainingstherapie bei Lumbalsyndromen. Z Orthopäde 28 (1999) 932-938
17. Burns S: Can community based fitness centers be used for low back pain rehabilitation? San Diego, Symposium „Spine and Strength“, 1994
 18. Camicioli R, Panzer VP, Kaye J: Balance in the healthy elderly: posturography and clinical assessment. Z Arch Neurol 54 (1997) 976 – 81
 19. Cohen J: Group education interventions for people with low back pain. An overview of the literature. Z Spine 19 (1994) 1214 – 1222
 20. De Wit G: Optic Versus Vestibular and Propriozeption Impulses, Measured by Posturometry. Z Aggressologie 13, B (1972) 75-79
 21. Denner A, FAZ 27 .05.98,4
 22. Denner A: Muskuläre Profile der Wirbelsäule. Springer, Köln, 1997
 23. Di Fabio R: Meta-Analysis of the Sensitivity and Specificity of Platform Posturographie. Z Arch Otolaryngol Head Neck Surg 122 (1996) 150-156
 24. Di Fabio RP: Sensitivity and Specificity of Platform Posturography for Identifying Patients with vestibular dysfunction. Z Physical Therapy 75 (1995) 290-305
 25. Diener HC, Dichgans J, Guschlbauer B, Man H: The Significance of Propriozeption on Postural Stabilisation as Assessed by Ischemia. Z Brain Res 296 (1984) 103-109
 26. Diener HC, Dichgans J: Anwendung und Nutzen der statischen und dynamischen Standmessung (Posturographie). Z Fortschr Neurol Psychiatr 56 (1988) 249-258
 27. Elkeles T: Der Rückenschmerz. WZB - Mitteilungen 66 (1994)
 28. Enbom H, Magnusson M, Pyykkö I, Schalen L: Presentation of a Posturographic Test with Loading of the Proprioceptive System. Z Acta Otolaryngol (Stockh) 455 (1988) 58-61
 29. Engel GL: Primary Atypical Facial Neuralgia. Z Psychosom Med 13 (1977) 375 – 396
 30. Estryng-Behar M, Kaminski M, Peigne E, Maillard MF, Pelletier A, Berthier C, Delaporte MF, Paoli MC, Leroux JM: Strenuous working conditions and muskuloskeletal disorders among female hospital workers. Z Int Arch Occup Environ Health 62 (1990) 47-57
 31. Falkenau HA: Kasuistischer Beitrag zur Pathogenese und Chirotherapie des cervicalen Syndroms in der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde. Z HNO 24 (1976) 339-341
 32. Fitzgerald JE, Murray A, Elliott C, Birchall JP: Comparison of Balance Assesments by Sway Magnetometry and Force Platforms. Z Arch Otolaryngol Head Neck Surg 119 (1993) 41-46
 33. Fitzgerald JE, Murray A, Elliott C, Birchall JP: Comparison of body sway analysis

