BUNDESWEHRKRANKENHAUS ULM

KLINIK FÜR UNFALLCHIRURGIE UND ORTHOPÄDIE

(ÄRZTLICHER DIREKTOR: PROF. DR. MED. BENEDIKT FRIEMERT)

Einfluss geringer körperlicher Belastung auf die posturale Stabilität bei älteren Personen

Dissertation zu Erlangung des Doktorgrades der Medizin der Medizinischen Fakultät der Universität Ulm

Christian van Uden

Laichingen

2014

Amtierender Dekan:	Prof. Dr. Thomas Wirth
1.Bericherstatter:	Prof. Dr. Benedikt Friemert
2.Berichterstatter:	Prof. Dr. Markus Arand
Tag der Promotion:	21.05.2015

Teile dieser Dissertation wurden bereits in folgenden Fachartikeln veröffentlicht:

- **Palm HG, van Uden C, Riesner HJ, Lang P, Friemert B**: Influence of Submaximal Exercise on Postural Control in Older Adults. Am J Phys Med Rehabil. 2015 Apr 16 [Epub ahead of print]

Diese Doktorarbeit möchte ich meinem erst vor kurzem verstorbenem Großvater Harry Kutzner widmen.

Leider war es Dir nicht vergönnt, dass Ende dieser Arbeit und meines Studiums zu erleben.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis I
Abkürzungsverzeichnis III
1. Einleitung 1
1.1. Allgemeines 1
1.2. Posturale Kontrolle 6
1.2.1. Überblick 6
1.2.2. Vestibularorgan 7
1.2.3. Propriozeption und Mechanorezeption 9
1.2.3.1. Propriozeption 9
1.2.3.2. Mechanorezeption 10
1.2.4. Visuelles System 11
1.2.5. Motorik, Reflexe und Kleinhirn 12
1.2.5.1. Motorik 12
1.2.5.2. Reflexe 13
1.2.5.3. Kleinhirn 13
1.3. Fragestellungen 14
2. Probanden und Methoden 16
2.1. Probanden 16
2.2. Studienplan 18
2.2.1. Modul 1: Personenbezogene Daten 19
2.2.2. Modul 2: Untersuchungsbogen 20
2.2.3. Modul 3: Sturzanamnese 22
2.2.4. Modul 4: Barthel-Index 24
2.2.5. Modul 5:Tinetti-Test (POMA-Score) 24
2.2.6. Modul 6: Berg-Balance-Test 25
2.2.7. Modul 7: Allgemeine Messparameter 27
2.2.7.1. Chairstand-Test (CST) 27
2.2.7.2. Timed up and go-Test (TUAGT 28
2.2.7.3. Sechs-Minuten-Geh-Test (6-MGT) 29
2.2.7.4. Treppensteigtest (TST) 30
2.2.8. Modul 8: CDP (Biodex Balance System 32

2.2.9. Modul 9: Funktionelle Bandage 36
2.3. Statistik 36
3. Ergebnisse 37
3.1. Vergleich der Stabilitätsindices der Gruppen A (50-64 Jahre) und B(>65Jahre) 37
3.2. Body Mass Index (BMI) 43
3.3. Balanceselbsteinschätzung 47
3.4. Barthel-Index 51
3.5. Tinetti-Test (POMA-Score) 56
3.6. Berg-Balance-Test 58
3.7. Chairstand-Test 60
3.8. Timed up and go-Test 62
3.9. Zweipunktdiskrimination 64
3.10. Freizeitaktivität 65
3.11. Geschlecht 67
3.12. Sturzanamnese 68
4. Diskussion 70
4.1 Allgemein 70
4.2 Vergleich Gruppe A gegenüber Gruppe 73
4.3 Body Mass Index (BMI) 75
4.4 Balanceselbsteinschätzung 75
4.5 Barthel-Index 76
4.6 Tinetti-Test (POMA-Score) 77
4.7 Berg-Balance-Test 78
4.8 Chairstand-Test 79
4.9 Timed-up-and-Go-Test 80
4.10 Zweipunktdiskrimination 80
4.11 Freizeitaktivität 81
4.12 Geschlecht 82
4.13 Sturzanamnese 83
5. Zusammenfassung 86
6. Literaturverzeichnis 88
7. Danksagung 101
8. Lebenslauf 102

Abkürzungsverzeichnis

6-MGT	Sechs-Minuten-Gehtest
AP	Anterior-Posterior
APSI	Anterior-Posterior Stability Index
Art.	Articulatio = Gelenk (lat.)
BBS	Biodex Balance System
BBT	Berg Balance Test
BMI	Body Mass Index
Bpm	beats per minute (engl.) = Schläge pro Minute
bzw.	beziehungsweise
CDP	Computerunterstützte dynamische Posturographie
CoP	Center-of-Pressure
CST	Chairstandtest
DEGAM	Deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin
et al.	und andere (lat.); Abkürzung für Literaturstellen
etc.	et cetera = und die üblichen Dinge (lat.)
EU	Europäische Union
III	römische Schreibweise der Zahl 3
IV	römische Schreibweise der Zahl 4
kg	Kilogramm
KHK	Koronare Herzerkrankung
M.	Morbus = Krankheit (lat.)
m	Meter
ML	Medio-Lateral
MLSI	Medio-lateral Stability Index

Mrd.	Milliarde(n)
N.	Nervus = Nerv (lat.)
Ncl.	Nucleus = Kern (lat.)
NEJM	New England Journal of Medicine
NYHA	New York Heart Association
o.g.	oben genannte(s,r,n)
OSI	Overall Stability Index
pAVK	periphere arterielle Verschlusskrankheit
PD	Proportional-Differential
POMA	performance orientated mobility assessment
s.a.	siehe auch
SD	standard deviation = Standardabweichung (engl.)
sec.	Sekunde
TEP	Total-Endoprothese
TUAGT	Timed up and go-Test
TST	Treppensteigtest
u.ä.	und ähnliches
VIII	römische Schreibweise der Zahl 8
Wdh.	Wiederholung(en)
z.B.	zum Beispiel
Z.n.	Zustand nach
ZNS	Zentrales Nervensystem

1. Einleitung

1.1 Allgemeines

Stürze sind im Leben eines jeden Einzelnen eine häufige und oft schmerzliche Erfahrung. Niemand ist wirklich davor gefeit: die Situationen, in denen Menschen stürzen, sind in jeder Lebenssituation und in jedem Lebensalter unterschiedlich und oftmals nicht vermeidbar [107], z.B. Kleinkinder, die hinfallen beim Versuch das Laufen zu lernen, Jugendliche in der Schule oder im Sportverein, Erwachsene auf vereisten Flächen im Winter und ältere Personen aufgrund verschiedenster Vorerkrankungen. Auch wenn verlässliche Daten fehlen, wird geschätzt, dass jedes Jahr in der Bundesrepublik Deutschland vier bis fünf Millionen Menschen stürzen, ca. 60-70% davon stürzen im Folgejahr erneut [38, 41, 96, 110]. Gillespie hat im Rahmen eins Cochrane Reviews zusätzlich Zahlen veröffentlicht, nach denen ca. 30% aller über 65-jährigen Personen mindestens einmal pro Jahr stürzen [33]. Diese Zahlen steigen bei den über 75-Jährigen auf ca. 42% und bei den über 80-Jährigen beträgt der Wert schon ca. 50%.

Gemäß der Kellog International Work Group aus dem Jahr 1987 wird jedes Ereignis als Sturz bezeichnet, in dessen Folge eine Person unbeabsichtigt auf dem Boden oder auf einer tieferen Ebene landet [43]. Tinetti et al. waren in der Lage statistisch signifikante Gründe für einen Sturz zu finden, wie z.B. der Gebrauch von Beruhigungsmitteln, kognitive Verschlechterung, Behinderungen der unteren Extremitäten und Fußprobleme [110]. Dabei bestimmen gerade die Umstände und Ursachen eines Sturzes das Verletzungsrisiko, wie Nevitt et al. bereits vor über 20 Jahren aufzeigen konnten; dies gilt besonders für ältere Erwachsene [70].

Gerade der ältere Personenkreis besitzt nicht nur ein erhöhtes Risiko für einen Sturz, sei es durch Medikamente, Erkrankungen, Verletzungen oder äußere Umstände [11, 23, 53], auch die Sturzfolgen sind zumeist gravierender in der älteren Bevölkerung, da Heilung und Rehabilitation oftmals länger dauern als bei jüngeren Menschen und öfters mit Komplikationen (z.B. aufgrund von Pneumonien) vergesellschaftet sind. In einer Informationsbroschüre der Ärztekammer Nordrhein wird davon ausgegangen, dass jeder zehnte Sturz eine behandlungswürdige Verletzung nach sich zieht [5]. Folgen eines Sturzes sind

nicht nur die subjektiven Leiden, wie z.B. aus dem Sturz eventuell resultierende Schmerzen oder Verletzungen und ein ggf. folgender Krankenhausaufenthalt, sondern auch das deutlich erhöhte Mortalitätsriskio bei bestimmten Verletzungen nach einem Sturz (z.B. Fraktur des Oberschenkelhalses) sowie die hohen finanziellen Auswirkungen bedingt durch das Anfallen von direkten, indirekten und intangiblen (=nicht direkt messbare monetäre Werte wie Schmerzen, Verlust der Lebensqualität u. ä.) Kosten wie Behandlungs- und Rehabilitationskosten, Produktivitätsausfall, Frühberentung etc. Allein in den USA betragen diese Kosten jedes Jahr über 19 Milliarden US-Dollar (Stand 2000) [103]. Nach Kunczik und Runge führen Stürze bei alten Menschen in der Hälfte der Fälle zu Einschränkungen der Beweglichkeit, in knapp 30% zu Hilfs- und in jedem fünften Fall zur Pflegebedürftigkeit, insbesondere bei vorbestehender Osteoporose, welche eine nicht seltene Vorerkrankung des älteren Menschen ist [47]. Die Statistik zeigt ferner, dass in der Bundesrepublik Deutschland die Zahl der durch Stürze verursachten Todesfälle in den letzten Jahren deutlich angestiegen ist (eine Zunahme im Zeitraum 2007-2011 von fast 26%). Im Jahr 2009 waren 10,4 Todesfälle pro 100.000 Einwohner auf einen Sturz zurückzuführen, 2011 waren es bereits 11,9 Todesfälle [99, 100]. Im Vergleich dazu starben in den USA 2009 insgesamt über 2,4 Millionen Menschen; davon 24792 durch Stürze, was etwa 8,1 Todesfälle pro 100.000 Einwohner entspricht [69]. Die Zahlen für die Europäische Union sind dagegen etwas niedriger, hier werden für das Jahr 2007 für alle 27 Mitgliederländer ein Wert von 5,5 todesursächlichen Stürzen pro 100.000 Einwohner angegeben [27]. Auch das Alter spielt eine entscheidende Rolle; je älter eine Person, desto höher das Risiko durch einen Sturz tödlich zu verunglücken. Von insgesamt 9722 tödlichen Stürzen in Deutschland 2011 betrafen 9339 den Personenkreis derer, die 50 Jahre oder älter waren (ca. 96%; s.a. Tabelle 1). Laut dem National Center of Health Statistics waren dies in den USA ebenfalls fast 90% für Personen über 55 Jahre, ähnliche Zahlen gelten für die EU [27, 69]. Knapp 11,5% aller tödlichen Stürze in der BRD passierten auf Treppen oder Stufen [100].

Tabelle 1 - Sturz als Todesursache in den Jahren 2007-2011 in der Bundesrepublik Deutschland Quelle: Statistisches Bundesamt, www.destatis.de

Sturz als Todesursache	50-54 Jahre	55-59 Jahre	60-64 Jahre	65 -69 Jahre	70-74 Jahre	75-79 Jahre	80-84 Jahre	85 Jahre und mehr	Insgesamt
2007	178	228	253	450	593	912	1428	3237	7728
2008	207	269	263	474	669	968	1603	3461	8333
2009	181	245	258	485	795	1013	1646	3459	8503
2010	215	236	289	443	756	1147	1885	4104	9479
2011	201	250	285	404	825	1121	1951	4302	9722

Zwei Bereiche sind bei einem Sturz besonders gefährdet: der Kopf sowie die Hüfte bzw. der Oberschenkel. Diese beiden Körperregionen führen dementsprechend bei Verletzungen mit am häufigsten zum Tod [100]. Die dadurch verursachten Krankheitskosten gehen in die Milliarden. Allein für Verletzungen der Hüfte und des Oberschenkels fielen im Jahr 2002 1,948 Mrd. € an Kosten an, was knapp ein Prozent der Gesamtausgaben aller Krankheiten ausmachte (1,579 Mrd. € davon für Patienten im Alter von 65 Jahren und älter). Im Jahr 2008 ist dieser Betrag bereits auf 2,209 Mrd. € angestiegen (eine Erhöhung um ca. 13,4%). Weiterhin bedeuten diese Art von Verletzungen eine verlorene Erwerbstätigkeit zwischen 38-50 Jahren in 1000 Jahren (die verlorene Erwerbstätigkeit ist eine mathematische Größe und beschreibt den Verlust an Jahren der Erwerbstätigkeit im Bezug auf die Erwerbstätigkeitsquoten im jeweiligen Jahr) [98].

Durch den demographischen Wandel, den die industrielle Welt und insbesondere die Bundesrepublik Deutschland im Moment und in den nächsten Jahren durchmachen wird, werden sich die absoluten Sturzzahlen und die daraus resultierenden Probleme noch weiter erhöhen. Im Dritten Bericht zur Lage der älteren Generation des Bundesministeriums für Familien, Senioren, Frauen und Jugendlichen ist man davon ausgegangen, dass bis im Jahr 2050 etwa doppelt so viel ältere Menschen wie Jüngere in Deutschland leben werden [16]. Eine Erklärung dafür ist der stetige Anstieg der Lebenserwartung von Männern und Frauen aufgrund von gesunkener Kindersterblichkeit, verbesserter Hygiene sowie zunehmender medizinischer Versorgung und Möglichkeiten. Ist man im Jahr 2001 noch von einer durchschnittlichen Lebenserwartung von 80,5 Jahren für Frauen

bzw. 74,4 Jahren für Männer ausgegangen, hat man diese Zahlen neun Jahre später bereits auf 82,4 bzw. 77,2 Jahre korrigiert [17].

Aus diesem Grund beschäftigt sich die Forschung mit der Ursachenfindung für Stürze bei Menschen im höheren Lebensalter, denn dies bedeutet im Umkehrschluss die Suche nach Präventionsmöglichkeiten. Stürze und Sturzfolgen sind eines von acht großen Themenbereichen zum Thema Prävention und Altersforschung, die im sechsten Bericht zur Lage der älteren Generation aufgelistet sind [17]. Dieser Forschungszweig ist wichtig, denn immer noch ist Prävention ein Fremdwort, wobei gerade in der betroffenen Zielgruppe z.B. körperliche Betätigung prophylaktisch wirken kann (Zitat: „Zu viele alte Menschen lehnen es noch ab, körperliches Training durchzuführen, weil sie sich in einer Phase der Passivität wähnen und auch glauben, dies stünde ihnen zu.[…]“ [17]). Bereits ab dem 40. Lebensjahr können altersbedingte Veränderungen auftreten, die sich negativ auf die posturale Stabilität auswirken können [14]. Die Zielsetzung dieser Arbeit war deshalb die Beantwortung der Frage, welche Einflussfaktoren eine Rolle spielen, welche davon nur einzelne Personen betreffen und welche wiederum für alle Menschen relevant sind. Diese Ursachen zu finden, um so gegebenenfalls gefährdete Personen schützen zu können ist nach King et al. ein wichtiges Vorhaben [44]. Bisher ist nur bekannt, dass ältere Personen bei willkürlichen und unwillkürlichen Veränderungen des Standes größere Auslenkungen im Bereich des Köpermassezentrums aufweisen und größere Drehmomente der Sprunggelenke benutzen müssen [37]. Außerdem konnte nachgewiesen werden, dass zumindest für die Subpopulation älterer japanischer Männer Arthritis im Bereich der Beine, sowie die Einnahme von mindestens vier verschriebenen Medikamenten signifikant mit Stürzen assoziiert sind [65]. Bezogen auf die Rheumatoide Arthritis konnte diese Aussage bereits verifiziert werden. In diesem Patientenkreis liegt die Sturzrate bei über einem Drittel, unabhängig vom Alter oder vom Geschlecht [97]. Andere Studien ziehen Osteoporose, Arthrose und Umweltfaktoren in Betracht, da sie häufige Erscheinungen sind und als modifizierbar gelten [45]. Schlussendlich werden Schwindel und die von uns untersuchte posturale Stabilität mit Stürzen ursächlich in Verbindung gebracht, wie in einer sehr aktuellen finnischen Arbeit demonstriert werden konnte [113]. Im Jahr 2013 wurde eine Studie publiziert, die Schwindel als wohl häufigstes Symptom bei älteren Menschen ansieht und als möglichen

Risikofaktor für einen Sturz nennt, insbesondere wenn dieser Schwindel multisensorisch bedingt ist [26]. Weiterhin stellt sich das Problem, wie nun diese Personen mit einfachen Methoden und Tests gefunden werden können. Bereits im Jahr 1989 stellte Katherine Berg die Notwendigkeit eines solchen Tests fest [8]. Black et al. schlagen ebenfalls eine Art Screening vor, um gefährdete Personen zu finden und anschließend nach individueller Ursachenforschung behandeln zu können [10].

Auch die Frage, ob eine kurze körperliche Anstrengung bei Personen im Alter ab 50 Jahren ggf. schon ausreicht, um das individuelle Gleichgewichtsvermögen so sehr negativ zu beeinträchtigen, dass ein Sturz die Folge sein kann, ist bisher unbeantwortet. Erste Hinweise dafür konnten in Brasilien gefunden werden [29]: hierbei zeigten Testpersonen höheren Alters nach einer längeren Zeit aufrechten Stehens Veränderungen gegenüber einer jüngeren Kontrollgruppe. Selbst junge sportlich aktive Personen sind vor posturalen Veränderungen nicht gefeit: eine französische Forschungsgruppe postulierte 1997, dass nach einer körperlichen Anstrengung die Fähigkeit die posturale Stabilität aufrecht zu erhalten sinkt. Die Erklärung liegt laut den Autoren darin, dass sich die sensorischen Systeme der Propriozeption, des Visus sowie des Vestibularorgans in der Erholungsphase nach der Anstrengung noch im Aktivitätsmodus adaptiert sind und daher eine Art Überhang besteht [49].

Sind Probanden älter als 65 Jahre nochmals anfälliger als Personen zwischen 50-64 Jahren, wie eine finnische Studie zeigte? Dabei wurden Teilnehmer mit einem Lebensalter von 85 Jahren und älter mit einer Kontrollgruppe (Alter zwischen 50-60 Jahren) verglichen: es bestand eine statistisch signifikante Zunahme der Schwingungsgeschwindigkeit als diese Probanden auf einer Kraftplattform untersucht wurden, sogar unter Ruhebedingungen [84]. Unklar ist daher, ob eine kurze körperliche Beanspruchung bei Personen ab dem 65. Lebensjahr ausreichend ist, um die körpereigenen Gleichgewichtssysteme so sehr zu beeinträchtigen, dass ein Sturz die Folge sein kann. Dies herauszufinden war Ziel dieser Arbeit.

1.2 Posturale Kontrolle

1.2.1 Überblick

Die posturale Kontrolle beschreibt die Fähigkeit des Menschen bei aufrechtem Stand und Gang das Gleichgewicht bewahren zu können. Um dies zu ermöglichen, werden kontinuierlich Informationen verschiedener Sinnesorgane gesammelt, die dann im zentralen Nervensystem eingehen und verarbeitet werden, um so die Muskulatur (insbesondere der unteren Extremität) zielgerecht zu steuern. Diese Informationssysteme bestehen zum einem aus dem Vestibularorgan, der Propriozeption und Mechanorezeption sowie dem visuellen System [34, 87, 90]. Alle genannten sensorischen Systeme zeigen Veränderungen, die durch das Alter bedingt sind [51]. Führend sind dabei die Veränderungen des Visus, wie z.B. die Presbyopie oder der Katarakt durch physiologische Umbauprozesse der Augenlinse [10].
Dass sich die Gleichgewichtskontrolle mit dem Alter verändert, konnte bereits 1963 nachgewiesen werden. Man ging damals davon aus, dass sich der Gleichgewichtssinn im Kindesalter ausbildet, im Erwachsenenalter schließlich den Höhepunkt erreicht und ab einem Alter von ca. 50 Jahren wieder abnimmt [91]. Das Gleichgewichtsorgan im Innenohr spielt für die Aufrechterhaltung der posturalen Kontrolle die Hauptrolle, was sich insbesondere dadurch zeigt, dass ein akuter Ausfall dieses Systems nur schwer durch die anderen Systeme kompensiert werden kann (z.B. im Rahmen des häufig auftretenden benignen paroxysmalen Lagerungsschwindels) und hierbei vom Körper als Gegenmaßnahme eine Versteifung, insbesondere der unteren Extremität, erfolgt [78]. Andererseits ist z.B. beim Verlust der Sehkraft ein aufrechter Gang durchaus weiterhin möglich. Lord et al. wiederrum wiesen jedoch nach, dass periphere Sensitivität der wohl wichtigste Faktor ist, um die posturale Stabilität aufrecht zu erhalten; eine Läsion im Bereich des Vestibularapparates ist nicht in der Lage signifikant Einfluss zu nehmen [53]. Nichtsdestotrotz spielt das Sehvermögen eine große Rolle. Die Forschungsgruppe um Perrin hat gezeigt, dass Sehen ein wichtiger Baustein bleibt um die posturale Kontrolle aufrecht zu erhalten, insbesondere wenn im Alter Weiterleitung und zentrale Verarbeitung von

neuromuskulären Informationen nachlässt [77]. Dies zeigt sich z.B. daran, dass ältere Menschen stehen bleiben, wenn sie die Anweisung erhalten beim Gehen die Augen zu schließen. Melzer et al. haben 2010 in einer retrospektiven Analyse herausgefunden, dass die medio-laterale Stabilität unter Personen mit Stürzen in der Anamnese geringer ist [60, 64] und haben so eine bereits bekannte Aussage bestätigen können [58]. Dies könnte mit geringerer Muskelkraft in den Beinen korrelieren, denn dies ist ein wichtiger Faktor um die Balance halten zu können [82]. Andere Studien hingegen verweisen auf Veränderungen in der Frontalachse bei größeren Auslenkungen in der anterior-posterioren Richtung [48]. Weiterhin zeigen ältere Erwachsene andere Verhaltensformen um einen Verlust des Sehens bzw. der Somatosensitivität zu kompensieren. Manchester et al. zeigten bei dieser Personengruppe mehr antagonistische Muskelaktivität sowie das Benutzen von Muskelgruppen, die im Gegensatz dazu von jüngeren Erwachsenen nicht benötigt werden [5]. So wird beschrieben, dass sich ältere Menschen öfters einer sogenannten Hüftstrategie bemächtigen, d.h. sie aktivieren zuerst distale und anschließend proximale Muskelgruppen.

1.2.2 Vestibularorgan

Sitz des eigentlichen Gleichgewichtssinnes ist das Innenohr. Das Innenohr ist aufgebaut aus der Gehörschnecke (Cochlea) für den Gehörsinn und den drei Bogengängen (vorder, hinterer und horizontaler Bogengang) sowie zwei Makulaorganen (Macula utriculi und Macula sacculi) für das Gleichgewicht. Die eigentlichen Sinnesorgane sind Haarzellen, welche in eine gallertartige Masse hineinragen. Im Bereich der Bogengänge wird diese Masse als Cupula bezeichnet. In den Makulaorganen befinden sich zusätzlich kleinere steinähnliche Kristalle (Lithen). Als sekundäre Sinneszellen sind die Haarzellen des Vestibularogans, ähnlich den Haarsinneszellen des Gehörs, mit afferenten Nervenzellen des N. vestibularis verbunden, der Teil des VIII. Hirnnerves ist (N.vestibulocochlearis). Somit können die Informationen aus allen fünf Gleichgewichtsorganen direkt zum ZNS übertragen werden. Aufgebaut sind die Sinneszellen aus sogenannten Stereozilien sowie einem Kinozilium. Die Makulaorgane sind dafür bestimmt Beschleunigungsbewegungen zu detektieren, ähnlich einer Fahrt im Zug. Bewegt sich der Körper im Rahmen einer

Translationsbewegung, werden die Sterozilien der Makulaorgane aufgrund der Trägheit der auf ihr sitzenden Otolithen ausgelenkt und somit ein Rezeptorpotenzial aufgebaut. Dieses wird anschließend über den Transmitter Glutamat auf die Nervenendigung des N. vestibularis weitergeleitet. Da sich der Mensch auf der Erde stetig der Schwerkraft aussetzen muss, ist je nach Lage immer ein Makulaorgan aktiviert. Im aufrechten Stand ist dies für die Macula sacculi der Fall, bei Änderung der Körperhaltung werden zusätzlich die Haarzellen der Macula utriculi mitgereizt, die ansonsten bei vertikaler Kopfhaltung fast unerregt bleibt. Somit ergibt sich für jede Position des Kopfes eine definierte Reizung der beiden Makulaorgane, welche im Zusammenspiel mit den Organen der Gegenseite die exakte Kopfposition an das ZNS wiedergeben. Im Gegensatz dazu werden Dreh- oder Winkelbeschleunigungen mithilfe der drei Bogengänge erfasst. Jeder Bogengang steht jeweils senkrecht zu den beiden anderen (sie sind dreidimensional angeordnet), so dass jede Position im Raum detektiert werden kann. Bei einer Drehbewegung wird die Cupula des jeweiligen Bogengans aufgrund einer knöchernen Verwachsung gegenüber den Haarzellen bewegt, was zu einer Auslenkung dieser Sinneszellen führt. Somit kann ein Rezeptorpotential generiert werden, welches ebenfalls an den N. vestibularis weitergeleitet wird. Die Informationen des N. vestiublaris werden an vier Kerne (Ncl. superior, inferior, medialis und lateralis) im ZNS weitergeleitet und mit Informationen aus somatischen Sensoren der Halsmuskulatur (sog. Halssensoren) ergänzt um so eine genaue Abbildung der Kopfposition zu ermitteln; auch im Gegensatz zu einer eventuellen Gegenposition des Kopfes gegenüber des restlichen Körpers (s.a. Tabelle 2).

Tabelle 2 – Auflistung der Vestibulariskerne und die dazugehörigen Afferenzen

Vestbibulariskern	Afferenzen aus
Ncl. vestibularis superior (Bechterew)	Bogengänge
Ncl. vestibularis inferior (Roller)	Maccula sacculi; Maccula utriculi; Bogengänge
Ncl. vestibularis medialis (Schwalbe)	Macculia utriculi
Ncl. vestibularis lateralis (Deiters)	Maccula sacculi; Maccula utriculi; Bogengänge

Efferenzen dieser vier Kerne enden im Lobus flocculonodularis im Kleinhirn und über den Tractus vestibulospinalis lateralis im Rückenmark. Letzter Teil ist von wichtiger Bedeutung, da hierdurch Muskelgruppen der unteren Extremität, insbesondere der streckseitigen Muskeln, direkt angesteuert werden können [34, 87, 90].

1.2.3 Propriozeption und Mechanorezeption

1.2.3.1 Propriozeption

Das Wort Propriozeption setzt sich aus den beiden lateinischen Wörtern „proprius“ und „recipere“ zusammen, was übersetzt Eigenwahrnehmung bedeutet. Die Propriozeption dient daher dem ZNS zur kontinuierlichen Informationsgewinnung über die Gelenkstellung, Muskelarbeit und Muskelkraft des Körpers. Deshalb wird die Propriozeption von manchen Autoren auch als Tiefensensibilität beschrieben. Dies geschieht unwillkürlich und ohne Zugang zum Bewusstsein, so dass dies auch bei geschlossenen Augen möglich ist. Zwei Rezeptoren sind hierfür verantwortlich: Muskelspindeln und Golgi-Organe. Muskelspindeln werden auch als intrafusale Muskulatur bezeichnet, d.h. sie befinden sind innerhalb der eigentlichen Skelettmuskulatur (=extrafusale Muskulatur) in einer bindegewebigen Kapsel. Sie sind parallel zu den extrafusalen Muskelfasern geschaltet, und liefern so Informationen bezüglich der Muskellänge. Diese Informationen werden über sogenannte Ia- und II-Afferenzen Richtung Rückenmark weitergeleitet. Eine efferente Innervation erfolgt über γ-Fasern, wodurch die Suszeptibilität der Muskelspindeln variiert werden kann. Da Muskelspindeln nicht nur die Längenänderung sondern auch die Geschwindigkeit der Längenänderung detektieren können, werden sie als Proportional-Differential-(PD-)Rezeptoren bezeichnet [34]. Golgi-Organe dahingegen sind in Serie geschaltet, d.h. sie sind zwischen Muskelansatz und Muskelsehne angeordnet. Dadurch liefern Golgi-Organe Auskunft über die Muskelkraft. Sie geben ihre Informationen an Ib-Afferenzen weiter und führen so über ein zwischengeschaltetes inhibierendes Interneuton zur autogenen Hemmung der eigenen Motoneurone [34, 87].

1.2.3.2 Mechanorezeption

Für den aufrechten Gang sind Informationen des Fußes, insbesondere der Fußsohle, von großer Bedeutung. Dazu gehören nicht nur sensiblen Eindrücke sondern auch Informationen bezüglich des Druckes und der Vibration. Dies ist mit Hilfe der Mechanorezeptoren möglich. In der gesamten Haut sind vier histologisch verschiedene Mechanorezeptoren verteilt, dazu gehören die Merkel-Zellen, die Ruffini-Körperchen, die Meissner-Körperchen sowie die Pacini-Körperchen. Jeder dieser vier Rezeptoren sitzt an verschiedenen Stellen in der Haut. Dadurch sind unterschiedlich große rezeptive Felder und Adaptionsgeschwindigkeiten möglich (s.a. Tabelle 3).

Tabelle 3 – Auflistung der Mechanorezeptoren in der menschlichen Haut

Rezeptor	Lokalisation	Adaptions-geschwindigkeit	Rezeptives Feld	Information
Merkelzellen	Epidermis (Stratum basale)	Langsam	Klein	Druck
Ruffini-Körperchen	Dermis	Langsam	Groß	Scherkräfte
Pacini-Körperchen	Subcutis	Schnell	Groß	Vibration
Meissner-Körperchen	Dermale Papillen	schnell	Klein	Druck

Die Mechanorezeption gehört ebenso wie die Propriozeption zum sogenannten lemniskalen System. Dies bedeutet, dass die Informationen der vier o.g. Rezeptoren mit dem ersten Neuron zuerst ipsilateral im Rückenmark als Fasciculus gracilis für die Beine bzw. Fasciculus cuneatus für die Arme Richtung ZNS weitergeleitet werden und erst dort im Bereich der unteren Medulla oblongata auf das zweite Neuron umgeschaltet werden (Ncl. cuneatus bzw. gracilis) um anschließend als Lemniscus medialis auf die Gegenseite zu kreuzen. Nach Umschaltung auf das dritte Neuron im Thalamus erreichen die Informationen schließlich den Gyrus postcentralis der Großhirnrinde (Area 1-3 nach Brodmann)

[87, 90]. Dass das mechanosensitive System für den aufrechten Gang und Stand von Bedeutung ist konnte die Forschungsgruppe um Hlavackova nachweisen. In ihren Testreihen wurden drei verschiedene somatosensorische Bedingungen untersucht und anschließend ausgewertet. Die daraus gezogenen Schlüsse lassen auf einen bedeutenden Einfluss des somatosensorischen Systems, insbesondere aus dem Bereich der Knöchel und des Fußes, auf die posturale Kontrolle zu [42]. Auch scheint dieser Einfluss mit dem Alter an Wichtigkeit und Bedeutung zuzunehmen, wenn Personen auf einer nicht fixierten Oberfläche stehen; im Gegensatz zu z.B. Kindern, die in dieser Situation eher visuelle Aspekte benützen um das Gleichgewicht zu halten [118]. Diese somatosensorischen Einflüsse aus dem Fußbereich sind für den Gang sehr wichtig, gewinnen beim Stand jedoch noch zusätzlich an Tragweite, wie ein Ergebnis aus den USA zeigt [122]. Bezüglich der Gelenkrezeptoren scheint es keine Änderung im Alter zu geben. So konnte z.B. in einer brasilianischen Arbeit nachgewiesen werden, dass es bei Männern im Alter zu keiner Abnahme von Mechanorezeptoren im Bereich des hinteren Kreuzbandes kommt [19].

1.2.4 Visuelles System

Ein weiteres und ebenso wichtiges Stellglied im Rahmen der posturalen Kontrolle ist das visuelle System. Unter Zuhilfenahme der hiermit gewonnenen Informationen wird das Gleichgewichtsvermögen mit gesteuert und gegebenenfalls korrigiert. Alle Sinneseindrücke beider Augen bzw. der vier Gesichtsfelder (rechtes/linkes temporales Gesichtsfeld sowie rechtes/linkes nasales Gesichtsfeld) werden auf der Netzhaut (Retina) gebündelt. Dazu fallen die Sehstrahlen durch die Hornhaut (Kornea) des Auges, der Linse (Lens) und den Glaskörper (Corpus vitreum) und werden dabei an der jeweiligen Grenzschicht aufgrund unterschiedlicher Indices gebrochen um im Idealfall als ein Punkt wieder auf der Retina aufzutreffen. Im Bereich der Netzhaut liegen die Sinneszellen für den Seheindruck. Die Retina ist aus insgesamt zehn verschiedenen Schichten aufgebaut, wobei Bipolarzellen, Horizontalzellen und amakrine Zellen die Informationen bereits in der Retina miteinander verschalten und anschließend die Informationen über Ganglienzellen, deren Axone als Sehnerv (N.opticus = zweiter Hirnnerv) zum Chiasma opticum ziehen, weiterleiten. Hier überkreuzen sich die

jeweils nasalen Sehfelder, während die temporalen Sehfelder ungekreuzt weiter verlaufen. Die nun folgenden Tractus optici der rechten und linken Seite enthalten dadurch Sehfasern beider Augen, nämlich der jeweiligen Gesichtsfeldhälfte (rechter Tractus opticus für die linke Gesichtsfeldhälfte, linker Tractus opticus für die rechte Gesichtsfeldhälfte). Über das Corpus geniculatum laterale, in dem die Umschaltung auf das vierte Neuron stattfindet, werden die Informationen an die Sehstrahlung (Radiatio optici) übertragen um so zur Sehrinde (Area striata = Area 17 nach Brodmann) im okzipitalen Bereich des Gehirns zu gelangen. Kurz vor dem Corpus geniculatum laterale zweigen einzelne Fasern ab, um zum Edinger-Westphal-Kern beider Seiten zu gelangen. Dadurch wird die parasympathisch unterhaltene Engstellung der Pupillenweite reguliert. Weitere wichtige Abzweigungen enden am Colliculus superior sowie zum Ncl. suprachiasmaticus, Pulvinar thalami und zur Formatio reticularis, die jedoch für die posturale Kontrolle nur eine untergeordnete Rolle spielen [33, 87, 90].

1.2.5 Motorik, Reflexe und Kleinhirn

1.2.5.1 Motorik

Für die willkürliche Durchführung von Bewegungen sind mehrere anatomische Strukturen notwendig, die miteinander verschaltet sind. Darunter gehören der Assoziationskortex, die Basalganglien (Ncl. caudatus sowie Putamen, die als Corpus striatum zusammengefasst werden plus Globus pallidum), der Thalamus, der Motorkortex (Area 4 nach Brodmann), die Formatio reticularis, das Kleinhirn, das Rückenmark sowie die ausführenden Muskeln, Sehnen, Bänder und Knochen. Um eine Kontrolle der Bewegungen zu gewährleisten, bedarf es Teile des sensorischen Systems, insbesondere der bereits o.g. Propriozeption. Der gesamte Komplex wird daher oftmals auch als Sensomotorik bezeichnet. Alle gewonnenen Informationen aus dem Rückenmark, Teilen des Hirnstammes und der Basalganglien werden im Thalamus gebündelt und anschließend an den Kortex weitergeleitet, um so ggf. im Rahmen eines Regelkreises regulatorisch auf die Bewegung einwirken zu können. Bisher konnte aufgezeigt werden, dass ältere Personen im Vergleich gegenüber einer jüngeren Kontrollgruppe Veränderungen

in diesen Regelkreisen haben, die zu einer Latenzzeiterhöhung der distalen Muskelgruppen sowie zu zeitlichen Wechseln der proximalen und distalen Muskelantwort führen [119].

1.2.5.2 Reflexe

Im Bereich der Physiologie werden zwei Reflexe voneinander unterschieden: (Muskel-)Eigenreflexe bzw. Dehnungsreflexe und (Muskel-)Fremdreflexe. Der Eigenreflex ist dadurch gekennzeichnet, dass er eine sehr kurze Reflexzeit besitzt, was eine monosynaptische Verschaltung voraussetzt. Dies ist dadurch zu erklären, dass Rezeptor und Effektor im selben Organ beheimatet sind. So führt z.B. die Dehnung eines Muskels im Rückenmark über die synaptische Verschaltung der Afferenz auf das α-Motoneuron des gleichen Muskels im Rückenmark zu einer Kontraktion um so der Dehnung entgegen zu wirken. Fremdreflexe hingegen haben eine längere Reflexzeit, da zwischen Rezeptor und Effektor ein oder mehrere Interneurone geschaltet sind. Zumeist sind zusätzlich das detektierende Gewebe und das ausführenden Organ unterschiedlich. Diese Reflexmechanismen sind z.B. im Fall des Stolperns nützlich, um so einen Sturz zu verhindern [33, 87]. Beim Stolpern werden insbesondere durch schnelle Reflexion des Oberschenkels und Knies des Standbeines bei gleichzeitiger Extension der Gelenke des Schwungbeines als Korrekturmaßnahmen gewertet, was einem gekreuzten Extensionsreflex ähnelt [116]. Teilweise scheinen diese Reflexe sogar trainierbar zu sein. So zeigte eine dänische Studie aus dem Jahr 2013, dass nach vierwöchigem Sprungtraining bei gesunden Athleten die α-Neuronen zuzunehmen scheinen [1], wohingegen der Hoffmann-Reflex (H-Reflex) sich auch im Alter nicht signifikant ändert [79].

1.2.5.3 Kleinhirn (Cerebellum)

Das Kleinhirn kann funktionell in drei verschiedene Bereiche eingeteilt werden: dem Vestibulocerebellum (= Lobulus flocculonodularis), dem Spinocerebellum, dass anatomisch hauptsächlich aus dem Kleinhirnwurm (Vermis cerebelli) besteht sowie dem Pontocerebellum, welches mit Teilen der Kleinhirnhemisphären korreliert. Die beiden erstgenannten Anteile sind für die posturale Kontrolle von

Bedeutung, da das Vestibulocerebellum für das Aufrechterhalten des Gleichgewichts und das Spinocerebellum für den Muskeltonus mitverantwortlich ist. Das Vestibulocerebellum erhält Afferenzen der Gleichgewichtsorgane im Innenohr, der Augen sowie Informationen aus dem propriozeptiven und sensiblen System. Der erhaltene Input wird über den Ncl. fastigii verarbeitet und bewertet und anschließend über Efferenzen zurück Richtung Rückenmark, Formatio reticularis und Vestibulariskernen gesendet um somit Einfluss auf die Stützmotorik nehmen zu können. Auch das Spinocerebellum erhält Nachrichten aus dem Rückenmark, hauptsächlich aus dem Bereich der Propriozeption. Die gewonnenen Informationen werden über die Pars intermedia und den Ncl. emboliformis plus Ncl. globosus an den im Mittelhirn befindlichen Ncl. ruber weitergeleitet. Über diesen Weg schließt sich der Regelkreis, da vom Ncl. ruber ausgehende absteigende Bahnen wieder im Rückenmark enden. Zusätzlich durchlaufen die durch Assoziationskortex und Pons generierten Daten das Pontocerebellum (hier: Ncl. dentatus) und werden anschließend an den Thalamus und den Motorkortex weitergeleitet um insbesondere auf die Extremitätenbewegungen modulierend zu wirken [87].