- Techniques. Assesment with subject standing on a stable surface. Acta Otolaryngol Stockh 114 (1994) 115-119
34. Foerster O: Die Physiologie und Pathologie der Coordination. 2.Aufl. Fischer, Jena, 1902
 35. Fried R, Arnold W: Der objektivierbare Romberg-Test (Posturographie) mit der „Luzerner Messplatte“. Z Laryngol Rhinol Otol Stuttg 66 (1987) 433-436
 36. Fritz C: Rückenprobleme – Ursache und Wirkung Z Krankengymnastik 42 (1990) 6
 37. Froböse I, Nellesen G (Hrsg): Training in der Therapie. 1.Aufl. Ullstein Medical, Wiesbaden, 1998
 38. FU Berlin 1995
 39. Gagey PM: Non vestibular dizziness and static posturography. Z Acta Otorhinolaryngol Belg 45 (1991) 496-501
 40. Ghoname EA, Craig WF, White PF, Ahmed HE: Percutaneous Electrical Nerve Stimulation for Low Back Pain. Z JAMA 281/9 (1999) 818-823
 41. Goebel JA, Sataloff RT, Hanson JN, Nashner LN, Hirshout DS, Sokolow CC: Posturographic evidence of nonorganic sway-patterns in normal subjects, patients, and suspected malingerers. Z Otolaryngol Head and Neck Surgery 117 (1997) 293 – 302
 42. Goebel JA: Posturographic evidence of nonorganic sway patterns in normal subjects, patients, and suspected malingeres. Z Otolaryngology- Head and Neck Surgery 117 (1997) 293-302
 43. Gröber HJ: Medizinische Trainingstherapie auf der dünnen Linie zwischen Steifheit und Haltung. Z Die Säule 4 (1999) 29-31
 44. Gupta A, Ledin T, Larsen LE, Lennmarken C, Ödkvist LM: Computerized Dynamic Posturography: a New Method for the Evaluation of Postural Stability following Anesthesia. Z Br J Anaesth 66 (1991) 667-672
 45. Hamann KF: Überlegungen zu visuovestibulären Interaktionen bei der Regulation der Körperhaltung. Z Laryngol Rhinol Otol 61 (1982) 510-512
 46. Hatch F, Maietta L, Schmidt S: Kinästhetik – Interaktion durch Berührung und Bewegung in der Krankenpflege. 3. Aufl., Eschborn, 1994
 47. Himmelfarb R, Kohen-Raz R, Rapaport J, Bloom A: The Application of Posturography in the Assesment of Vertiginous Disorders Caused by Head and Neck Injuries. Proceedings of the international meeting on whiplash injuries. University of Wales, (England), 1992
 48. Hinrichs, J.: Lehrbuch für Physiotherapeuten. 2., völlig neu überarb. Aufl., München,

1999

49. Hodges PW, Richardson CA: Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transversus abdominis. *Z Spine* 21 (1996) 2640 – 2650.
50. Hoffmann F, Bolm- Audorf U, Michaelis M, Nubling M, Stossel U: Occupational diseases of the spine in health care professions- epidemiologic and insurance aspects (I). 1. Review of internationally publicized studies. *Z Versicherungsmedizin* 49(6) (1997) 220-224
51. Hollmann W, Hettinger T: *Sportmedizin - Arbeits- und Trainingsgrundlagen*. Schattauer, Stuttgart, New York, 1990
52. Holmes JA: Erector spinae activation and movement dynamics about lumbar spine in lordotic and kyphotic squat - lifting,“ *Spine*, 17 (3), (1992) 327 - 334.
53. Horak FB, Nashner LM, Diener HC: Postural Strategies Associated with Somatosensory and Vestibular Loss. *Z Exp Brain Res* 82 (1990) 167-177
54. Horak FB, Shumway-Cook A, Crowe TK, Black FO: Vestibular function and motor proficiency of children with impaired hearing, or with learning disability and motor impairments. *Z Dev Med Child Neurol* 30 (1988) 64-79
55. Hortobagyi T, Lambert NL, Kroll WP: Voluntary and Reflex Responses to Fatigue with Stretch-Shortening Exercise. *Z Can J Sports* 6 (1991) 142-150
56. Hülse M, Neuhuber WL, Wolff HD (Hrsg): *Der kraniozervikale Übergang*. 1. Aufl. Springer, Berlin, Heidelberg, 1998
57. Hytönen M, Pyykkö I, Aalto H, Juhola M, Ramsay H: Vestibulo-Ocular and Vestibulo-Spinal Reflexes in Evaluation of Vestibular Lesions. *Z Acta Otolaryngol Suppl Stockh* 486 (1989) 231-234
58. Ishizaki H, Pyykkö I, Aalto H, Starck J: Repeatability and Effect of Instruction of Body Sway. *Z Acta Otolaryngol Suppl Stockh* 481 (1991) 589-592
59. Jackson RT, Epstein CM, Boyette JE: Enhancement of Posturography Testing with Head Tilt and Energy Measurements. *Z Am J Otol* 12 (1991) 420-425
60. Jackson RT, Epstein CM: Effect of head extension on equilibrium in normal subjects. *Z Ann Otol Rhinol Laryngol* 100 (1991) 63-67
61. Janda: „On the concept of postural muscles and posture in men“ In: *Aust J Physiotherapie* 29(1983) 83 – 84.
62. Jankowska E: Interneuronal Relay in Spinal Pathways from Proprioceptors. *Z Prog Neurobiol* 38 (1992) 335-378