1.3 Fragestellungen

Im Rahmen unserer Vorgängerstudie bezüglich der Reliabilität des Biodex Balance Systems im Jahr 2010 [104] konnte aufgezeigt werden, dass mit zunehmendem Alter die posturale Kontrolle abnimmt. Damals wurden Personen unter 30 Jahren mit Personen über 60 Jahren verglichen und Unterschiede in den Stabilitätsindices von ca. 200% ($p<0,001$) registriert. Weiterhin wurde nachgewiesen, dass eine körperliche Belastung ebenfalls mit einer Abnahme des Gleichgewichtsvermögens einhergeht, der Unterschied betrug ca. 44% ($p=0,017$), mit anschließender Wiederherstellung der stabilen Standfähigkeit in der Erholungsphase innerhalb von 10 Minuten. In dieser Studie wurde die Ausbelastung unter Zuhilfenahme eines Fahrradergometers getestet [105]. In Anbetracht der Erkenntnisse bleibt weiterhin unklar, ob eine geringe körperliche Beanspruchung bei älteren Personen bereits so belastend ist, dass dies zu einer Verschlechterung der posturalen Kontrolle führen kann und dahingehend eine

mögliche Sturzursache darstellt. Ziel war es nun im Rahmen einer klinisch-kontrollierten Studie zu untersuchen, inwieweit eine kurze körperliche Beanspruchung bei Personen über 50 Jahren Auswirkungen auf die Balancefähigkeit hat, gemessen anhand der computerunterstützten dynamischen Posturographie (CDP). Diesbezüglich war weiterhin von Interesse, ob eine Abhängigkeit des Alters auch in dieser Fragestellung gegeben ist. Dazu erfolgte eine weitere Subgruppenanalyse (50-64 Jahre vs. ≥65 Jahre). Zusätzlich stehen mehrere Tests und Scores zur Verfügung, die laut Literatur geeignet sein sollen, sturzanfälligere Personen im Vorfeld zu detektieren. Der Nachweis wurde deshalb neben der Durchführung der CDP-Testung mit insgesamt 11 weiteren Scores und Tests komplettiert. Die Kombination von Scores und Stabilitätstestung ist nach aktueller Datenlage ein gutes Hilfsmittel die Standfähigkeit sowie das Sturzrisiko einschätzen zu können [9, 74]. Wir möchten im Folgenden kontrollieren, ob es mit verschiedenen Tests möglich ist bereits eine Vorabauswahl bezüglich eines erhöhten Sturzrisikos bei unserem Probandenkollektiv zu treffen.

2. Probanden und Methoden

2.1 Probanden

Ziel dieser Studie ist es die posturale Kontrolle von älteren Probanden nach einer geringen körperlichen Belastung zu erfassen. Da uns insbesondere die Auswirkungen einer solchen Belastung bei älteren Mitmenschen interessieren, haben wir uns bei der Probandenauswahl ausschließlich auf diesen Personenkreis beschränkt.

Vergleich Gruppe A (50-64 Jahre) gegenüber Gruppe B (>65 Jahre)

Aufgrund von z.B. verlängerter Erholungsphase oder Abnahme der visuellen Fähigkeiten ist davon auszugehen, dass das Alter eine entscheidende Rolle bei der posturalen Kontrolle nach einer körperlichen Anstrengung spielt [39]. Aus diesem Grund haben wir alle teilnehmenden Probanden in zwei Gruppen eingeteilt, je nach Alter am jeweiligen Testtag (Gruppe A: 50-64 Jahre, Gruppe B: 65 Jahre und älter). Ein Höchstalter zur Teilnahme bestand nicht. Wir wollen mit dieser Einteilung herauszufinden, ob überhaupt eine Zunahme der posturalen Instabilität besteht, und wenn ja, ob Probanden der Gruppe B nochmals schlechter sind als Gruppe A. Damit möchten wir die aufgestellte These von Strobel et al. aus dem Jahr 2010 überprüfen, die diese Tendenz in ihrer Studie aufgezeigt hat [104].

Alle Teilnehmer dieser Studie waren mindestens 50 Jahre alt oder älter. Insgesamt konnten wir für diese klinisch-randomisierte Studie zunächst 60 Probanden während eines Zeitraumes von 14 Monaten für unser Projekt gewinnen. Von diesen 60 Probanden waren 23 Frauen und 37 Männer. Das durchschnittliche Alter aller Teilnehmer beträgt 66,0 +/- 8,1 Jahre bei einem Durchschnittsgewicht von 75,3 +/- 15,8 kg und einer Durchschnittsgröße von 168,9 +/- 8,9 cm. Allen Probanden gemein ist die Tatsache, dass sie sich im Alltag vollständig alleine versorgen können. 17 Probanden wurden bei nochmaliger Durchsicht der Unterlagen im Nachhinein aus der Studie wieder ausgeschlossen, da Ausschlusskriterien bestanden. Hiervon waren 13 Probanden/innen betroffen,

weil sie über Sehbeeinträchtigungen (zum Teil auch mit Sehhilfe) klagten. Bei zwei Probanden/innen bestanden anamnestisch eine koronare Herzerkrankung (KHK) bzw. eine bekannte Herzinsuffizienz, bei jeweils einem/r Teilnehmer/in war ein Schlaganfall bzw. eine periphere arterielle Verschlusskrankheit (pAVK) vorbeschrieben. Somit konnten insgesamt die Werte von 43 Probanden (23 Männer und 20 Frauen) zur Auswertung und Analyse herangezogen werden (Durchschnittsalter 65,0 +/- 8,6 Jahre, Durchschnittsgewicht 75,3 +/- 16,4 kg, Durchschnittsgröße 169,1 +/- 9,4 cm).
Um zu untersuchen, ob eine Altersabhängigkeit der körperlichen Belastung auf die posturale Kontrolle besteht, haben wir - wie bereits erwähnt - alle Studienteilnehmer/innen nochmals in zwei Gruppen aufgeteilt:

- Gruppe A: in dieser Untergruppe waren alle Teilnehmer, die zum Zeitpunkt der Teilnahme zwischen 50 und 64 Jahre alt waren. Insgesamt hatte diese Gruppe eine Stärke von 24 Probanden, davon 12 Frauen und 12 Männer, mit einem Durchschnittsalter von 58,6 +/- 4,1 Jahren, Durchschnittsgröße von 170,0 +/- 10,1 cm sowie einem Durchschnittsgewicht von 77,6 +/- 19,2 kg an. Die männlichen Teilnehmer waren im Schnitt 58,1 +/- 3,8 Jahre alt, 178,1 +/- 4,3 cm groß und 83,1 +/- 13,5 kg schwer, die teilnehmenden Frauen der Gruppe A waren 59,1 +/- 4,2 Jahre alt, 161,9 +/- 6,9 cm groß und 72,2 +/- 21,6 kg schwer.
- Gruppe B: zu dieser Untergruppe wurden die restlichen Probanden zugeteilt, also all diejenigen, die zum Zeitpunkt der Teilnahme 65 Jahre oder älter waren. Insgesamt hatte diese Gruppe eine Stärke von 19 Probanden mit einem Durchschnittsalter von 73,2 +/- 5,1 Jahren, Durchschnittsgröße von 167,9 +/- 8,5 cm sowie einem Durchschnittsgewicht von 72,3 +/- 11,9 kg an; davon 8 Frauen (74,6 +/- 6,0 Jahre; 159,3 +/- 3,3 cm; 65,1 +/- 10,2 kg) und 11 Männer (72,1 +/- 3,7 Jahre; 174,2 +/- 4,0 cm; 77,6 +/- 9,4 kg).

Weitere Einschlusskriterien waren die vorherige freiwillige Zusage, die bei allen Probanden schriftlich festgehalten wurde. Zusätzlich wurden vor Beginn aller Tests und Messungen alle Teilnehmer über den kompletten Umfang dieser Studie informiert, insbesondere was etwaige Risiken betrifft. Weiterhin wurde allen

Probanden die Möglichkeit gegeben Fragen zu stellen und eine Teilnahme abzulehnen.
Als Ausschlusskriterien galten:

- Alter jünger als 50 Jahre zum Zeitpunkt der Teilnahme
- nicht freiwillige Teilnahme bzw. Verweigerung der Teilnahme oder späterer Rückzug von der Teilnahme
- Barthel-Index kleiner als 90 Punkte
- anamnestisch belegbare Vorerkrankungen bzw. Operationen im Bereich des Hüftgelenks, insbesondere Hüft-TEP
- anamnestisch belegbare Vorerkrankungen bzw. Operationen im Bereich des Kniegelenks, insbesondere Knie-TEP
- anamnestisch vorbestehende Erkrankungen des Herzkreislaufsystems, durch die die Gefahr bestünde, dass die durchgeführte körperliche Beanspruchung des Probanden zu einer Dekompensation führen könnte bzw. die eine solche Beanspruchung erst gar nicht zulassen würde, insbesondere Z.n. Myokardinfarkt, bekannte Herzinsuffizienz (NYHA III und NYHA IV) und pAVK
- anamnestisch vorbestehende symptomatische Vorerkrankungen aus dem Bereich der Neurologie, die im Zusammenhang stehen das Gleichgewichtsvermögen negativ zu beeinflussen, insbesondere Z.n. ischämischen Insult und M. Parkinson
- anamnestisch subjektives unzureichendes Zurechtkommen mit einer visuellen Hilfe (Brille/Kontaktlinsen)

Der Studie wurde der Ethikkommission der Universität Ulm zur Prüfung vorgelegt und mit einem positiven Votum genehmigt (Ethikantrag-Nr.: 243/11).

2.2 Studienplan

Insgesamt beinhaltet der Studienplan 11 verschiedene Einheiten, darunter neun sog. Patientenmodule. Ein Informationsblatt für jeden Probanden sowie ein Formular zur schriftlichen Einverständniserklärung komplettieren den Studienplan.

Die neun Patientenmodule bestehen aus verschiedenen Aspekten wie Allgemeinanamnese, Sturzanamnese, körperliche Untersuchung, Tests, Messungen und Bandagen.

2.2.1 Modul 1: Personenbezogene Daten

Zu Beginn einer jeden Testreihe wurde jeder teilnehmende Proband einer ausführlichen Anamnese unterzogen.
In Modul 1 des Studienprotokolls wurden dabei allgemeine Fragen gestellt (Alter, Größe, Gewicht, Geschlecht etc.), als auch Fragen zur jeweiligen Krankheitsgeschichte des Probanden. Dies war nötig, um sicher zu gehen, dass die Probanden nicht an einer Krankheit leiden, die unter die Ausschlusskriterien fallen. Ebenso war es wichtig, um eventuelle Erkrankungen oder Verletzungen zu erfassen, die das Testergebnis positiv, aber insbesondere negativ beeinflussen können. Zusätzlich wurde die im Moment der Teilnahme eingenommene Regelmedikation erfasst.

Body Mass Index

Der Body Mass Index (BMI) hilft dabei Patienten bezüglich ihrer Körpergröße und ihres Körpergewichts unter dem Gesichtspunkt der Adipositas einzugruppieren. Dies geschieht mithilfe folgender geläufiger Formel:

$$\frac{Körpergewicht\ [kg]}{Körpergröße\ [m]^2}$$

Abbildung 1 – Formel zur Berechnung des Body Mass Index (BMI)

Es konnte in mehreren Studien gezeigt werden, dass der BMI als wichtiger Einflussfaktor für die posturale Stabilität und damit das Gleichgewichtsvermögen gilt. So konnten Aydog et al. dies sowohl bei Patienten mit Rheumatoider Arthritis als auch bei der gesunden Kontrollgruppe feststellen [6]. Auch unsere Forschungsgruppe hat einen in diese Richtung zeigenden Trend in ihrer Arbeit aus dem Jahr 2010 aufweisen können [106], der 2012 anderweitig nochmals sowohl

für den beidbeinigen als auch für den Einbeinstand dargelegt werden konnte [46]. Diesen Aspekt haben wir auch in dieser Arbeit wieder aufgenommen.
Dabei verglichen wir einmal die Gruppen A und B in Abhängigkeit vom BMI (normal- oder übergewichtig/adipös; Grenzwert 25,0 kg/m²) und untersuchten zum Zweiten allgemein alle teilnehmenden Probanden anhand einer weiteren Einteilung in drei Gruppen: BMI ≤ 25,0 kg/m² [24 Probanden]; 25,1-30,0 kg/m² [12 Probanden] und ≥30,0 kg/m² [7 Probanden].

Geschlecht

Während das Alter wohl einen signifikanten Einfluss auf die posturale Kontrolle hat, muss dies im Fall des Geschlechts jedoch verneint werden [39]. Es zeigen sich bei gleicher Testung mit dem Biodex Balance System für beide Geschlechter verschiedene Werte des OSI, wobei Männer wohl etwas schlechter abschneiden als Frauen. Diese Unterschiede konnten jedoch nicht als statistisch signifikant bewertet werden [104]. In dieser Studie stellen wir uns nichtsdestotrotz die Frage, ob und wie das Geschlecht Einfluss auf die posturale Stabilität nimmt, und ob dies im Zusammenhang mit dem Alter nochmals Veränderungen nach sich zieht.

2.2.2 Modul 2: Untersuchungsbogen

Das zweite Modul beschäftigt sich mit der körperlichen Untersuchung. Hierbei wurde auf folgende Punkte besonderen Wert gelegt:

- Sensibilität, Gefäßstatus und Reflexstatus der unteren Extremitäten
- Zweipunktdiskrimination an der Unterseite beider Großzehen
- Visus und Gehör
- Standbein
- Bewegungsumfänge im Bereich des Hüftgelenks (Art. coxae) und des Kniegelenks (Art. genus)
- Abstand der Innenknöchel (Malleoli mediales) zu einander im Liegen und im aufrechten Stand ohne Schuhe
- Längen- und Umfangsmaße beider Beine

Zweipunktdiskrimination

Die Erhebung der Zweipunktdiskrimination hat in unserer Studie einen besonderen Stellenwert erhalten, da ein wesentlicher Teil der Propriozeption der unteren Extremität beim aufrechten Gang über die Fußsohle aufgenommen und detektiert wird, dient die Überprüfung dieses Wertes als nützlicher Hinweis für die Propriozeption.

Die Zweipunktdiskrimination beschreibt den Abstand zweier Punkte die als zwei einzelne Punkte voneinander unterschieden werden können. Dieser Abstand ist in den verschiedenen Bereichen des Körpers deutlich unterschiedlich. So ist im Bereich der Lippen oder der Fingerspitzen die Zweipunktdiskrimination sehr gering (wenige Millimeter), während sie im Bereich des Rückens einige Zentimeter erreichen kann. Melzer et al. haben zeigen können, dass ältere Personen mit Fallanamnese eine verminderte Zweipunktdiskrimination haben [62]. Die Untersuchung wird mit Hilfe eines Zirkels an der Unterseite beider Großzehen durchgeführt. Dazu wird der Zirkel in geöffnetem Zustand mit beiden Zacken an der Großzehe platziert. Nun wird der Proband gefragt, ob er den Reiz durch den Zirkel spürt, und ob er in der Lage ist zu differenzieren, ob es sich dabei um einen oder um zwei Punkte handelt, die er bemerkt. Sollte der Proband zwei verschiedene Punkte spüren, so wird der Abstand der beiden Zirkelenden gering verkleinert und der Test erneut durchgeführt. Dies wird so lange wiederholt bis der Proband nicht mehr in der Lage ist zwei einzelne Punkte zu erkennen und nur noch einen Punkt spürt. Dann wird anschließend wieder auf den nächsthöheren Abstand zurückgestellt. Spürt der Proband jetzt wieder zwei Punkte wird der jetzige Abstand mit Hilfe eines Lineals gemessen und notiert.

Hat der Proband beim initialen Reiz nur einen Punkt bemerkt, wird der Abstand der Zirkelenden gering vergrößert und der Vorgang wiederholt. Dies geschieht so lange bis zwei verschiedene Punkte angegeben werden. Dieser Wert wird nun gemessen und notiert.

Die Messung der Zweipunktdiskrimination wurde von uns gewählt, da sie einerseits die Sensibilität des Probanden im Bereich des Fußes/Fußsohle wiedergibt, andererseits durch eine sehr gute Inter- und Intrareliabilität besticht [24]. Die Reliabilität sowie die Reproduzierbarkeit auch von unterschiedlichen Untersuchern ist für diese Untersuchungsmethode ausgesprochen hoch; für statische Messungen liegt sie bei über 86% [24]. Grenzwerte, insbesondere für

den Bereich des Fußes, ab welchem eine Zweipunktdiskrimination als pathologisch angesehen werden muss, sind interessanterweise nicht verfügbar. Daher wird aufzuzeigen sein, ob eine verringerte Zweipunktdiskrimination mit einer verringerten Propriozeption und somit mit einer verringerten Stabilität beim aufrechten Gang und Stand einhergeht, und ob Probanden mit erhöhten Werten bezüglich der Zweipunktdiskrimination schlechtere Werte für die posturale Stabilität aufweisen. Dies wollen wir versuchen zu beweisen, in dem die Teilnehmer neben der Unterscheidung in Gruppe A und B in drei frei gewählte Untergruppen eingeteilt wurden (Zweipunktempfinden <20mm (n=20), 20-30mm (n=15), >30mm (n=5)).

2.2.3 Modul 3: Sturzanamnese

Sturzanamnese

Modul 3 des Studienprotokolls befasst sich mit der Sturzanamnese. Hierbei wurden allen Teilnehmern Fragen gestellt, um solche Probanden herauszufiltern, die schon mal gestürzt waren bzw. als sturzgefährdet angesehen werden. Die Studienteilnehmern wurden bezüglich eines Sturzvorfalls in den letzten 12 Monaten befragt, da Probanden mit erinnerlichem Sturz in Verdacht stehen eine schlechtere posturale Kontrolle zu haben, was als eventuelle Sturzursache herangezogen werden kann [64]. Diese Fragestellung haben wir in unseren Studienablauf ebenfalls eingegliedert, um zu eruieren, ob die Ergebnisse der Studiengruppe um Merlo bestätigt werden können. Weiterhin waren die Sturzursachen, das häusliche Umfeld, Hilfestellungen im Alltag, Schulbildung, Beruf, mögliche Gehhilfen, mögliche Pflegestufen, mögliche Ängste vor einem Sturz und die regelmäßigen Freizeitaktivitäten der Probanden Teil dieses Moduls.

Freizeitaktivität

Unter dem Aspekt der Freizeitaktivitäten fassten wir alle durchgeführten Sportarten aber auch Hobbies, die eine körperliche Beanspruchung verlangen (wie z.B. Spazieren gehen, den Hund ausführen, Gartenarbeit etc.), zusammen.

Die These, dass die regelmäßige körperliche Bewegung auf die posturale Kontrolle einen Einfluss hat, wurde von der Arbeitsgruppe um Shumway-Cook

aufgestellt [93]. Insbesondere die medio-laterale Abweichung ist ein ausschlaggebender Hinweis für posturale Veränderungen. Körperliches Training kann hier zu messbaren positiven Veränderungen führen [68]. Auch Groen et al. konnten bereits im Jahr 1948 aufzeigen, dass es möglich ist das vestibuläre System zu trainieren [36], dies konnte durch Strobel im Jahr 2010 jedoch nicht wiederholt werden [104]. In unserer Arbeit wollen wir nun versuchen herauszufinden, ob die Anzahl der pro Woche geleisteten Freizeitstunden einen Einfluss auf die posturale Stabilität hat und ob eine bestehende körperliche Fitness sich auf das Testergebnis widerspiegeln lässt. Nach dieser These müssten Probanden mit einer höheren Anzahl an geleisteten Freizeitstunden eine geringere Auswirkung zeigen, als Probanden mit niedrigerer Anzahl.
Alle gemessenen Teilnehmer wurden weiter anhand ihrer anamnestisch erhobenen Anzahl an Freizeitstunden/Woche auf drei Gruppen aufgeteilt (0-5h/Woche (n=27); 5-10h/Woche (n=6); >10h/Woche (n=10)).

Balanceselbsteinschätzung

Weiterhin wurde im Rahmen dieses Anamnesebogens in Modul 3 jeder Teilnehmer nach seiner subjektiv individuellen Einschätzung bezüglich seines oder ihres Gleichgewichtsvermögens befragt. Dies wurde mit Hilfe einer visuellen Analogskala erreicht, die ausgedruckt exakt 10cm betrug. Der Proband wurde nun aufgefordert auf dieser Linie (Linie ohne Skala) gemäß seiner Selbsteinschätzung ein Kreuz zu setzen. Anschließend wurde mit einem Lineal der Wert auf eine Dezimale exakt abgemessen.
Bisher ist in der Literatur nichts darüber bekannt, inwieweit die Einschätzung der eigenen Balance- und Gleichgewichtsfähigkeit mit objektiven Zahlen der posturalen Kontrolle korreliert. Aus diesem Grund haben wir diese Fragestellung in unseren Studienablauf hineingenommen, um zu überprüfen, ob bei älteren Probanden die posturale Stabilität nach einer kurzen körperlichen Anstrengung mit der jeweiligen Einschätzung des eigenen Gleichgewichtsvermögens übereinstimmt.
Wir bewerteten die beiden Gruppen A und B mit einer guten Selbsteinschätzung, wenn die Probanden sich mit Hilfe der Analogskala einen besseren Wert als 72% zuschrieben bzw. als schlechte Selbsteinschätzung, wenn der Wert darunter lag.