63. Jauregui-Renaud K, Kovacsovics B, Vrethem M, Ödkvist LM, Ledin T: Dynamic and Randomized Posturography in the Follow-up of patients with Polyneuropathy. Z Archives of Medical Research 29/1 (1998) 39-44
64. Jeong BY: Contour representation of sway area in posturography and its application. Arch Phys Med Rehabil 75 (1994) 115-119
65. Jerosch J, Prymka M: Proprioception and Joint Stability. Z Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 4 (1996) 171-179
66. Karlberg M, Magnusson M, Johansson R: Effects of restrained cervical mobility on voluntary eye movements and postural control. Z Acta Otolaryngol Stockh 111 (1991) 664-670
67. Karlberg M, Magnusson M, Malmström E M, Melander A, Moritz U: Postural and Symptomatic Improvement after Physiotherapy in Patients with Dizziness of Suspected Cervical Origin. Z Arch Phys Med Rehabil Vol 77 (1996) 874-882
68. Karnath HO: Subjective Body Orientation in neglect and the interactive contribution of neck muscle proprioception and Vestibular Stimulation. Z Brain 117 (1994) 1001-1012
69. Keel P: Chronifizierung von Rückenschmerzen: Hintergründe, Auswege. Eular, Basel, 1996
70. Kempf HD: Kursleitermappe - Ausbildung zum Rückenschulleiter. Gesunder Rücken - besser leben e.V., Wiesbaden, 1996
71. Kempf HD: Schulung koordinativer Fähigkeiten in der Rückenschule. Z Die Säule 1 (2000) 6 – 10
72. Kessler M: Veränderungen des Schmerzerlebens durch Muskeltraining bei Rückenschmerzpatienten. Z Physikalische Therapie 15/6 (1994) 387 – 392
73. Koda S, Hisashige A, Ogawa T, Kurumatani N, Dejima M, Miyakati T, Kodera R, Hamada H, Nakagiri S, Aoyama H: An epidemiological study on low back pain and occupational risk factors among clinical nurses. Z Sangyo Igaku 33 (1991) 410-422
74. Kohen-Raz R, Himmelfarb M, Tzur S, Kohen-Raz A, Shub Y: An Initial Evaluation Of Work Fatigue And Circadian Changes By Multiplate Posturography. Z Perceptual and Motor Skills 82 (1996) 547-557
75. Kohen-Raz R: Application of tetra-axiometric posturography in clinical and developmental diagnosis. Z Perceptual and Motor Skills 48 (1991) 635-656
76. Kornhuber HH: Handbook of Sensory Physiology: the Vestibular System. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1974
77. Kühne R: Heben und Tragen in der Betreuung von Behinderten und Kranken - Theorie

- und Praxis unter kinästhetischem Aspekt. Europäische Hochschulschriften 1998
78. Ledin T, Jansson E, Möller C, Ödkvist LM: Chronic Toxic Encephalopathy Investigated by Dynamic Posturography. *Z Am J Otolaryngol* 12 (1991) 96-100
 79. Ledin T, Ödkvist LM: Effect of Alcohol Measured by Dynamic Posturographie. *Z Acta Otolaryngol [Suppl] Stockh* 48 (1991) 576- 581
 80. Leist KH: Sensomotorisches und funktionelles Lernen. *Z Sportwissenschaft* 7, 3, (1977)209 - 229.
 81. Lepers R, Bigard A X, Diard J-P, Gouteyron J-F, Guezennec C Y: Posture control after prolonged exercise. *Z Eur J Appl Physiol* 76 (1997) 55-61
 82. Lephart SM, Pincivero DM, Giraldo JM, Fu FH: The role of proprioception in the managment and rehabilitation of athletic injuries. *Z Am J Sports Med* 25 (1997) 130-137
 83. Lestienne F, Berthoz A, Soetching J: Postural Readjustments by Linear Motion of Visual Scenes. *Z Exp Brain Res* 28 (1977) 363-384
 84. Liemohn W: Exercise and the back. *Z Rheumatic Disease Clinics of North America* 16 (1990) 945-950
 85. Lühmann D, Kohlmann T, Raspe H: Die Evaluation von Rückenschulprogrammen als medizinische Technologie. Nomos, Baden-Baden, 1998
 86. Maier-Riehle B, Härter M: Die Effektivität von Rückenschulen aus empirischer Sicht – eine Metaanalyse. *Z Zeitschrift für Gesundheitspsychologie* 4 (1996) 197 – 219
 87. Manniche C: Intensive dynamic back exercises for chronic low back pain: a clinical trial. *Z Pain* 47 (1991) 53 - 63
 88. Matthias C, Raspe H: Chronische Kreuzschmerzen: Ist die Volkskrankheit noch bezahlbar? *Z Dtsch Sportmed* 48 (1997) 60
 89. Meinel K (Hrsg), Schnabel G (Hrsg): *Bewegungslehre*. Volk und Wissen, Berlin 1976
 90. Merton PA: Human Position Sense and Sense of Effort. *Z Symp Soc Exp Biol* 18 (1964) 387-400
 91. Müller K, Schwesig R, Granert J P, Leuchte S, Reißhauer A, Riede D: Posturographische Ergebnisse eines Spacecurl – Koordinationstrainings zur Prävention von Rückenschmerzen bei Pflegekräften. *Z Phys Med Rehab Kuror* 10 (2000 B) 151-152.
 92. Müller K, Schwesig R, Leuchte S, Reißhauer A, Riede D: Koordinationstraining im Spacecurl – Ein neuer Weg zur Prävention von Rückenschmerzen. *Osteologie* 9 (2000

A) 115-116

93. Nachemson A: Chronic pain – the end of the welfare state? Z Quality Life Research 3 (1994) 11 - 17.
94. Nachemson A: The effects of forward leaning on lumbar intradiscal pressure. Z Acta Orthp Scand 35 (1965) 314 – 319
95. Nashner LM, Berthoz A: Visual Contribution to Rapid Motor Responses During Posture Control. Z Brain Res 150 (1978) 403-407
96. Nashner LM, Black FO, Wall III,C: Adaption to altered support surface and visual conditions during stance: Patients with vestibular deficits. J Neurosci 2 (1982) 536-544
97. Nashner LM, Shupert CL, Horak FB, Black FO: Organization of posture controls: an analysis of sensory and mechanical constraints. In: Allum JHJ, Hulliger M (Eds): Afferent Control of Posture and Locomotion. Z Progress in brain research 80 (1989) 411-418
98. Nentwig CG: Effektivität der Rückenschule – Ein Überblick über die Ergebnisse der evidenz-basierten Evaluation. Z Orthopädie 28 (1999) 958 – 965
99. Neurodata Wien-Berlin (Hrsg): Das Tetrax Posturographiesystem. (Gebrauchsanweisung) 1999
100. Nicol C, Kmoi PV, Horita T, Kyröläinen H, Takala TES, : Reduced Stretch- Reflex Sensitivity after Exhausting Stretch-Shortening Cycle Exercise. Z Eur J Appl Physiol 72 (1996) 401-409
101. Nieuwenhuys R, Voogd J, van Huizen C: The human central nervous system. 3. Aufl., Springer, Berlin Heidelberg, New York, Tokyo, 1988
102. Norre ME, Forrez G, Beckers A: Posturography Measuring Instability in Vestibular Dysfunction in the Elderly. Z Age Ageing 16 (1987) 89-93
103. Norre ME, Forrez G: Posture testing (Posturography) in the diagnosis of peripheral Vestibular Pathology. Z Arch Otorhinolaryngol 243 (1986) 186-189
104. Norre ME, Forrez G: Vestibulospinal function in otoneurology. Z ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec 48 (1986) 37-44
105. Norre ME: Cervical Vertigo. Diagnostic and Semiological Problem With Special Emphasis Upon „Cervical Nystagmus“. Z Acta Otorhinolaryngol Belg 41 (1987) 436-452
106. Norre ME: Head Extension Effect in Static Posturographie. Z Ann Otol Rhinol Laryngol 104 (1995) 570-573
107. Nubling M, Michaelis M, Hoffmann F, Stossel U: Spinal diseases in the nursing