Dieser Grenzwert wurde gewählt, da sowohl der Median als auch der aufgerundete Mittelwert bei 72% lag. Eine weitere Einteilung und Analyse erfolgte mittels Aufteilung der Probanden in drei Gruppen, die in 20%-Schritten unterteilt wurden (<60% (n=10), 60-80% (n=18) und >80% (n=15)).

2.2.4 Modul 4: Barthel-Index

Der Barthel-Index gehört zu den am meist genutzten Tests um die Selbstständigkeit eines Menschen im Alltag zu erfassen und zu bewerten. Er wurde erstmals im Jahr 1965 von den Amerikanern Mahoney und Barthel erstellt und dient heute als wichtiges Utensil als Teil des Pflegeassessments um die Abhängigkeit im Bereich der Grundpflege eines Patienten zu bestimmen [57].
In diesem sehr einfach durchführbaren Index werden zehn verschiedene Situationen des täglichen Lebens abgefragt (Essen, Baden, Waschen, An- und Auskleiden, Stuhlkontrolle, Urinkontrolle, Toilettenbenutzung, Bett-, Roll-, Stuhltransfer, Bewegung, Treppensteigen), die verschieden gewichtet mit 0-15 Punkten bewertet werden. Anhand der erreichten Maximalpunktzahl kann der Bedarf an Hilfe im Alltag eingeschätzt werden (ausgehend von 0 Punkte = komplette Pflegebedürftigkeit bis 100 Punkte = Selbstständigkeit). Da wir in dieser Arbeit nur Probanden mit einem Lebensalter von $\geq$50 Jahren eingeschlossen haben, war im Vorfeld davon auszugehen, dass Probanden unterschiedliche Punktzahlen im Barthel-Index aufweisen werden. Wir wollen dazu überprüfen, ob ein höherer bzw. niedriger Barthel-Index einen Rückschluss auf die posturale Kontrolle zulässt.
Da wir gemäß den Ausschlusskriterien nur Probanden eingeschlossen haben, die einen Barthel-Index von 90 Punkten und mehr erzielen konnten, erfolgte die weitere Einteilung zur Bewertung unserer Ergebnisse jeweils in zwei Gruppen (Barthel-Index 100 Punkte (n=36) bzw. Barthel-Index 90-95 Punkte (n=7)).

2.2.5 Modul 5: Tinetti-Test (POMA-Score)

Modul 5 beschreibt die Durchführung des Tinetti-Tests. Ziel dieses von Tinetti entwickelten Tests ist es die Sturzanfälligkeit zu bestimmen. Insbesondere im Bereich der Geriatrie und der Physiotherapie wird dieser Test gern genutzt.

Zusätzlich ist der Tinetti-Test als diagnostische Einheit im Rahmen der DEGAM-Leitlinien für ältere Sturzpatienten enthalten [25].

Die Abkürzung POMA steht für performance-orientated-mobility-assessment und ist ein von Mary Elizabeth Tinetti entworfenes Hilfsmittel um ein erhöhtes Sturzrisiko anhand von insgesamt 16 verschiedenen Aufgaben herauszufinden, wobei sich neun Aufgaben auf das Gleichgewicht beziehen (darunter Sitzbalance, Stehbalance, Aufstehen, Absitzen, 360°-Drehung, Stand mit geschlossenen Augen, Stoß auf das Sternum des Probanden), und sieben Aufgaben auf den Gang des Probanden (darunter Gangbeginn, Schritthöhe und –länge, Gangsymmetrie, Schrittkontinuität, Wegabweichung, Schrittbreite und Rumpfstabilität) [60]. Im Bereich des Gleichgewichts sind maximal 16 Punkte zu erreichen, im Bereich des Ganges maximal 12, so dass im besten Fall 28 Punkte erzielt werden können.

Aus der erreichten Punktzahl kann in etwa abgeschätzt werden inwieweit der Proband für einen Sturz gefährdet ist. Wir wollen aufzeigen, ob Probanden mit einer durch diesen Test vorausgesagten höheren Sturzanfälligkeit höherer Werte der posturale Stabilität nach der körperlichen Anstrengung aufweisen.

Wir wählten zwei Herangehensweisen zur Ergebnisanalyse: Zum Einen betrachteten wir die Gruppen A und B bei voller Punktzahl bzw. wenn Abstriche gemacht werden mussten, zum Anderen unterteilten wir alle Probanden in drei frei gewählte Gruppen (POMA-Score 28 (n=28), POMA-Score 27 (n=8) und POMA-Score <27 (n=7)).

2.2.6 Modul 6: Berg-Balance-Test

Modul 6 unseres Studienprotokolls beinhaltet den Berg-Balance-Test (BBT). Der Berg-Balance-Test wurde im Jahr 1989 von Katherine Berg et al. im kanadischen Montreal erarbeitet und erstmals vorgestellt. Ziel war es bei geriatrischen und neurologischen Patienten das Sturzrisiko und das Balancevermögen zu eruieren. Inzwischen ist der Test in einer deutschen Version verfügbar; überarbeitet und übersetzt von Scherfer, Bohls, Freiberger, Heise und Hogan. Diese Version ist von Katherine Berg offiziell autorisiert [86].

Es ist ebenfalls ein aus dem Bereich der Physiotherapie angelehntes Verfahren um das Gleichgewichtsvermögen aufschlussreich beurteilen zu können. Ebenso

konnte von Zwick et al. gezeigt werden, dass der Berg-Balance-Test ein einfaches Hilfsmittel ist sturzgefährdete Personen zu detektieren [123]. Er besticht durch eine hohe Inter- als auch Intratester-Reliabilität von 0,98 [9]. Ebenso ist der Berg-Balance-Test für die Überwachung und den Verlauf geeignet.
Der Berg-Balance-Test besteht aus 14 kleineren Aufgaben, die jeweils mit 0-4 Punkten zu bewerten sind. Jede Aufgabe ist genau beschrieben, ebenso die zu vergebene Punktzahl des Probanden, je nach erreichter Leistung innerhalb der jeweiligen Aufgabe. Insgesamt sind also maximal 56 Punkte zu erreichen. Folgende Aktivitäten beinhaltet der Berg-Balance-Test:

- Vom Sitzen zum Stehen
- Stehen ohne Unterstützung
- Sitzen ohne Unterstützung
- Vom Stehen zum Sitzen
- Transfer (Umsetzen) von einem Stuhl in einen anderen
- Stehen mit geschlossenen Augen
- Stehen mit Füßen eng nebeneinander
- Mit ausgestreckten Armen nach vorne reichen
- Gegenstand vom Boden aufheben
- Sich umdrehen, um nach hinten zu schauen
- Sich um 360° drehen
- Abwechselnd die Füße auf eine Fußbank stellen
- Tandemstand
- Auf einem Bein stehen

Je nach erzielter Punktzahl kann auf die Sturzanfälligkeit geschlossen werden. Zudem besteht ein Zusammenhang zwischen erreichter Punktzahl und dem Alter sowie zwischen Punktzahl (r= 0,41) und dem jeweiligen Barthel-Index des Probanden/ der Probandin (r= -0,57) [83]. Eine Punktzahl von 44 und weniger wird derzeit als möglicher Hinweis genommen, ob eine Person in der Zukunft anfällig für einen Sturz ist [12]. Werden weniger als 40 Punkte erreicht, ist die Wahrscheinlichkeit, bei guter Sensitivität und hoher Spezifität, sehr stark erhöht [123].

Bei diesem einfach durchzuführenden Test besteht eine ähnliche Fragestellung wie beim Tinetti-Test. Auch hier soll überprüft werden, ob ein schlechteres Testergebnis ein Indikator für eine schlechtere posturale Kontrolle sein kann. Dafür unterteilten wir alle Probanden in vier verschiedene Gruppen, je nach erzieltem Ergebnis im Berg-Balance-Test (<48 (n=6) vs. 48-50 (n=6) vs. 51-53 (n=7) vs. 54-56 Punkte (n=24)) und untersuchten anschließend die CDP-Werte. Diese Einteilung erfolgte unsererseits willkürlich mit dem Ziel in etwa gleich große Untergruppen zu vergleichen.

2.2.7 Modul 7: Allgemeine Messparameter

Zwei kleinere Tests zur Überprüfung der Kraft in den unteren Extremitäten sowie der funktionellen Mobilität sowie die beiden Hauptaufgabenstellungen entsprechen diesem Patientenmodul:

2.2.7.1 Chairstand-Test (CST)

In dieser Aufgabenstellung wird vom Probanden verlangt, dass er innerhalb von 30 Sekunden wiederholt, ausgehend von einer sitzenden Position auf einem Stuhl, mit vor dem Oberkörper verschränkten Armen aufsteht und sich hinsetzt. Die in dieser Zeit erreichten Wiederholungen werden notiert. Macfarlane et al. [56] haben zeigen können, dass sich dieser Test gut eignet, um die Kraftverhältnisse in der unteren Körperhälfte zu beurteilen. Da wir für unsere Testreihe nur Aufgaben gewählt haben, bei der fast ausschließlich die untere Körperhälfte in Anspruch genommen wird, muss sich zeigen, ob eine Korrelation zwischen Chairstand-Testergebnis und Stabilitätsergebnis vorhanden ist.
Diesbezüglich analysierten wir neben den beiden Gruppen A und B alle Probanden je nach erreichtem Wert im Chairstand-Test und erhielten so drei Untergruppen (0-10 Wdh. (n=13); 11-15 Wdh. (n=25) und >=16 Wdh. (n=5)).

2.2.7.2 Timed-up-and-go-Test (TUAGT)

Der Timed-up-and-go-Test ist ebenfalls Bestandteil von Modul 7. Diese simple Aufgabenstellung dient als lokomotorische Testung ebenfalls als Instrumentarium sturzgefährdete Personen zu detektieren. Er wird aus diesem Grund in den Guidelines der amerikanischen Gemeinschaft für Geriatrie zur Sturzprävention mit aufgeführt [2]. Aufgabe des Probanden in diesem Teil der Studie ist es, von einem Stuhl aufzustehen und drei Meter geradeaus laufen. Anschließend dreht sich der Proband um, läuft die drei Meter wieder zurück und setzt sich wieder hin. Die dafür benötigte Zeit wird gemessen und notiert.
Diese lokomotorische Aufgabe testet die grundlegende funktionale Mobilität und ist ebenfalls Bestandteil der DEGAM-Leitlinien [9, 25]. Weiterhin kann ein schlechtes Testergebnis von 15 Sekunden und mehr ein Hinweis auf ein erhöhtes Sturzrisiko sein [73]; insbesondere für Männer existiert ein signifikanter Unterschied zwischen Personen mit Sturzanamnese und nicht gestürzten Personen, wie in der Tromsø-Studie gezeigt werden konnte [109].
Es wird hierbei zu überprüfen sein, ob ein Zusammenhang zwischen Testergebnis und posturaler Kontrolle festzustellen ist. Dieser Test ist insbesondere von Interesse, da er ein ähnliches Bewegungsmuster vom Probanden abverlangt, wie unsere Anstrengungen, allerdings deutlich schneller zu bewältigen ist. Zusätzlich besteht bei dieser Testung aufgrund der einfachen Durchführbarkeit eine hohe Vergleichbarkeit von Ergebnissen (sehr hohe Inter- und Intratesterreliabilität von 0,99) [9]. Dadurch ist der TUAGT geeignet um Veränderungen der individuellen Mobilität aufzuzeigen [114].
Analog dem Tinetti-Score, dem Chairstand-Test und dem Berg-Balance-Test erfolgte auch hier eine von uns gewählte Unterteilung der Probanden in drei Untergruppen (6-7 sec (n=14); 8-9 sec (n=21), >9 sec (n=8)), sowie die Betrachtung der Gruppen A und B in Bezug auf die TUAGT-Ergebnisse.

Die eigentlichen körperlichen Aufgaben, die für unsere Messungen von Bedeutung sind, sind ebenfalls unter Modul 7 aufgeführt. In unserem Projekt haben wir zwei verschiedene Aufgaben ausgewählt um eine körperliche Belastung zu simulieren. Um reproduzierbare und realistische Bedingungen zu haben, wurden dazu körperliche Anstrengungen aus dem alltäglichen Leben gewählt.

2.2.7.3 Sechs-Minuten-Geh-Test (6-MGT)

Die erste Aufgabe besteht in einem sechsminütigen Lauftest (Six-Minute-Walk-Test). Dieser international bekannte und standardisierte Test ist einer der beiden Hauptaufgaben, mit deren Hilfe die körperliche Belastung provoziert werden soll. Dazu wurde ein Krankenhausflur mit einer Wegstrecke von 40m ausgewählt, den die Probanden in sechs Minuten so schnell und so oft mit zügigem Gehen (aber kein Rennen/Joggen) möglich war, zurücklegen sollten. Die in dieser Aufgabe zurückgelegte Wegstrecke wurde ebenfalls erfasst (=Anzahl der Wiederholungen multipliziert mit 40m). Als Beweis für eine Belastung wurde die die Pulsfrequenz in Ruhe mit der Frequenz direkt im Anschluss an den 6-MGT gemessen und notiert.
Direkt im Anschluss erfolgten die Messungen mit dem Biodex Balance System. Der ursprüngliche Sechs-Minuten-Test beinhaltet einen Rundkurs von 50 Yards (entspricht etwa 45,72 m), der aus zweimal 20 Yards und zweimal 5 Yards aufgebaut ist. Da uns ein solcher Rundkurs, insbesondere mit diesen Abmessungen, nicht zur Verfügung stand haben wir uns für eine Einzelstrecke entschieden, die mehrmals in diesen sechs Minuten zurückgelegt werden sollte (s.a. Abbildung 2).
Die Zeit, die gegebenenfalls für das Wenden am Ende der Einzelstrecke verloren geht hat aber, im Gegensatz zum eigentlichen Rundkurs, keinen signifikanten Einfluss auf das erreichte Ergebnis [71]. Alter, Körpergröße, Geschlecht und BMI haben auf das Testergebnis einen Einfluss, wobei Frauen im Schnitt ca. 30m weniger zurücklegen als Männer [95]. Der 6-MGT ist in den aktuellen Leitlinien der Allgemein- und Familienmedizin (DEGAM) für ältere Personen als Kategorie C-Empfehlung implementiert worden [25] und aufgrund seiner Möglichkeit die Leistungsfähigkeit von älteren und/oder geriatrischen Patienten zu überprüfen, besonders in der kardiologischen und pulmologischen Rehabilitation, inzwischen auch in die Guidelines der American Thoracic Society aufgenommen worden [3].

Abbildung 2 - Krankenhausflur zur Durchführung des 6-Minuten-Gehtests. Es wurde darauf geachtet, dass keine Hindernisse, Steigungen oder Unebenheiten bestehen. Notfalls konnten sich die Probanden am abgebildeten Geländer festhalten.

2.2.7.4 Treppensteigtest (TST)

Die zweite Aufgabe ist ebenfalls an den Alltag angelegt und besteht aus einem einmaligen Treppensteigen über eine Etage. Dazu wurden die Probanden aufgefordert so schnell wie möglich eine Etage (4 Treppen mit je insgesamt 7 Stufen) hinauf- und direkt anschließend wieder herabzusteigen (s.a. Abbildungen 3 und 4). Die dazu nötige Zeit wurde ebenfalls erfasst (unterteilt in notwendige Zeit für das Hinaufsteigen, notwendige Zeit für das Hinabsteigen sowie Gesamtzeit).
Direkt im Anschluss erfolgten die Messungen mit dem Biodex Balance System. Parallel zum 6-MGT erfolgte die Belastungskontrolle anhand der Registrierung der Pulsfrequenzen vor und nach dem Treppensteigen.

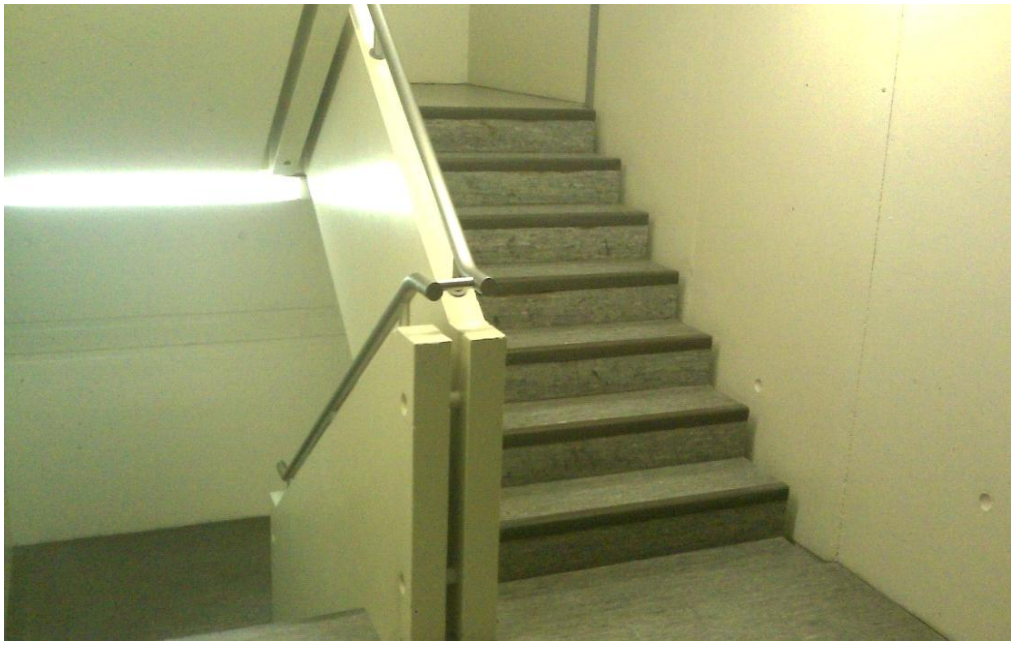

Abbildung 3 - Treppenhaus zur Durchführung des Treppensteigtests

Abbildung 4 - Treppenhaus zur Durchführung des Treppensteigtests

2.2.8 Modul 8: CDP (Biodex Balance System)

Das Biodex Balance System (BBS) ist eine dynamische Plattform zur Messung und zum Trainieren der posturalen Fähigkeiten der US-amerikanischen Firma Biodex. Aufgebaut ist das BBS aus einer Plattform, die eine Bewegung bis zu 20° in zwei Achsen (horizontal und vertikal) erlaubt. Die Plattform ist mit einem Computer verbunden, der die Auslenkungen des Probanden mathematisch berechnet und auch visuell in Form eines sich bewegenden Punktes anzeigen kann (s.a. Abbildungen 5-6).

Abbildung 5- Biodex Balance System (BBS)

Das Biodex Balance System verfügt dabei über eine Messgenauigkeit von 0,1°. Somit ist das BBS eine Möglichkeit zur computerunterstützten dynamischen Posturographie (CDP). Mehrere Studien beschäftigten sich mit der Reliabilität des BBS. Hierbei konnten hohe bis sehr hohe Werte festgestellt werden [81, 88]. Die

CDP hat sich in der Literatur bereits in mehreren Situationen als hilfreich erwiesen, die Balance eines Probanden/Patienten zu objektivieren. Dies wurde sowohl in Fallberichten als auch in Studien nachgewiesen [40, 117, 121].

Abbildung 6 - Bildschirmausschnitt des Biodex Balance System (BBS) mit den ausgewählten Testbedingungen

Zur Messung der posturalen Kontrolle stehen dem Tester zwölf verschiedene dynamische Schwierigkeitsstufen zur Verfügung. Jede Stufe geht mit einer verschiedenen Arretierung der Plattform einher (Stufe 1: sehr wackelig, Stufe 12: fast unbewegliche Plattform). Zusätzlich besteht eine dreizehnte Wahlmöglichkeit, bei der die Platte komplett feststeht, es sind also keine Auslenkungen der Bodenplatte möglich. In diesem statischen Modus wird die posturale Kontrolle mithilfe von Drucksensoren in der Platte registriert.

Zu Beginn einer jeden Messreihe steht der Proband mit festem Schuhwerk mit beiden Beinen auf der Plattform, die Arme hängen neben dem Körper. In dieser Position ist die Plattform arretiert, und die Kalibrierung kann vorgenommen werden. Anschließend erfolgt die jeweilige Messreihe. Ein Festhalten an den Griffen des BBS ist nur zur Sturzabwehr zugelassen.

Jede unserer Messreihen ist identisch aufgebaut. Ein Durchgang besteht aus drei direkt aufeinanderfolgenden Messungen à 20 Sekunden, mit nur jeweils kurzer Pause (wenige Sekunden) zwischen den einzelnen Messungen. Der Patient wird angehalten seine Fußposition während der gesamten Zeit nicht zu verändern. Aus

den drei Einzelmessungen errechnet der Computer die jeweiligen Ergebnisse eines Durchgangs.

Allen Probanden wurde im Vorfeld der Testablauf demonstriert und auch mindestens zweimal durchgeführt, da diese Anzahl vor der Datensammlung vorgeschlagen wird, um einen Lerneffekt des Probanden während der Testreihe auszuschließen [81]. Drei verschiedene Messergebnisse sind zur Beurteilung der posturalen Stabilität/Kontrolle von besonderer Bedeutung, "Overall Stability Index", "Medio-lateral Stability Index" sowie "Anterior-posterior Stability Index. Die jeweiligen Formeln, die zur Berechnung der einzelnen Indizes notwendig sind zeigt Abbildung 7.

$$OSI = \sqrt{\frac{\sum(0-X)^2 + \sum(0-Y)^2}{\#Einzelmessungen}}$$

$$APSI = \sqrt{\frac{\sum(0-Y)^2}{\#Einzelmessungen}} \qquad MLSI = \sqrt{\frac{\sum(0-X)^2}{\#Einzelmessungen}}$$

Abbildung 7 - Formeln zur Berechnung der Indices OSI, APSI und MLSI unter Zuhilfenahme des Biodex Balance System (OSI = Overall Stability Index, APSI = Anterior-Posterior Stability Index, MLSI = Medio-Lateral Stability Index)

Arnold et al. haben in ihrer Arbeit aus dem Jahr 1998 gezeigt, dass der OSI bis zu 95 % vom APSI abhängig sein kann, obwohl beide Werte zu gleichen Anteilen in die Formel des OSI eingehen. Dies ist eventuell bedingt durch eine niedrigere Intratesterreliabilität des MLSI [4]. Auch ist die Ausrichtung der großen Gelenke der unteren Extremitäten wie Hüft-, Knie- oder oberes Sprunggelenk, entsprechend dem menschlichen Gang nach anterior-posterior, zu berücksichtigen.

Weiterhin ist es mit dem BSS möglich das Ausmaß und die Länge der Auslenkungen in eine der oben genannten Richtungen (OSI, APSI oder MLSI) zu erfassen. Diese Werte werden als Standardabweichungen vom Gerät errechnet.

Zusätzlich ist die Bodenplatte in vier verschiedene Zonen (anteromedial, anterolateral, posteromedial und posterolateral) sowie in um den Mittelpunkt der Platte konzentrische Kreise im Abstand von 5° (max. 20°) angeordnet. Somit ist es möglich die jeweilige Verweildauer des Probanden in den einzelnen Quadraten

bzw. Kreisen zu messen. Die beiden zuletzt genannten Methoden haben allerdings für unsere Versuchsreihe keine Bedeutung.

Insgesamt erfolgen pro Proband 12 Messungen mittels CDP: zwei Probemessungen (die nicht in die Bewertung mit eingehen) sowie eine Messung zu Beginn und am Ende der Versuchsreihe, um den Ausgangswert sowie den Endwert zu bestimmen (s.a. Abbildung 8).

Abbildung 8 - Schematischer Versuchsablauf (CDP = Computerunterstützte dynamische Posturographie)

Desweiteren jeweils vier Messungen nach den beiden körperlichen Belastungstests (Sechs-Minutentest und Treppensteigen), jeweils direkt danach, sowie im Abstand von fünf, zehn und fünfzehn Minuten. All diese Messungen erfolgen auf Stufe 8 (s.o.), da sich dies als im Gegensatz zu z.B. Stufe 2 als geeigneter erwiesen hat, da auf Level 2 die Gefahr größer ist, dass die Probanden während des Messdurchganges abbrechen bzw. sich am Geländer des BBS festhalten müssen und so der Durchgang nicht verwertbar ist [5]. Weiterhin besteht eine lineare Abhängigkeit des Stabilitätsindexes bezüglich des

verwendeten Levels (Level 1 ausgeschlossen), d.h. je niedriger das gewählte Level desto höher die gemessenen Werte und desto niedriger die posturale Stabilität [104].

2.2.9 Modul 9: Funktionelle Bandage

Im letzten Modul erfolgten als weitere Untersuchung Messungen im Einbeinstand mit einer Hüftbandage (Coxa-Hit) der Firma Sporlastic. Dies sollte den Einfluss des Tragens einer Hüftbandage auf die posturale Kontrolle untersuchen. Aus verschiedenen Gründen wurden diese gewonnenen Daten nicht in die weitere Auswertung mit einbezogen, so dass hier auf eine detailliertere Beschreibung dieses Moduls verzichtet wird.

2.3 Statistik

Die erhaltenen Werte und Ergebnisse wurden statistisch aufgearbeitet. Nach initialer Auflistung in Microsoft Excel-Tabellen erfolgte die rein deskriptive Statistik. Zusätzlich wurden die Daten nach signifikanten Unterschieden untersucht. Dazu wurde der studentische T-Test verwendet. Dies ist ein Test, bei die Grundgesamtheit anhand von Mittelwerten einer Stichprobe überprüft wird. Ein statistisch signifikantes Ergebnis wurde erzielt, wenn bei einem Signifikanzniveau von $\alpha=5\%$ der errechnete p-Wert $<0,05$ betrug, und damit die Nullhypothese abzulehnen ist.

3. Ergebnisse

3.1 Vergleich der Stabilitätsindices der Gruppen A und B

Für alle Gruppen zusammen betrachtet lag der Ruhewert für den Gesamtstabilitätsindex OSI im Durchschnitt bei 4,3° +/- 2,0°. In Gruppe A betrug der OSI in Ruhe im Mittel 3,9° +/- 2,0° bei einem Median von 3,75°; im Vergleich dazu die Gruppe B mit einem gemittelten OSI von 4,9° +/- 1,9° und einem Median von 4,8°. Dies bedeutet einen Unterscheid des Mittelwertes von 26,4% (p=0,0975). Das 95%-Konfidenzintervall für die Gruppe A liegt zwischen 3,1° und 4,7°, für die Gruppe B zwischen 4,05° und 5,75°. Die Verteilung des Ruhewertes gibt Abbildung 9 wieder.

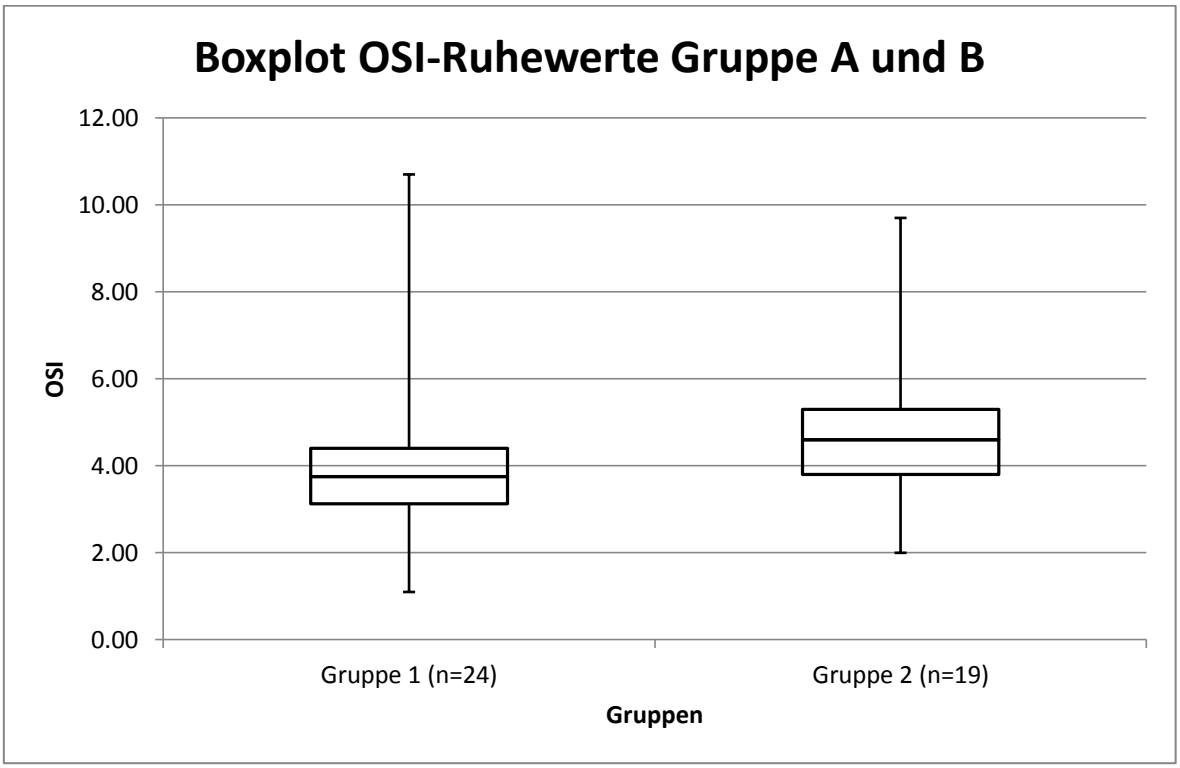

Abbildung 9 - Boxplot der OSI-Ruhewerte für die Gruppen A und B (OSI = Overall Stability Index)

Vergleich Gruppen A und B im Sechs-Minuten-Geh-Test

Direkt nach dem 6-Minuten-Gehtest erhöhte sich der Mittelwert in Gruppe A auf 4,2° +/- 2,2°, während er in Gruppe B auf 4,5° +/- 1,7° sank (ein Unterschied von 5,9 %, p=0,6940). Betrachtet man alle teilnehmenden Probanden so blieb der OSI-Wert sogar unverändert (Ruhe: 4,3° → 0 Minuten: 4,3°). Im weiteren Verlauf sank der OSI in beiden Gruppen über die Zeit kontinuierlich bis auf einen Wert unterhalb des Ruheausgangswertes (Endwert Gruppe A: 3,3° +/- 1,8°); Endwert Gruppe B: 4,0° +/- 1,6°, 23,7% Unterschied, p=0,1687).

Zusammenfassend lässt sich zeigen, dass zu jedem gemessenen Zeitpunkt der OSI für die Gruppe B höher war als für Gruppe A (s.a. Abbildung 10); ohne dass dieser Unterschied jedoch statistisch signifikant zwischen den beiden Gruppen gewesen wäre. In Anbetracht der weiteren Stabilitätsindices in anterior-posteriorer (APSI) bzw. in medio-lateraler (MLSI) Richtung ist festzustellen, dass es bis auf den APSI-Ruhewert keine signifikanten Differenzen zwischen den Gruppen A und B gab (Gr. A: 2,7°, Gr. B: 3,8°, Differenz: 1,1°, p=0,0414).

Die gemittelte Pulsfrequenz in Ruhe lag für alle Probanden zusammen bei 75,4 +/- 12,2 bpm. Als Hinweis für die stattgefundene Belastung stieg die Pulsfrequenz insgesamt um 22,5% (p>0,0001) von 75,4 +/- 12,2 bpm auf 92,4 +/- 15,9 bpm. In Gruppe A betrug der Anstieg 23,9% (77,6 +/- 12,2 bmp → 96,1 +/- 15,1 bmp; p<0,0001). In Gruppe B war die Pulserhöhung etwas geringer, hier wurde ein Anstieg um 20,6% registriert (72,7 +/- 11,5 bmp → 87,7 +/- 15,7 bmp; p=0,0027). In Bezug auf die maximale Herzfrequenz bedeutet dies nach den gängigen mathematischen Rechenformeln ein Wert von 55-59%.

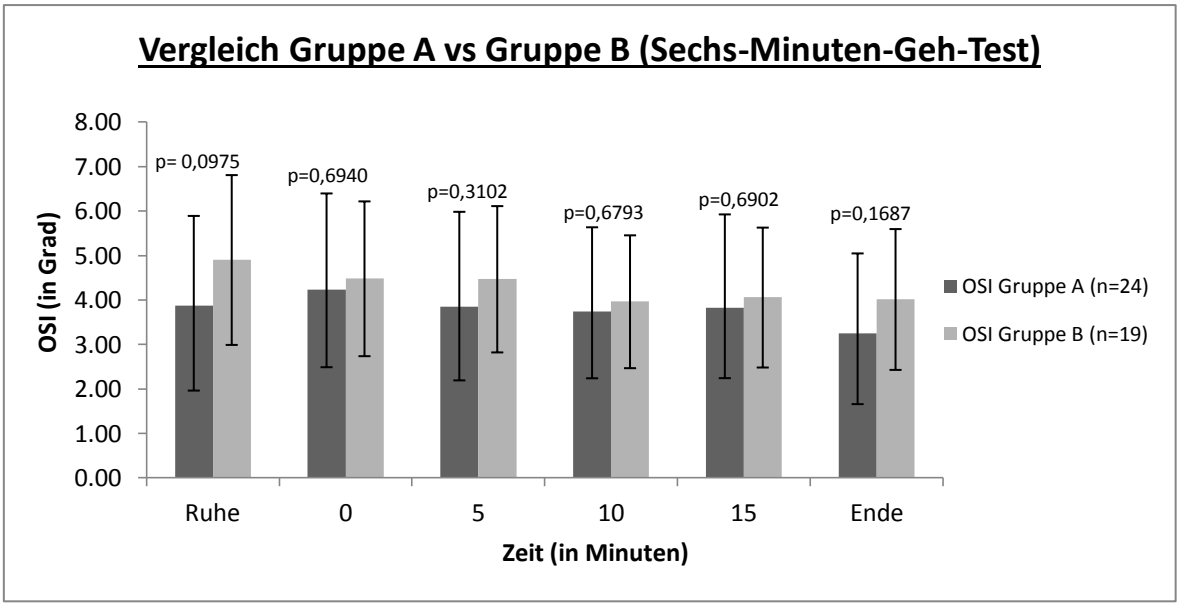

Abbildung 10 - Graphische Darstellung des Overall Stability Index (OSI) für den 6-Minuten-Gehtest im Vergleich von Probanden im Alter von 50-64 (Gruppe A) gegenüber Probanden im Alter 65 Jahren und älter (Gruppe B)

Vergleich der Gruppen A und B im Treppensteigtest

Ähnliche Erkenntnisse sind für den zweiten Teil, das Treppensteigen, festzustellen. Auch hier sind die gemessenen OSI-Werte der Gruppe B, ausgenommen den 15-Minuten-Wert, höher als die der Gruppe A. Direkt nach der Aufgabe betrug der OSI 3,8° +/-1,9° für die Gruppe A (und blieb somit weitgehend unverändert) bzw. 4,3° +/- 1,5° für die Gruppe B (ein Abfall um 0,6°). Zwischen den beiden Gruppen besteht zu diesem Messzeitpunkt ein Unterschied von 12,3%, p=0,3877. Allgemein konnten für diese Art der Belastung keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Subgruppen für den OSI registriert werden (s.a. Abbildung 11). Die Werte für den APSI bzw. MLSI weisen dieselbe Tendenz auf (mit Ausnahme des 15 Minuten-APSI-Wertes), dass sie für die Gruppe B schlechter sind als für Gruppe A ohne jedoch signifikant zu sein. Betrachtet man das Gesamtkollektiv so fällt ein Abfall von 4,3° auf 4,0° auf. Interessant ist die Konstellation, dass bei dieser körperlichen Anstrengung der OSI beider Gruppen stets niedriger als der Ruheausgangswert war. Analog dem 6-MGT wurde die Veränderung der Pulsfrequenz gemessen, es war ein Anstieg von 20,0% festzustellen (75,4 +/- 12,2 bmp → 90,5 SD +/- 17,2 bmp; p<0,0001). Für die Gruppe A wurde ein Frequenzanstieg von 20,6% registriert (77,6 +/- 12,2 bmp → 93,6 +/- 16,5 bmp; p=0,0006), für die Gruppe B von 19,5% (72,7 +/- 11,5 bmp

→ 86,9 +/- 17,2 bmp; p=0,0064). Ähnlich dem 6-MGT betrugen die Herzfrequenzen zwischen 52-59% der maximal erreichbaren Frequenzen für dieses Lebensalter.

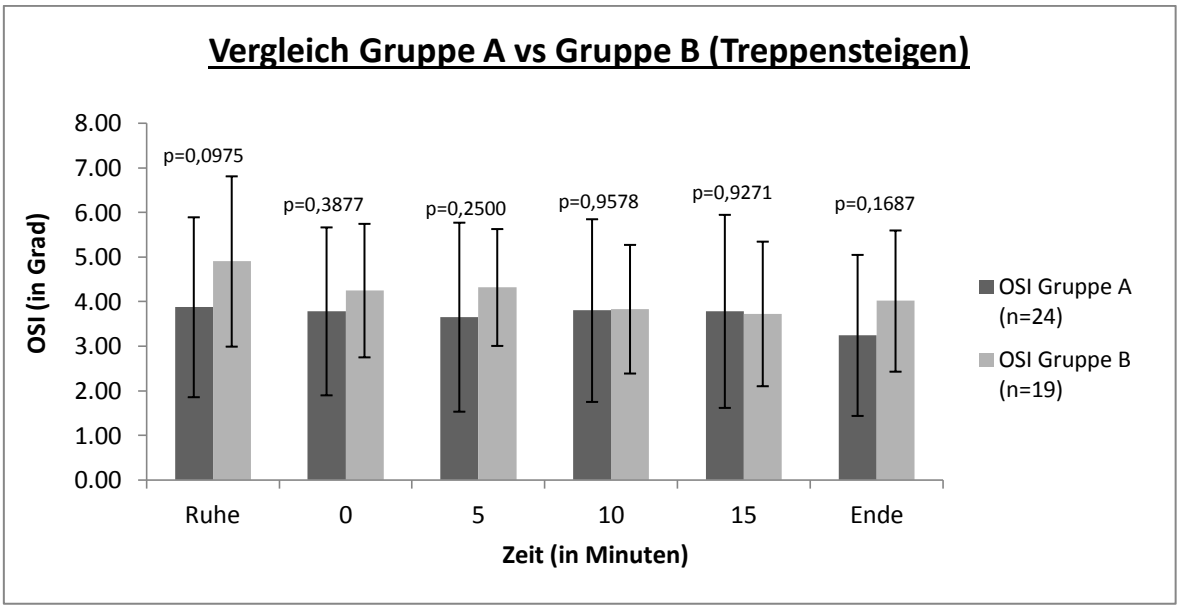

Abbildung 11 - Graphische Darstellung des Overall Stability Index (OSI) für den Treppensteigtest im Vergleich von Probanden im Alter von 50-64 (Gruppe A) gegenüber Probanden im Alter 65 Jahren und älter (Gruppe B)

Vergleich der CDP-Werte der Gruppen A und B im zeitlichen Verlauf

Die Hauptzielgröße ist der Vergleich der CDP-Werte in Ruhe sowie direkt nach der Belastung (s.a. Abbildungen 12 und 13). Wenn man sich nun den direkten Vergleich zwischen Ruheausgangswert und 0-Minuten-Wert näher betrachtet, so ist anzumerken, dass nach dem 6-MGT für die Gruppe A zwar ein Anstieg um 0,35° festzustellen ist (3,88° → 4,23°), dies jedoch kein signifikanter Unterschied ist (p=0,5631). Auch nach dem Treppensteigen ist der p-Wert deutlich vom Signifikanzniveau entfernt (p=0,8722), denn hier ist sogar ein leichter Abfall des OSI-Wertes zu vermerken (3,88° → 3,79°). Für die Gruppe B gelten ähnliche Erkenntnisse: nach beiden körperlichen Aufgaben ist ein Abfall, und damit überraschenderweise eine Verbesserung der posturalen Stabilität, gemessen worden (Ruhe: 4,91°, 6-MGT-0-Minuten-Wert: 4,48°, Treppensteigen-0-Minuten-Wert: 4,25°). Dementsprechend sind auch die p-Werte mit 0,4878 bzw. 0,2487 nicht statistisch signifikant.