- profession-a cross-sectional study. Z Gesundheitswesen 59(4) (1997) 271-274
- 108.Ödkvist LM, Alund M, Ledin T, Noaksson L, Möller C: The role of Posturography and Electronystagmography in Whiplash Injuries. In: Claussen CF, Sakata E, Itoh A (eds): Vertigo Nausea, Tinnitus and Hearing Loss in Central and Peripheral Vestibular Diseases. Elsevier Science B.V. (1995) S. 259-262
- 109.Ojala M, Matikainen E, Juntunen J: Posturography and the Dizzi Patient: a Neurological Study of 133 Patients. Z Acta Neurol Scand 80 (1989) 118-122
- 110.Pagel T: Posturographische Untersuchungen bei Patienten mit zervikalem Schwindel. Dissertationsschrift aus der Universitätsklinik und Poliklinik für Physikalische Medizin und Rehabilitation der med. Fakultät Charite der Humboldt- Universität zu Berlin, 2000
- 111.Poland JL, et al.: The musculoskeletal system. Huber, Bern, Stuttgart, Wien, 1981
- 112.Pyykkö I, Enbom H, Magnusson M, Schalen L: Effect of Proprioceptor Stimulation on Postural Stability in Patients with Peripheral or Central Vestibular Lesions. Z Acta Otolaryngol Stockh 11 (1991) 27-35
- 113.Quante M, Hille E: Propriozeption: Eine kritische Analyse zum Stellenwert in der Sportmedizin. Z Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 10 (1999) 306-310
- 114.Rasev E: Was ist Koordination? Z Die Säule 4 (1999) 6-14
- 115.Raspe HH: Epidemiologische und sozialmedizinische Aspekte von Rückenschmerzen. Köln, Symposium „Rückenschmerzen bei Erkrankungen der Wirbelsäule als interdisziplinäre Aufgabe“, 1991
- 116.Richardson C A, Jull G A: Muscle control, pain control. What exercises would you prescribe? Z Manual Therapy 1 (1995) 2-10
- 117.Riede D, Chronische Kreuzschmerzen – Diagnostik und Therapie. Z Phys Rehab Kur Med 5 (1995) 161-169
- 118.Roth V, Kohen-Raz R: Posturographic Characteristics of Whiplash Patients. Proceedings of the XII Regular Meeting of the Barany Society, Würzburg, Germany, 1998
- 119.Schenk RJ: Learning effects of a back education program. Z Spine 21 (1996) 2183-2189.
- 120.Scherer H: Das Gleichgewicht. 2.Aufl. Springer, Berlin, Heidelberg, 1997
- 121.Schewe H: Bewegungslernen – Auf dem Weg zu mehr Wissen und Verständnis. Z Krankengymnastik 49, Nr. 4 (1997) 623-636
- 122.Schiebler TH, Schmidt W: Anatomie. 5 Aufl. Springer, Berlin, Heidelberg, 1991???
- 123.Schlapbach P: Back school. In: Schlapbach P, Gerber N: Physiotherapy: Controlled