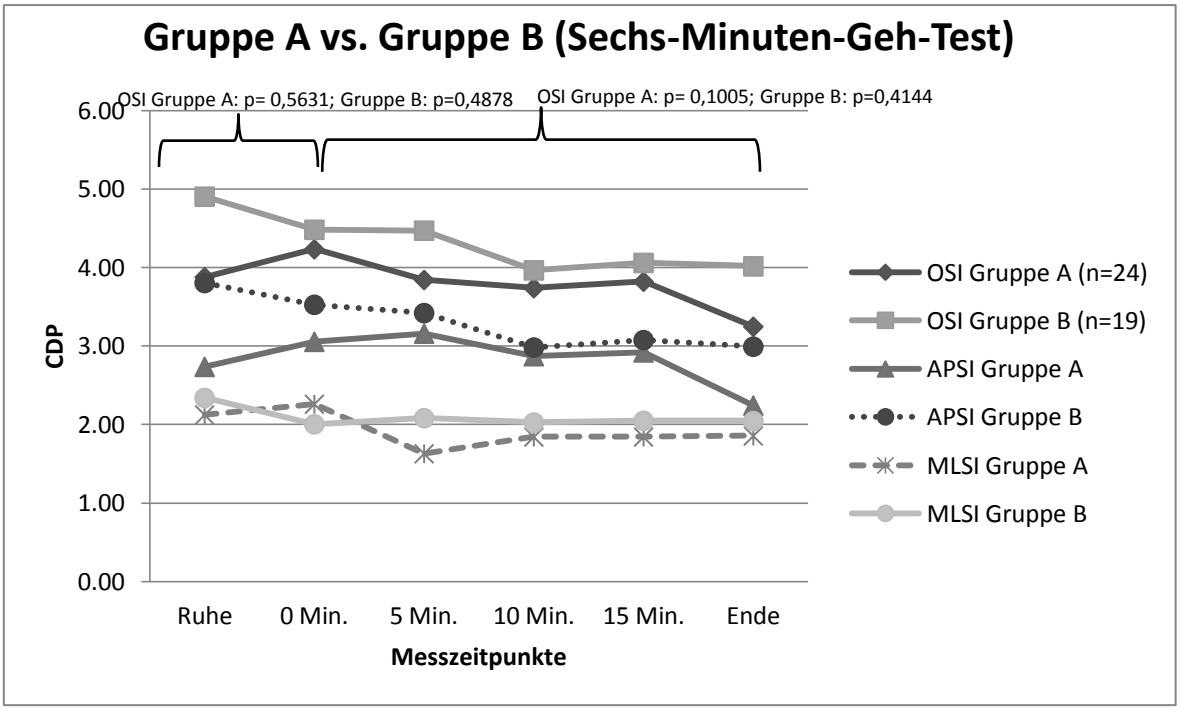

Abbildung 12 - Verlauf der CDP-Werte für den 6-Minuten-Gehtest im Vergleich der Gruppen A und B (OSI = Overall Stability Index, APSI = Anterior-Posterior Stability Index, MLSI = Medio-Lateral Stability Index, CDP = Computerunterstützte dynamische Posturographie)

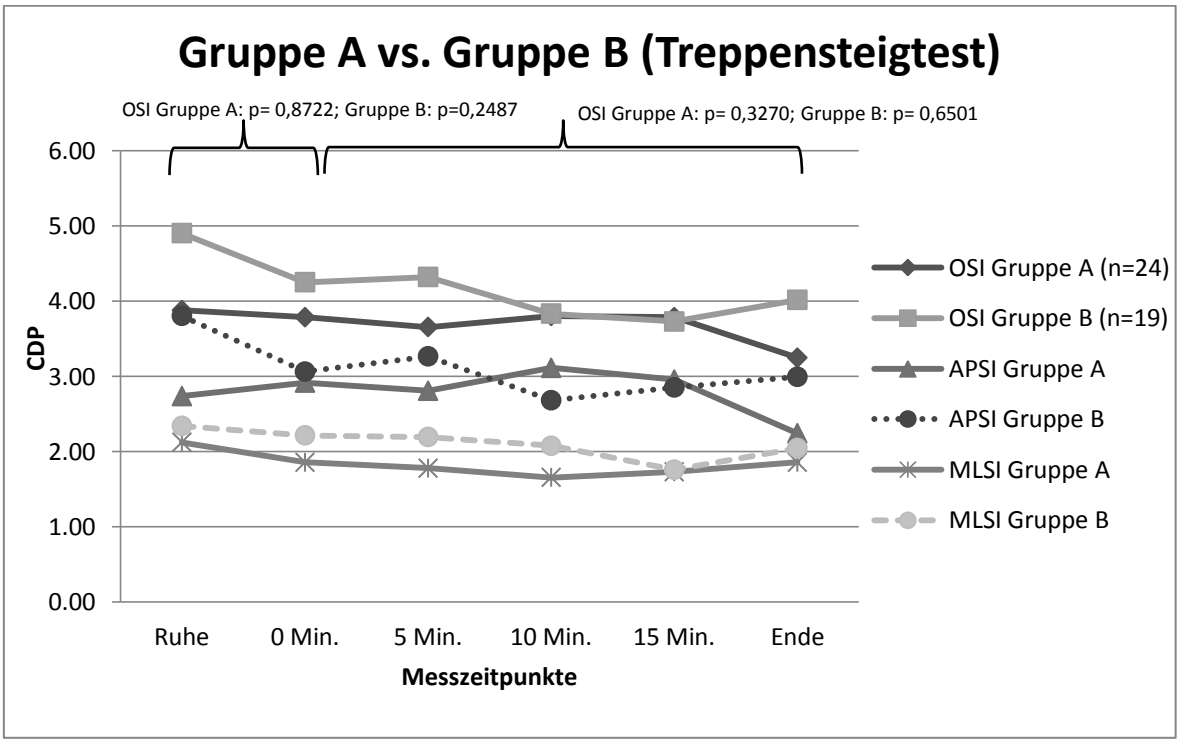

Abbildung 13 - Verlauf der CDP-Werte für das Treppensteigen im Vergleich der Gruppen A und B (OSI = Overall Stability Index, APSI = Anterior-Posterior Stability Index, MLSI = Medio-Lateral Stability Index, CDP = Computerunterstützte dynamische Posturographie)

Ein statistisch signifikanter Wert konnte für den Ruhe-APSI-Wert ermittelt werden, wenn man Gruppe A mit Gruppe B vergleicht (p=0,0414). Dies ist der einzige deutlich unterschiedliche Wert in dieser Fragestellung zwischen "jüngeren" und "älteren" Teilnehmern. Die restlichen APSI- als auch die MLSI-Werte waren zu gegenläufig um einen klaren Trend aufzeigen zu können. Ebenso blieb der Vergleich zwischen Ruhewert und 0-Minuten-Wert direkt nach der Belastung für den APSI bzw. den MLSI ohne beweisendes Ergebnis.

Beide Aufgaben haben ihr Ziel erreicht, die Probanden kurzfristig zu beanspruchen ohne sie jedoch auszubelasten. In beiden Gruppen zeigte sich im zeitlichen Verlauf für beide Aufgaben ein Unterschied der Stabilitätsindices in der Form, dass die Probanden der Gruppe A stets bessere Werte erzielten als die der Gruppe B, ohne jedoch statistisch signifikant zu sein.

Eine Auflistung der Durchschnittsergebnisse der weiteren Tests und Scores, aufgesplittet für die Gruppen A und B, zeigt Tabelle 4. Dabei zeigt sich, dass Teilnehmer der Gruppe A mit Ausnahme der regelmäßigen Freizeitaktivitäten stets bessere Ergebnisse erzielen konnten; oftmals war dieser Unterschied auch statistisch signifikant. Auf diese Ergebnisse wird im Folgenden weiter Bezug genommen.

Tabelle 4 – erreichte Mittelwerte und Standardabweichungen der Subgruppen im Vergleich der beiden Gruppen A und B sowie der gewählte Cut-off-Wert für die jeweilige Subgruppe (grün=signifikant [p=<0,05], rot=nicht signifikant) (BMI = Body Mass Index, POMA = performance-orientated-mobility-assessment, Disk. = Diskrimination, SD = standard deviation)

	Alter (Jahre)	BMI (kg/m²)	Balancebeur-teilung (%)	Barthel-Index (Pkte.)	POMA-Score (Pkte.)	Bergtest (Pkte.)	Chairstand-Test (Wdh.)	Timed up-Test (Sek.)	2Punkt-Disk. (mm)	Freizeit (h)
Gruppe A (Jung)	**58,6**	**26,6**	**73,5**	**99,8**	**27,8**	**54,7**	**12,7**	**7,9**	**20,5**	**7,5**
Jung (SD)	4,1	5,0	15,3	1,0	0,7	2,0	2,6	1,5	5,9	8,1
Gruppe B (Alt)	**73,2**	**25,6**	**68,5**	**98,2**	**26,4**	**50,7**	**10,1**	**9,4**	**30,4**	**7,6**
Alt (SD)	5,1	3,7	16,7	3,0	2,0	4,8	3,7	2,7	32,0	10,6
p-Wert	<0,0001	0,4824	0,2652	0,0162	0,0028	0,0006	0,0099	0,0227	0,2564	0,9158

3.2 Body Mass Index (BMI)

Der gemittelte Body Mass Index (BMI) aller Teilnehmer betrug 26,2 +/- 4,4 kg/m² bei einem Median von 24,7 kg/m². Die Probanden der Gruppe A hatten einen durchschnittlichen BMI von 26,6 +/- 5,0 kg/m², während der BMI der Gruppe B einen Punkt niedriger war (25,6 +/- 3,7 kg/m²).

Abhängigkeit der CDP-Werte aller Probanden vom BMI

Zur Analyse, inwieweit der BMI einen Einfluss auf die CDP-Werte hat, wurden zwei unterschiedliche Herangehensweisen gewählt. Zum Einen wurden alle Probanden unabhängig vom Alter in drei Untergruppen unterteilt, je nach BMI-Wert (BMI ≤25,0 kg/m²; 25,1-30,0 kg/m² und >=30,0 kg/m²). Dabei wurde zu jedem Zeitpunkt der Messung und für beide körperlichen Aufgaben ein signifikanter Unterschied des OSI zwischen Probanden mit normalem BMI (=≤25,0 kg/m²) und adipösen Probanden (=BMI>30 kg/m²) festgestellt (s.a. Abbildung 14 und 15). Für den APSI und MLSI ist ebenfalls die Tendenz einer erniedrigten

posturalen Stabilität aufgrund von höheren CDP-Werten für Probanden mit einem BMI >30 kg/m² zu jedem Messzeitpunkt und für beide Aufgabenstellungen festzustellen, allerdings ohne immer statistisch signifikant zu sein.

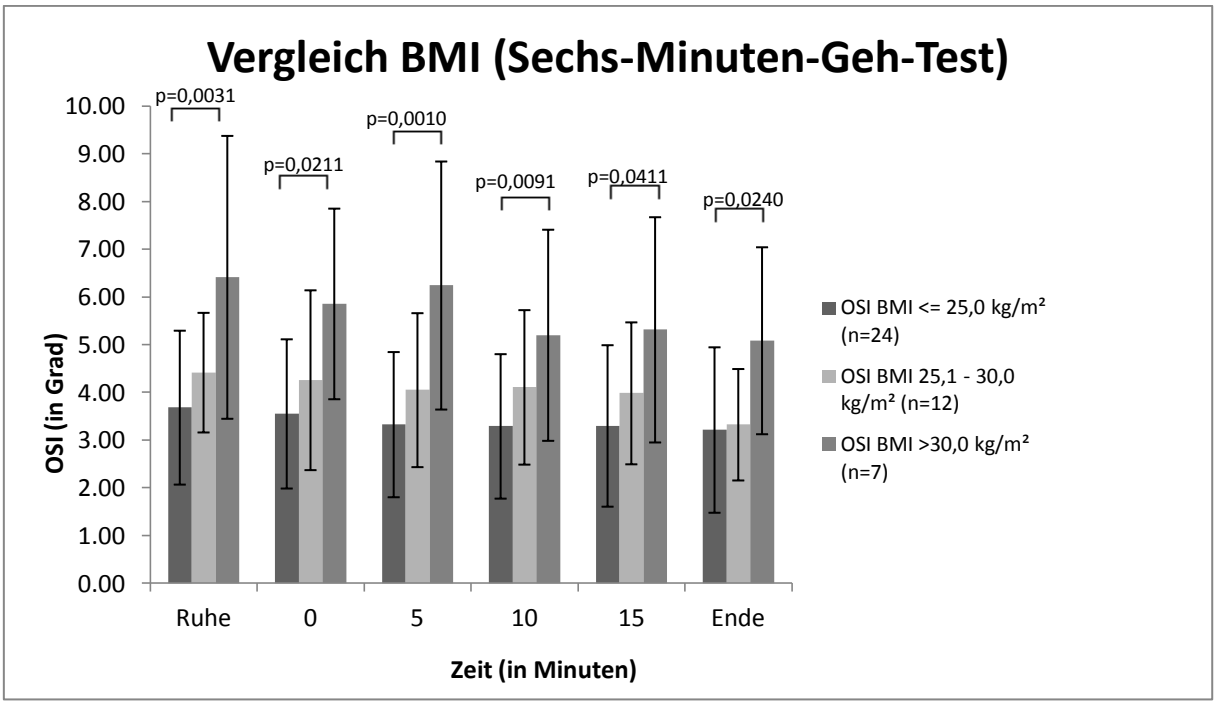

Abbildung 14 - Vergleich der OSI-Werte zwischen den Probanden anhand des jeweiligen OSI (p-Werte gelten für den Vergleich BMI <=25 kg/m² vs. >30 kg/m²) (BMI = Body Mass Index, OSI = Overall Stability Index)

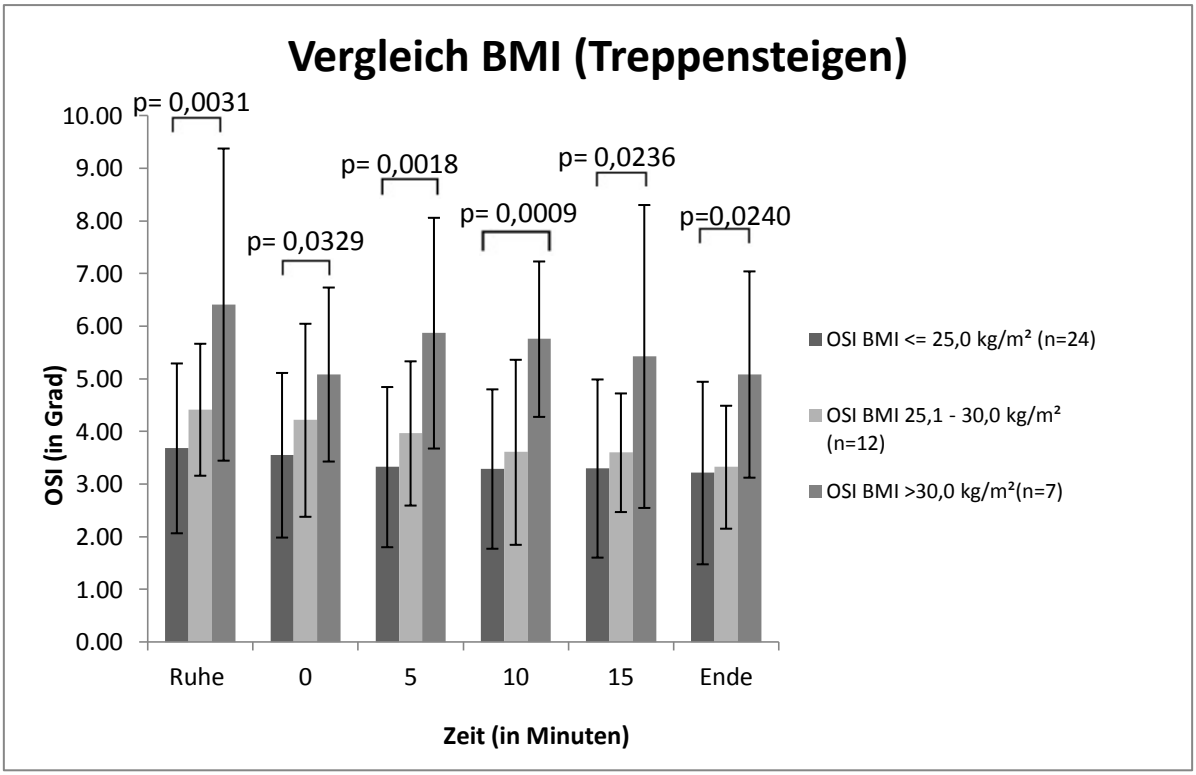

Abbildung 15 - Vergleich der OSI-Werte zwischen den Probanden anhand des jeweiligen OSI (p-Werte gelten für den Vergleich BMI <=25 kg/m² vs. >30 kg/m²) (BMI = Body Mass Index, OSI = Overall Stability Index)

Beim Vergleich normalgewichtiger Probanden (=BMI≤ 25,0 kg/m²) gegenüber Probanden mit Übergewicht (=BMI 25,1 - 30,0 kg/m²) konnten bei beiden Tests keine signifikanten Werte ermittelt werden, wohingegen bei erstgenannter Gruppe stets niedrigere OSI-Werte gemessen wurden. Ebenfalls keine signifikanten Unterschiede wurden für den APSI und den MLSI gemessen. Stellt man Probanden mit Übergewicht (=BMI 25,1 - 30,0 kg/m²) Probanden mit starkem Übergewicht (=BMI >30 kg/m²) gegenüber, sind nach dem 6-Minuten-Gehtest nach 5 Minuten (p=0,0354) und der Ruhewert am Ende (p=0,0241) der Messung statistisch signifikant. Während für den MLSI keine eindeutigen Daten festzustellen sind, wurden beim APSI ebenfalls nach 5 Minuten und am Ende Signifikanzen erkennbar (p=0,0360 bzw. p=0,0262). Gleiches gilt für den Treppentest, auch hier sind nach 5 Minuten (p=0,0312) bzw. am Ende (p=0,0147) signifikante Werte messbar gewesen; interessanterweise auch zusätzlich der 10 Minuten-Wert (p=0,0147), sowohl beim OSI als auch beim APSI. Der MLSI zeigt hierbei ebenfalls keine Unterschiede.

Vergleich der CDP-Ruhewerte der Gruppen A und B in Abhängigkeit des BMI

Beim zweiten Ansatz wurden die Ergebnisse anhand des Alters und des jeweiligen BMI analysiert. Die Verteilung der CDP-Werte in Ruhe zeigt die Abbildung 16. Dabei ist ersichtlich, dass Probanden der Gruppe A mit einem normalen BMI niedrigere CDP-Werte erzielen, während die Ergebnisse der restlichen drei Untergruppen den Median betreffend auf einem ähnlichen Niveau liegen. Dies zeigt sich auch darin, dass für die Gruppe A mit normalem BMI im Vergleich zu den anderen Untergruppen für beide körperlichen Aufgaben signifikant bessere Ergebnisse erzielen konnte, insbesondere im Ruhezustand aber auch vereinzelt zu anderen Messzeitpunkten, ohne jedoch ein spezielles Muster erkennen zu lassen. Folgende Mediane und 95&-Konfidenzintervalle konnten wir ermitteln: Gruppe A mit einem BMI <25: Median 3,5°, 95% KI = 2,54° bis 3,57°; Gruppe A mit einem BMI >25: Median 4,45°, 95% KI = 3,45° bis 6,61°; Gruppe B mit einem BMI <25: Median 4,55°, 95% KI = 3,35° bis 5,77° sowie die Gruppe B mit einem BMI >25: Median 4,80°, 95% KI = 4,05° bis 6,53°.

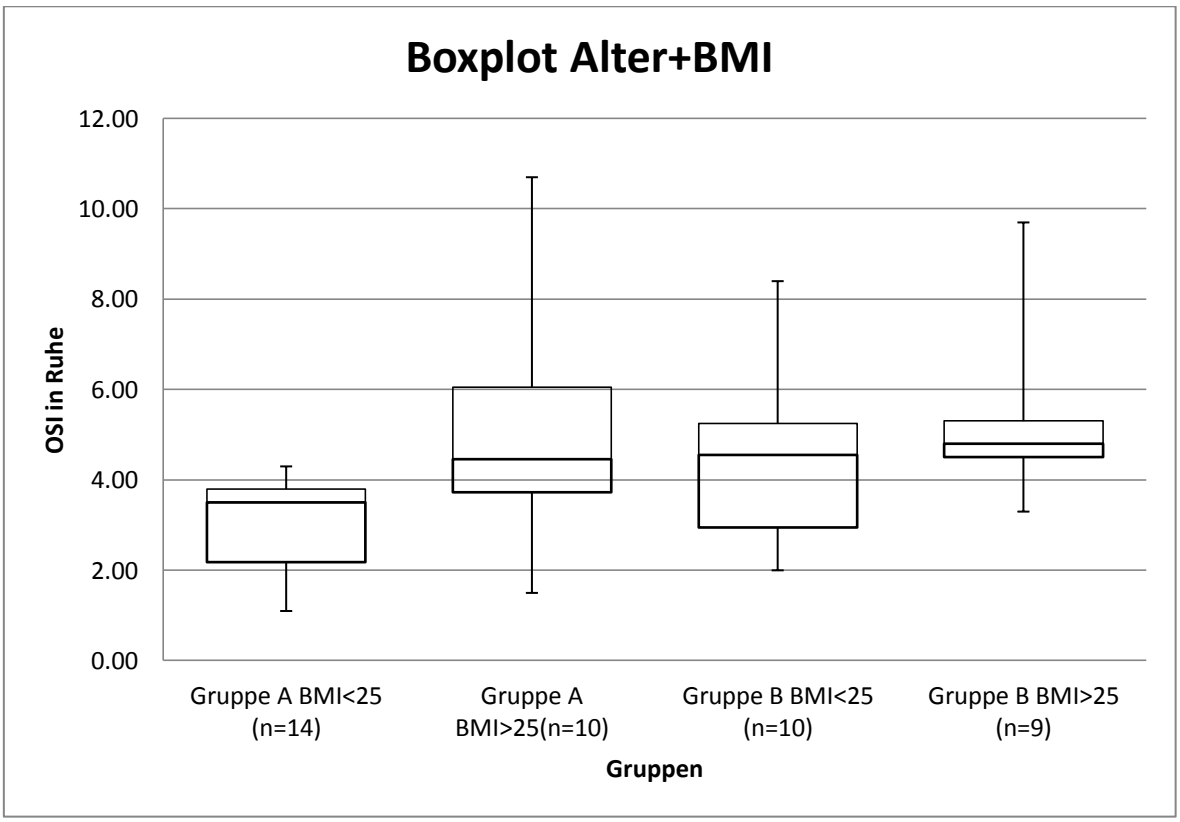

Abbildung 16 - Boxplot der OSI-Ruhewerte der Gruppen A und B unter Berücksichtigung des BMI (BMI = Body Mass Index, OSI = Overall Stability Index)

Im wichtigen Hinblick auf die Veränderung der CDP-Werte zwischen Ruheausgangswert und direkt nach den Belastungen wurden keine deutlichen Auffälligkeiten aufgrund von teilweise gegenläufigen Entwicklungen (Anstiege und Abfälle der CDP-Werte) registriert.

Unter dem Aspekt des Körpergewichts zeigt sich, dass mit zunehmendem BMI nach beiden Aufgaben die Stabilitätsindices tendenziell zunehmen, auch wenn im Ruhezustand noch keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden können, selbst wenn man Alter und BMI in Verbindung bringt.

3.3 Balanceselbsteinschätzung

Die Selbsteinschätzung bezüglich des eigenen Vermögens das Gleichgewicht aufrecht zu erhalten wurde anhand einer visuellen Analogskala durchgeführt. Die Skalierung hatte eine Einteilung von 0-100%. Für alle Probanden zusammen ergab sich ein durchschnittlicher Wert von 71,6% (+/- 15,7). Die in unserem Kollektiv „jüngeren“ Probanden (Gruppe A) fühlten sich dabei etwas sicherer als die „Älteren“ (Gruppe B), was sich in einem Unterschied von ca. 5% wiederspiegelt (73,5% bzw. 68,5%).

Vergleich der Gruppen A und B in Bezug auf die Balanceselbsteinschätzung

Betrachtet man die Verteilung der OSI-Ruhewerte für alle Probanden, so fällt auf, dass es sowohl Probanden mit guter Selbsteinschätzung und schlechteren Ruhewerten, als auch Probanden mit schlechter Selbsteinschätzung und guten Ruhewerten gab (s.a. Abbildung 17), so dass kein klarer Zusammenhang zwischen Selbsteinschätzung und objektiver Messung hergestellt werden konnte.

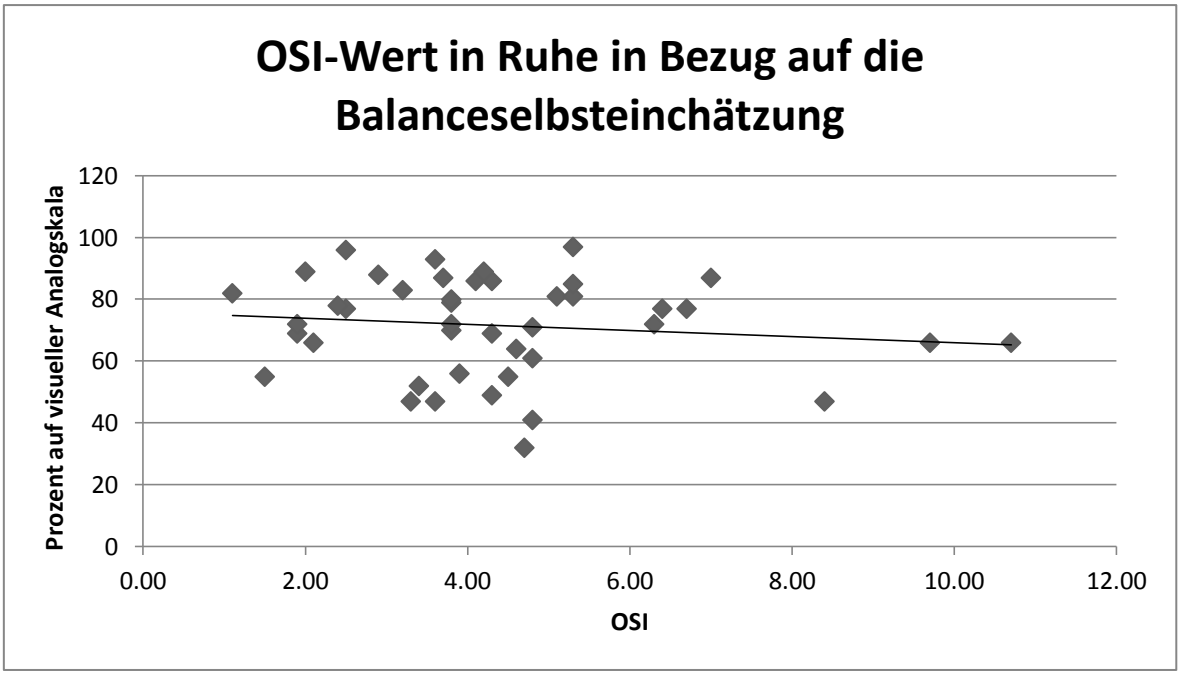

Abbildung 17 - Verteilung der OSI-Ruhewerte aller Probanden in Bezug auf die Selbsteinschätzung des Gleichgewichtsvermögens auf einer visuellen Analogskala (VAS) (OSI = Overall Stability Index)

In Gruppe B konnten für die MLSI-Werte statistisch aussagekräftige Unterschiede registriert werden. Für den Sechs-Minuten-Geh-Test war dies nach 10 und 15 Minuten nach der Durchführung des Tests sowie am Ende der Messreihe der Fall (p=0,014 bzw. 0,022 bzw. 0,0141), nach dem Treppensteigen nach 5 und 15 Minuten (p=0,009 bzw. 0,0492). Diese Auffälligkeiten treffen innerhalb der Gruppe B für den Vergleich zwischen Probanden mit einer Selbsteinschätzung von >72% und Probanden mit niedriger Eigenbeurteilung zu. Für die Gruppe A konnten keine richtungsweisenden Unterschiede detektiert werden.

Im Hinblick auf die direkte Veränderung der CDP-Werte im Vergleich Ruhe und direkt nach den körperlichen Belastungen wurden weder für die Gruppe A noch für die Gruppe B Signifikanzen gemessen, auch wenn für die Gruppe A alle Probanden Anstiege im OSI und APSI-Wert zu verzeichnen hatte und in Gruppe B für Probanden mit einer Selbstbeurteilung von >72%. Für Probanden der Gruppe B und <72% wurde interessanterweise sogar ein Abfall aller drei CDP-Werte gemessen.

Vergleich der OSI-Ruhewerte in Abhängigkeit der Balanceselbsteinschätzung

Nimmt man bei der Analyse dieses Untersuchungspunktes unsere zweite Einteilung der Probanden zu Hand (in die Gruppen <60%, 60-80% und >80%) konnte ebenfalls kein Zusammenhang zwischen eigener Einschätzung und gemessenen Werten festgestellt werden, weder beim 6-Minuten-Gehtest noch beim Treppensteigen. Betrachtet man den Median der drei Untergruppen so zeigt sich kein wesentlicher Unterschied, der OSI-Ruhewert ist knapp über- bzw. unterhalb von 4. Die Auswertung der Ruhewerte im Rahmen einer Punktewolke zeigt, dass die meisten Werte, unabhängig von der eigenen Einschätzung der Balancefähigkeit, auf identischem Niveau sind (s.a. Abbildungen 18-21). Folgende Median und 95%-Konfidenzintervalle wurden berechnet: Probanden mit einer Selbstbeurteilung von unter 60%: Median 4,20°; 95% KI = 3,58° bis 6,94°; Probanden mit einer Selbstbeurteilung der Balance von 60-80%: Median 4,30°, 95% KI = 3,88° bis 5,39° sowie die Probanden, sie sich mit mehr als 80% selbst bezüglich ihrer eigenen Balancefähigkeit bewerteten: Median 3,70°, 95% KI = 2,56° bis 4,14°.

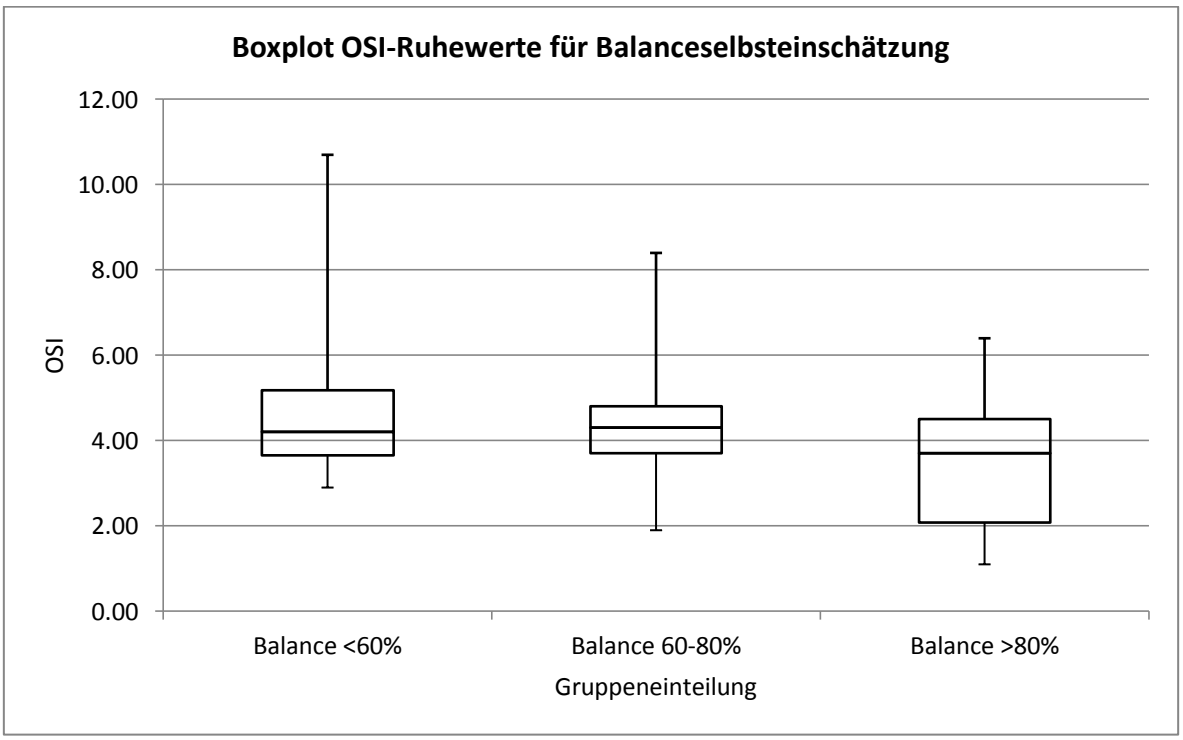

Abbildung 18 – Boxplotdarstellung der OSI-Ruhewerte nach Einteilung der Probanden in drei Untergruppen anhand der eigenen Selbsteinschätzung bezüglich des Gleichgewichtsvermögens (OSI = Overall Stability Index)

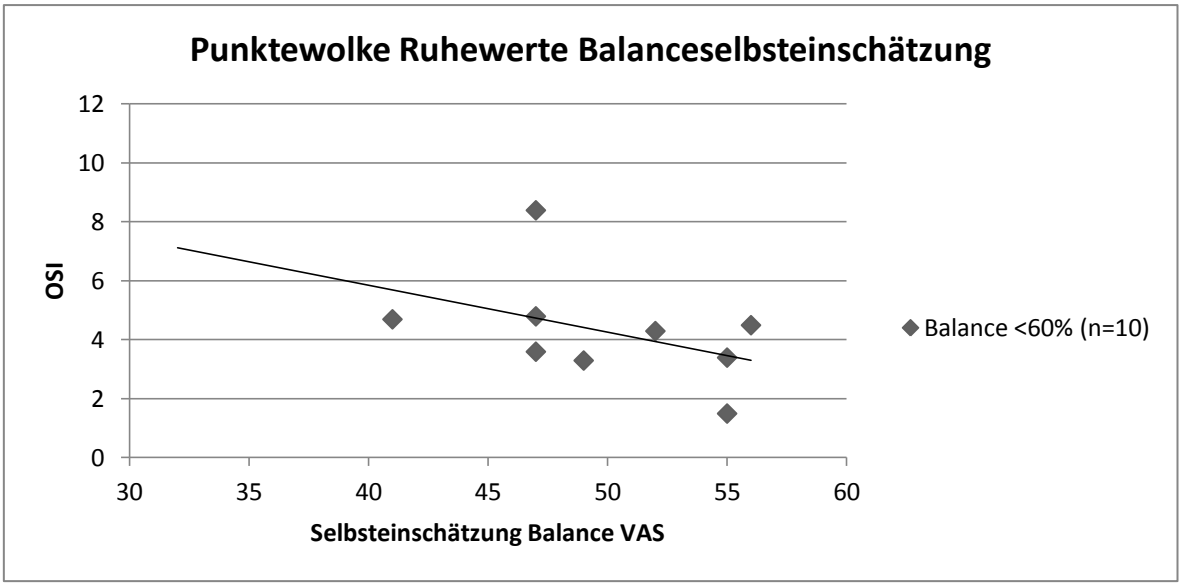

Abbildung 19 - Verteilung der OSI-Ruhewerte für die gebildete Untergruppe mit einer Balanceselbsteinschätzung von <60% anhand einer visuellen Analogskala (OSI = Overall Stability Index)

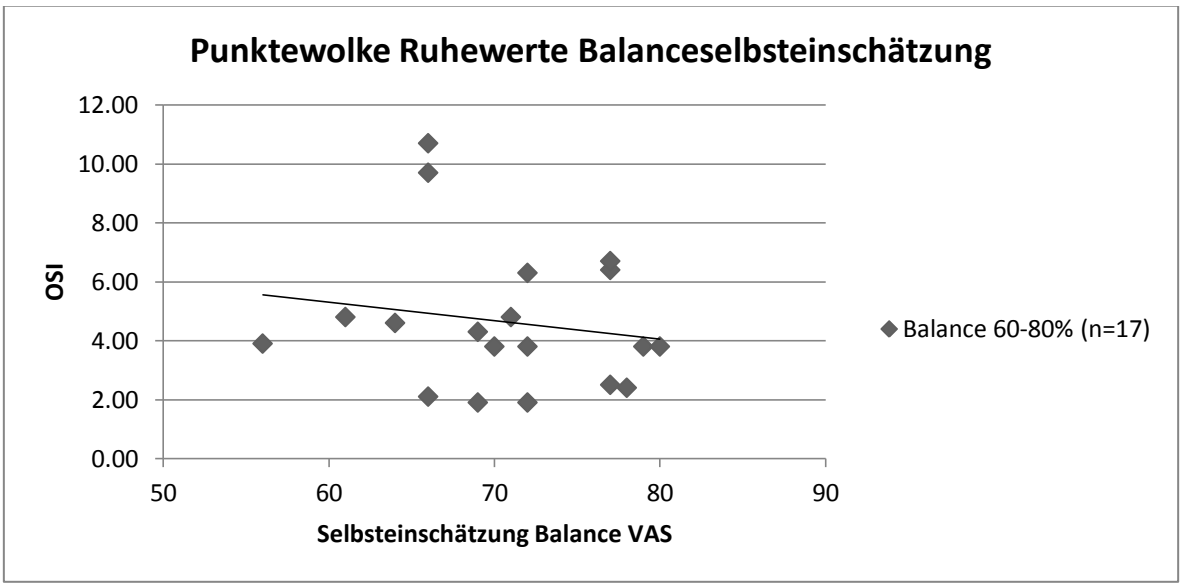

Abbildung 20 - Verteilung der OSI-Ruhewerte für die gebildete Untergruppe mit einer Balanceselbsteinschätzung von 60-80% anhand einer visuellen Analogskala (OSI = Overall Stability Index)

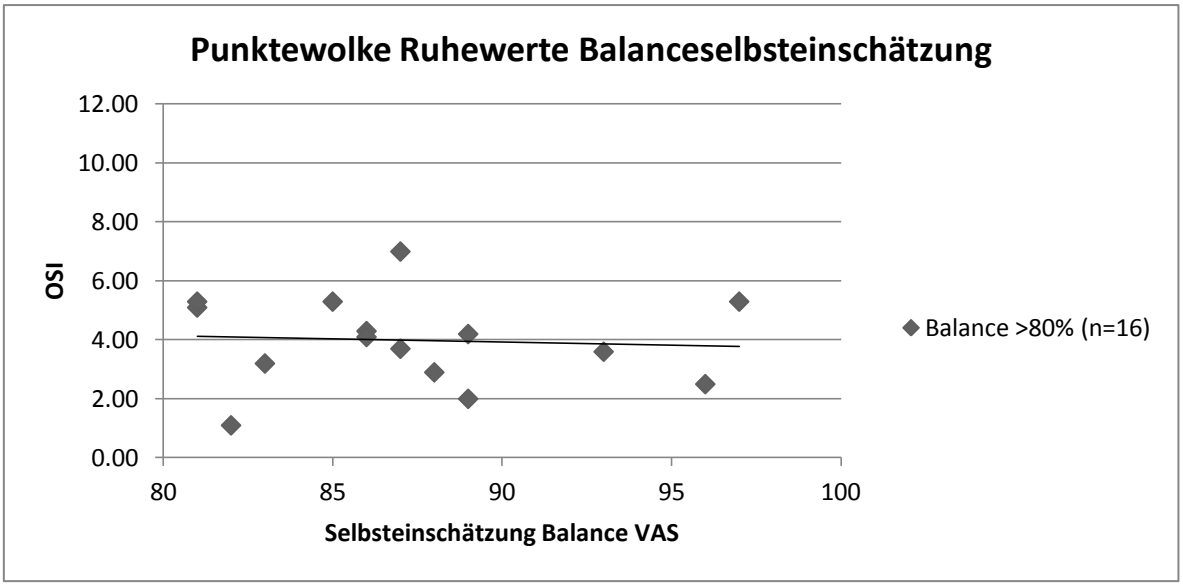

Abbildung 21 - Verteilung der OSI-Ruhewerte für die gebildete Untergruppe mit einer Balanceselbsteinschätzung von >80% anhand einer visuellen Analogskala (VAS) (OSI = Overall Stability Index)

Die subjektive Einschätzung zum eigenen Gleichgewicht scheint zusammenfassend demnach nicht mit korrespondierenden objektiven Messergebnissen übereinzustimmen.

3.4 Barthel-Index

Fast alle Teilnehmer konnten eine maximale Punktzahl von 100 Punkten beim Barthel-Index erreichen, lediglich bei 7 Teilnehmern war dies nicht der Fall, wobei jedoch nie ein Wert <90 Punkte erzielt wurde (s.a. Ausschlusskriterien).