- Trials and Facts. Karger, Basel, 1991
- 124.Schochat T, Jackel WH: Prevalence of low back pain in the population. Z Rehabilitation-Stuttg 37 (1998) 216-223
- 125.Schwartz FW, Walter U: Prävention. In: Schwartz (Hrsg): Das Public Health Buch. 1. Aufl. Urban & Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore, 1997
- 126.Schwesig R: Evaluierung des Koordinationstrainings im Spacecurl zur Sekundärprävention von Rückenschmerzen. Dissertationsschrift der Philosophischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Fachbereich Sportwissenschaften (2001)
- 127.Seifert K: Schwindel im Alter. Selten besteht nur eine einzige Ursache. Z HNO-Highlights 5 (1995) 25 – 33
- 128.Seifert S: Propriozeptives neuromuskuläres Training zur Stabilisierung der Wirbelsäule. Z Die Säule 4 (1999) 22-23
- 129.Shumway-Cook A, Horak FB, Black FO: A critical examination of Vestibular function motor impaired learning disabled children. Z Int J PediatrOtorhinolaryngol 14 (1987) 21-30
- 130.Sibbel K: Editorial. Z Die Säule 4 (1999) 5
- 131.Silbernagel S, Despopoulos A: Taschenatlas der Physiologie. 4. Aufl. Thieme, Stuttgart, New York, 1991
- 132.Silbernagel S: Physiologie**
- 133.Stoll W, Matz D, Most E, Rudolf G: Schwindel und Gleichgewichtsstörungen. 3. Aufl. Thieme, Stuttgart, New York, 1998
- 134.Stoll W, Matz D, Most E,: Schwindel und Gleichgewichtsstörungen. 3. Aufl. Thieme, Stuttgart, New York, 1986
- 135.Stoll W: Posturographie in der Vestibularisdiagnostik- Prinzip, Interpretation und klinische Erfahrung. Z Laryngol Rhinol Otol Stuttg 64 (1985) 590-594
- 136.Tittel K: Editorial. Z Die Säule 4 (1999) 5
- 137.Umphred D: Integration von Bewegungskontrolle und Bewegungslernen in die klinische Praxis. Z Krankengymnastik 49, Nr. 4 (1997) 637-642
- 138.Vele F:: Die Bedeutung der Muskelkoordination für die Leistungssteigerung - Muskeltraining in der Sporttherapie. Z Kleine Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Gesundheitssport und Sporttherapie (1989) 31 – 38.
- 139.Vischer Th.; Oliveri M.: Effizienz von Behandlungsmassnahmen. In: Keel P (Hrsg): Chronifizierung von Rückenschmerzen: Hintergründe, Auswege. Basel, 1996

- 140.Volkert R: Rückenschmerzen: Chronifizierung durch Frühtherapie verhindern! Z Fortschr Med 115 (1997) 1-4
- 141.Waddel G: The back pain revolution. 1st ed Churchill Livingstone, Edinburgh, London, New York, Philadelphia, Sidney; Toronto(1998)
- 142.Wall C, Black FO: Postural Stability and Rotational Tests: their Effectiveness for screening dizzy Patients. Z Acta Otolaryngol Stockh95 (1983) 235-246
- 143.Weih L: Muskuläre Dysbalance. In: Wirth CJ: Praktische Orthopädie – Überlastungsschäden im Sport. Band 23. Thieme, Stuttgart, New York, 1993
- 144.Weisemann JA: Der Rombergsche Stehversuch: Der Einfluss von wiederholten Untersuchungen und verschiedenen Kopf – und Körperhaltungen auf das aufrechte Stehen. Eine posturographische Untersuchung an einem gesunden Kollektiv. Dissertation FU Berlin, (Germany), 1988
- 145.Wilder J, dass „Ausgangswert-Gesetz“- ein unbeachtetes biologisches Gesetz; seine Bedeutung für Forschung und Praxis. Z Klinische Wochenschrift 41 (1931) 1889-1893
- 146.Wilke C, Froböse I: Grundlagen der Bewegungssteuerung und des koordinativen Trainings in der Therapie. In: Froböse I, Nellesen G (Hrsg): Training in der Therapie. 1.Aufl. Ullstein Medical, Wiesbaden, 1998
- 147.Witte H, Recknagel S: Ist die indirekte Posturographie mittels Kraftmessplatten der direkten Posturographie durch Bewegungsanalyse gleichwertig? Eine physikalische Betrachtung. Z Biomed. Technik 42 (1997) 280-283
- 148.Wolfson L, Whipple R, Derby CA.: Dynamic posturography study of balance in healthy elderly. Z Neurology 42 (1992) 2069 – 75

9 Thesen

- 1 Ziel der Untersuchung war es, in einer randomisierten, kontrollierten Experimentalstudie den *Einfluss des Spacecurltrainings auf die Koordination* am Beispiel von 104 Krankenschwestern mit rezidivierenden Rückenbeschwerden posturographisch, anhand der Messung der Standstabilität, zu untersuchen.
- 2 Das verwendete Trainingsgerät Spacecurl besteht aus einem Rahmen, in dem sich drei ineinander aufgehängte Ringe (kardanische Aufhängung) befinden. Einer Person, die im innersten Ring an Füßen und Becken befestigt ist, wird so ein dreidimensionales Bewegungstraining ermöglicht.
- 3 Die Experimentalgruppe führte eine Medizinischen Trainingstherapie mit dem Spacecurl durch, während die Kontrollgruppe unbehandelt blieb. Der Trainingszyklus, 36 Trainingseinheiten mit ein bis zwei Trainingseinheiten wöchentlich, wurde durchschnittlich nach ca. einem halben Jahr beendet. Von diesem Training wurde eine Verbesserung der Gesamtkörperkoordination, gemessen anhand der Standstabilität, erwartet.
- 4 Die posturographische Untersuchung der Standstabilität gab Auskunft über das Schwankverhalten der Probanden. Sie erfolgte mit dem Posturometer TETRIX-INTERAKTIV BALANCE SYSTEM, indem auf Kraftmessplatten die Druckschwankungen an den Fußsohlen der darauf stehenden Probanden gemessen und differenziert untersucht wurden. Die posturographische Messung der Trainierenden wurden vor und nach dem Trainingszyklus sowie drei Monate nach Trainingsende erhoben. Es erfolgte eine statistische Auswertung der Ergebnisse miteinander sowie die Untersuchung auf Abhängigkeit von persönlichen Faktoren.
- 5 Das Spacecurltraining führte eine Verbesserung der Koordination herbei. In den 2 trainierenden Gruppen verbesserten sich 75,7 % der Probanden im Vergleich zwischen Prä- und Posttrainingstest hochsignifikant um 1/3 gegenüber ihren Ausgangswerten, während sich die zwei nicht trainierenden Gruppen nicht signifikant veränderten.

- 6 Spacecurltraining fördert insbesondere die Integration vestibulärer Afferenzen in das Gleichgewichtssystem, sichtbar in den Frequenzanalysen, sowie die Standstabilität in Positionen, in denen die Körperbalance nahezu ausschließlich auf den vestibulären Input der Trainierenden beruht.
- 7 Am stärksten profitieren die 30-50-jährigen, normalgewichtigen Probanden. Übergewichtige zeigen schon in der Ausgangsuntersuchung schlechtere posturographische Ergebnisse als die normgewichtigen Probanden und profitieren weniger vom Spacecurltraining als Normgewichtige, jedoch mehr als die Untergewichtigen.
- 8 Die Untersuchung zeigt, dass Koordinationstraining im Spacecurl die posturographischen Ergebnisse respektive die Koordination verbessert. Demnach kann das Spacecurltraining als sinnvolles Koordinationstraining aufgefasst werden. Auch erwies sich die Posturographie als eine geeignete Untersuchungsmethode zur Ermittlung von Koordinationsveränderungen durch Spacecurltraining.
- 9 Der Verlust der verbesserten Standstabilität drei Monate nach Trainingsende wird als Ausdruck dafür gewertet, dass die durch Training verbesserte *Integration der Afferenzsysteme* (insbesondere vestibulär) weniger stabil ist als die Verbesserung der Koordinationsmuster. Ein regelmäßiges sensomotorisches Training ist eine Vorbedingung zum Erhalt der posturographisch ermittelten Verbesserungen der Standstabilität.
- 10 Die Größe der Effekte des Trainings der zentralen Integration der Afferenzen, der Verbesserung der motorischen Programme und der muskuläre Kräftigung an den posturographischen Verbesserungen konnte mit der vorliegenden Versuchsanordnung nicht eruiert werden und sollte Gegenstand nachfolgender Untersuchungen sein.

Tabellarischer Lebenslauf

Angaben zur Person

Name: Jan Paul Granert
Wohnort: 06114 Halle, Viktor-Scheffel-Str. 1
Geburtstag und –ort: 10. 12. 1970 in Erfurt

Schulbildung

1976 – 1987 Polytechnische Oberschule Erfurt
1991 – 1994 Abendgymnasium / Kolleg Halle
29. 6. 1994 Abitur in Halle

Berufsausbildung und Beschäftigung

1987 – 1990 Fachschule für Krankenpflege
31. 8. 1990 Krankenpflegeexamen
1990 – 1991 Pfleger in der Orthopädischen Klinik Erfurt
1991 – 1992 Pfleger an der Universität Halle, Klinikum Kröllwitz
1994 Studium der Medizin an der Universität Halle
ab 1998 Mitarbeit in der Ambulanz der Kassenärztlichen Vereinigung Halle im Sankt-Elisabeth-Krankenhaus
1999 – 2000 Praktisches Jahr im Rahmen des Medizinstudiums an der Orthopädie der Universität Halle und den Berufsgenossenschaftlichen Kliniken Bergmannstrost (Innere Medizin, Chirurgie, Wahlfach Orthopädie)
17. 10. 2000 Drittes Staatsexamen
2000 – 2001 Arzt im Praktikum im Querschnittzentrum der Berufsgenossenschaftlichen Kliniken Bergmannstrost Halle
2001 - 2002 Assistenzarzt an der Universitätsklinik und Poliklinik für Orthopädie und Physikalische Medizin an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Sektion Physik. Therapie und Rehabilitationsmedizin
2003 Assistenzarzt, Klinik für Innere Medizin, Diakoniewerk Halle
seit 07/2003 Assistenzarzt für Physikalische Medizin und Rehabilitation, MEDICA-Klinik Leipzig

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere , dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen kenntlich gemacht habe.

Bisher wurde von mir weder zu diesem noch zu einem anderen Thema eine Dissertation angefertigt.

Halle (Saale), den 05.01.2004

Jan Paul Granert

Publikationen der Ergebnisse dieser Untersuchung

Müller K, Schwesig R, Granert J P, Leuchte S, Reißhauer A, Riede D:

Posturographische Ergebnisse eines Spacecurl – Koordinationstrainings zur Prävention von Rückenschmerzen bei Pflegekräften. Phys Med Rehab Kuror 10 (2000) 151-152,

Granert J, Schwesig R, Müller K:

Posturographie – eine Methode zur Erfassung neuromuskulärer Veränderungen durch eine MTT mittels Spacecurl? Vortrag im Rahmen des 5. Mitteldeutschen Symposiums „Physikalische und Rehabilitative Medizin“ in Halle/Saale im Mai 2001

Granert J P, Schwesig R, Müller K:

Posturographie – eine Methode zur Erfassung neuromuskulärer Veränderungen durch eine MTT mittels Spacecurl? In Müller K, Becker S, Röhl K, Seidel J E (Hrsg.): Ausgewählte Aspekte der physikalischen und rehabilitativen Medizin. GFBB Verlag Bad Kösen (2002) 119-136

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei den Probandinnen und Probanden bedanken, die an dieser Studie teilgenommen haben. Ohne ihre Einsatzbereitschaft wäre diese Promotion nicht zustande gekommen.

Für die Bereitstellung des Themas sowie die Unterstützung danke ich Herrn Oberarzt Dr. med. Klaus Müller sowie Herrn Oberarzt Dr. med. Jörg Brandt, weiterhin allen meinen Lehrern für ihr Engagement und ihre Geduld, die sie in meine Bildung und Ausbildung einbrachten.

Bei Herrn Dr. phil. Rene Schwesig möchte ich mich für die freundliche Zusammenarbeit und die Kooperation bei der Datenerfassung und statistischen Auswertung bedanken.

Ein herzlicher Dank gilt meiner Frau für ihr Verständnis, die häufig allein übernommene Betreuung unserer Kinder und ihre Zeit, Raum und Moral gebende Unterstützung sowie meinen Eltern für ihre materielle Hilfe während des Studiums, der Promotionszeit und des Berufseinstiegs.

Bei all denjenigen, die Anteil am Erfolg dieser Arbeit hatten und nicht namentlich erwähnt wurden, bitte ich um Nachsicht und danke ihnen hiermit ausdrücklich.

Jan Paul Granert