Vergleich der Gruppen A und B in Bezug auf den Barthel-Index

Unterschiede der Gruppen A und B bezüglich der posturalen Kontrolle/Stabilität konnten mit Blick auf die erreichte Punktzahl beim Barthel-Index nicht nachgewiesen werden. Nach dem 6-MGT waren allein drei von 108 analysierten Ergebnissen statistisch signifikant; der APSI-Ausgangswert in Ruhe zwischen den Gruppen A und B bei Probanden mit einem Barthel-Index von 100 (p=0,0323),

sowie der 5-Minutenwert für den OSI und den APSI beim Vergleich der Probanden innerhalb der Gruppe B zwischen Teilnehmern mit 100 Punkten und solchen mit 90-95 Punkten (p=0,0443 bzw. p=0,0407). Ähnliche Resultate zeigen sich nach dem Treppensteigen. Nur der bereits erwähnte APSI-Ruhewert ist signifikant, da dieser für beide körperlichen Aufgaben identisch ist. Der direkte Vergleich des Ruhewerts mit dem 0-Minuten-Wert direkt nach der Anstrengung lieferte keine eindeutigen Aussagen. Die CDP-Werte gingen teils nach oben, teils nach unten, ohne ein klares Muster erkennen zu lassen.

Analyse der CDP-Werte in Abhängigkeit des Barthel-Indexes

Unterteilt man alle Probanden unabhängig vom Alter in zwei Untergruppen (100 Punkte bzw. 90-95 Punkte), so sind folgende Feststellungen zu treffen:

Beim 6-MGT zeigte Gruppe 1 einen kontinuierlichen Abstieg des OSI von 4,3° +/- 2,1°) in Ruhe bis auf 3,5° +/- 1,8°) am Ende. In Gruppe 2 zeigte sich hingegen ein Anstieg des OSI von 4,4° +/- 1,3°) bis auf einen Spitzenwert nach 5 Minuten auf 4,9° +/- 1,8°). Erst danach fiel der OSI wieder ab, ebenfalls bis auf einen Endwert unterhalb des Ruheausgangsniveaus (4,1° SD +/- 1,3°).

Beim Treppentest zeigte sich ein ähnliches Bild; während die posturale Stabilität in Gruppe 1 eher anstieg (der OSI also kleiner wurde), ist in Gruppe 2 kein klares Muster mit eher gleichbleibenden Werten festzustellen. Tendenziell waren die Ergebnisse für beide Aufgaben aber für Probanden mit einem Barthel-Index von 100 Punkten jedoch niedriger, was mit einer verbesserten posturalen Stabilität gleichgesetzt werden kann (s.a. Abbildungen 22-27). Nichtsdestotrotz konnten für keine der drei gemessenen CDP-Werte (OSI, APSI und MLSI) signifikante Unterschiede zwischen den beiden festgestellt werden.

Tendenziell scheinen hohe Werte im Barthel-Index mit besserer posturaler Stabilität vergesellschaftet zu sein.

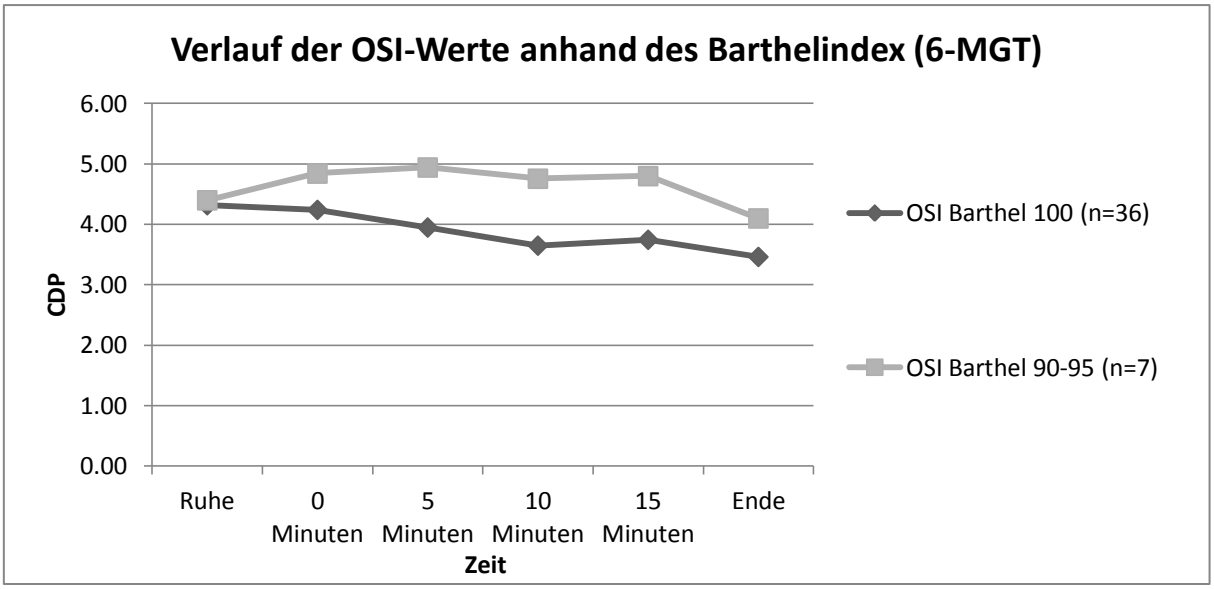

Abbildung 22 - Verlauf der OSI-Werte nach dem Sechs-Minuten-Geh-Test (6-MGT) in Kombination mit dem erreichten Barthel-Index (OSI = Overall Stability Index, CDP = Computerunterstützte dynamische Posturographie)

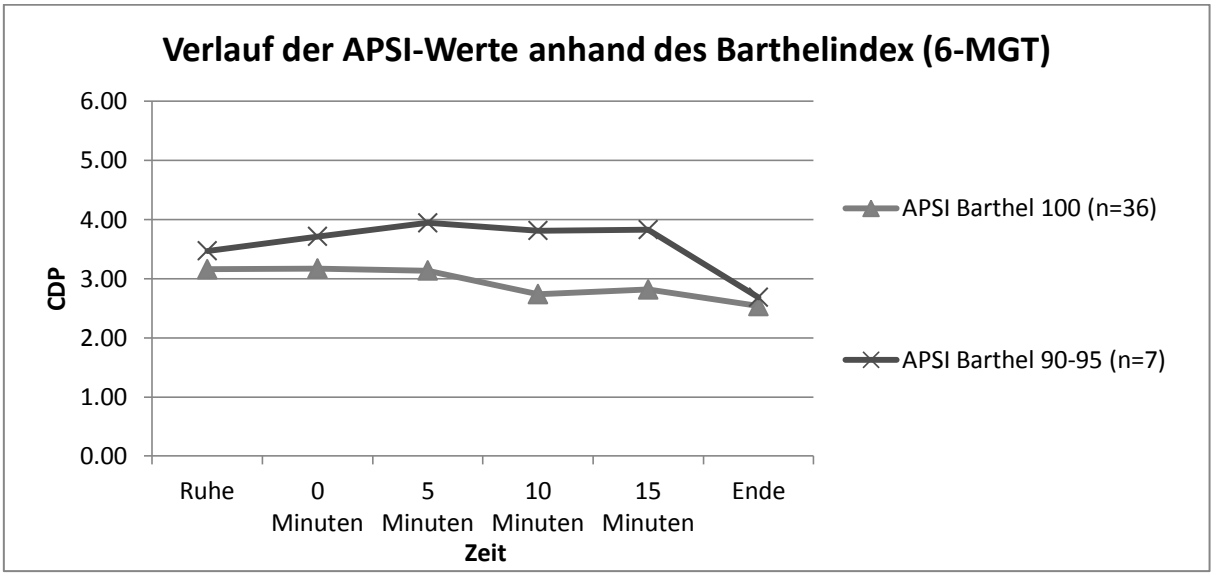

Abbildung 23 - Verlauf der APSI-Werte nach dem Sechs-Minuten-Geh-Test (6-MGT) in Kombination mit dem erreichten Barthel-Index (APSI = Anterior-Posterior Stability Index, CDP = Computerunterstützte dynamische Posturographie)

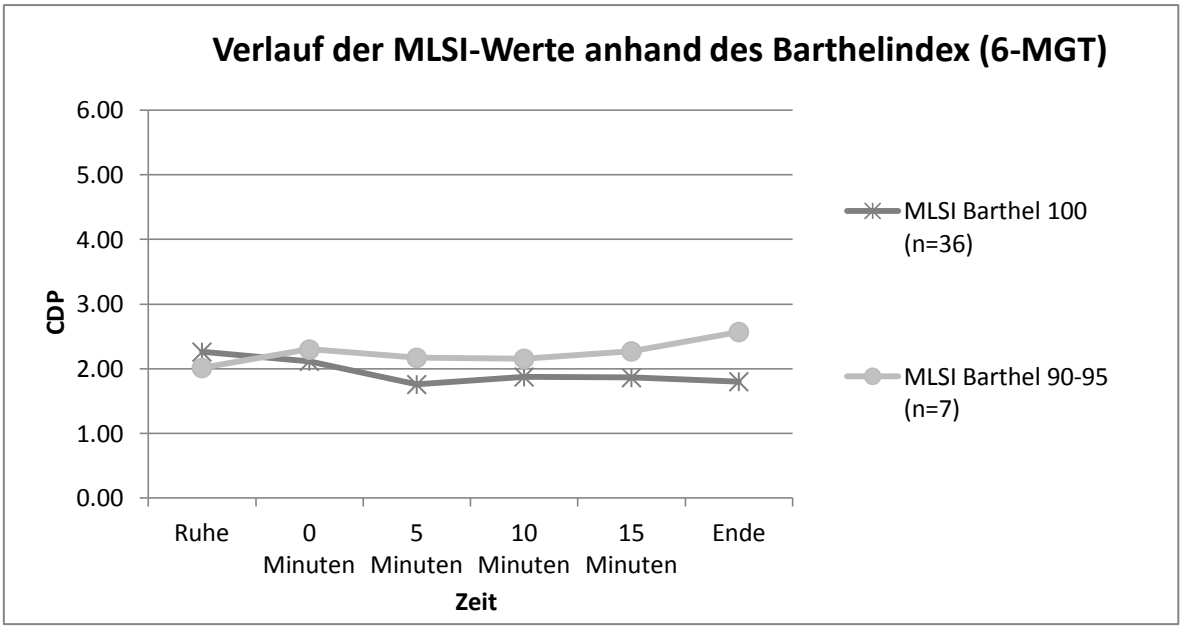

Abbildung 24 - Verlauf der MLSI-Werte nach dem Sechs-Minuten-Geh-Test (6-MGT) in Kombination mit dem erreichten Barthel-Index (MLSI = Medio-Lateral Stability Index, CDP = Computerunterstützte dynamische Posturographie)

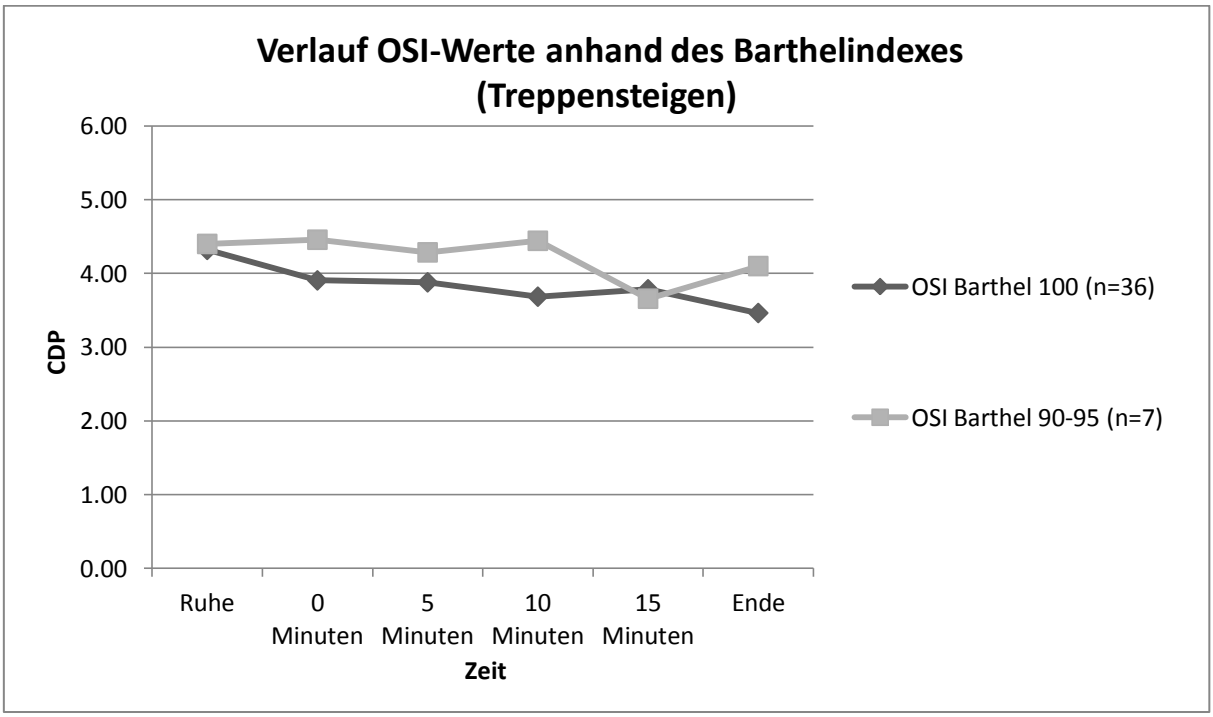

Abbildung 25 - Verlauf der OSI-Werte nach dem Treppensteigen-Test in Kombination mit dem erreichten Barthel-Index OSI = Overall Stability Index, CDP = Computerunterstützte dynamische Posturographie)

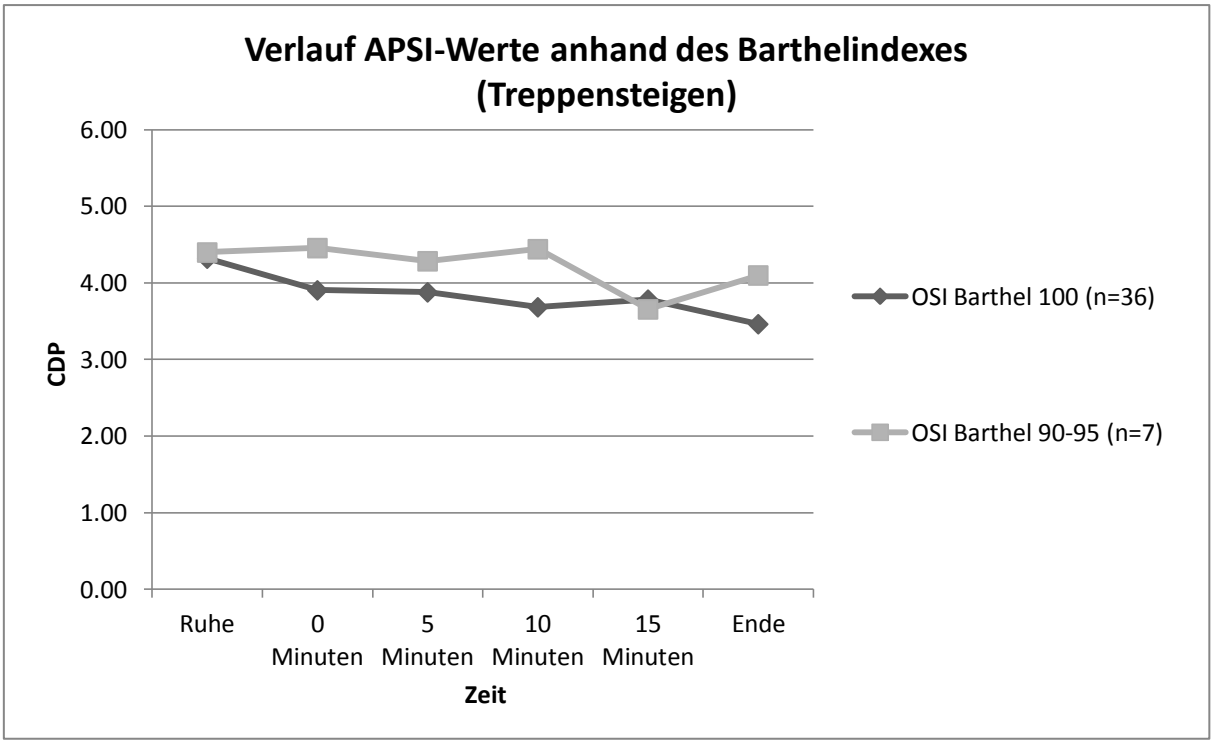

Abbildung 26 - Verlauf der APSI-Werte nach dem Treppensteigen-Test in Kombination mit dem erreichten Barthel-Index (APSI = Anterior-Posterior Stability Index, CDP = Computerunterstützte dynamische Posturographie)

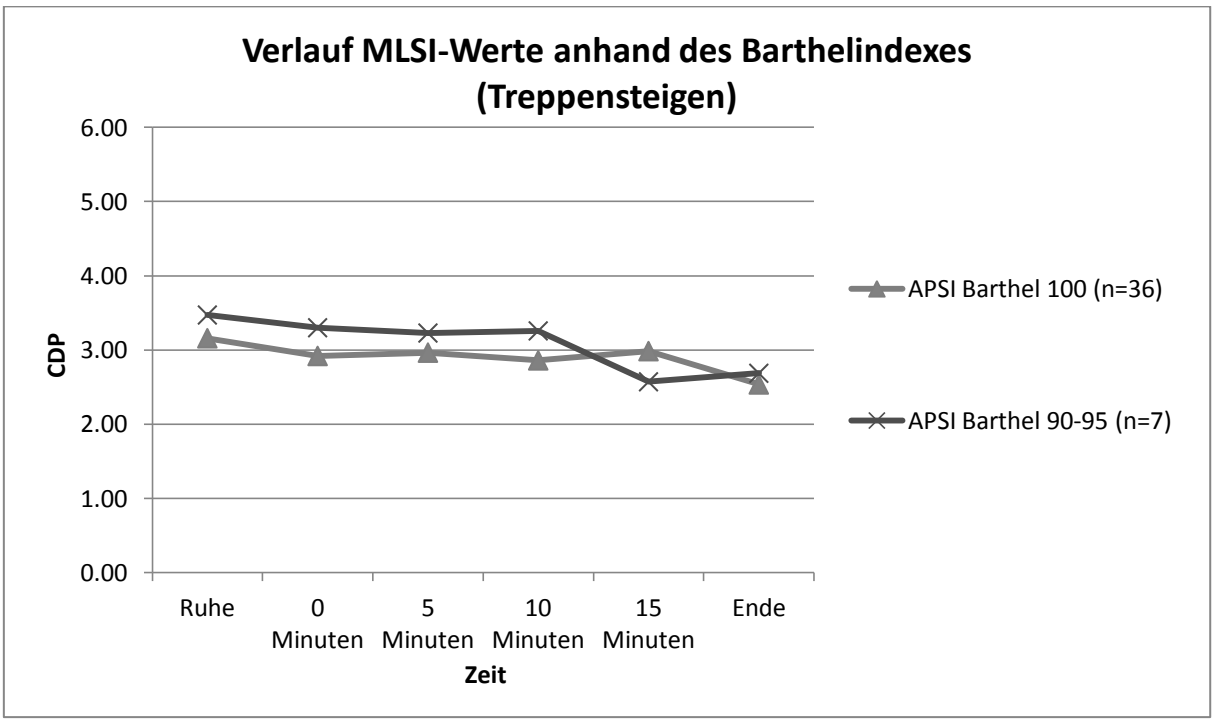

Abbildung 27 - Verlauf der MLSI-Werte nach dem Treppensteigen-Test in Kombination mit dem erreichten Barthel-Index (MLSI = Medio-Lateral Stability Index, CDP = Computerunterstützte dynamische Posturographie)

3.5 Tinetti-Test (POMA-Score)

Der gemittelte Durchschnittswerte für alle Probanden betrug 27,2 +/- 1,5 Punkte für den Tinetti-Test. Die Probanden der Gruppe B waren dabei im Schnitt 1,5 Punkte schlechter als die Kontrollgruppe A (27,8 +/- 0,7 Punkte gegenüber 26,4 +/- 2,0 Punkten). Für die Analyse des POMA-Scores wurde, je nach erzielter Punktzahl, der Proband einer von drei Gruppen zugeordnet (<27 vs. 27 vs. 28 Punkte). Graphisch zeigte sich für beide Aufgaben eine klare Tendenz: je niedriger der POMA-Score, desto anfälliger die posturale Stabilität und damit desto größer der OSI-Wert (Abbildungen 28 und 29). Im Vergleich der Gruppen <25 vs. 27-28 konnte dies sogar nach dem Sechs-Minuten-Geh-Test bis auf den 0-Minuten-Wert und nach dem Treppensteigen bis auf den 10- bzw. 15- Minuten-Wert statistisch signifikant nachgewiesen werden. Für die übrigen Gruppenvergleiche konnte dies jedoch trotz messbarer Differenz nicht wiederholt werden. Wurden während der Aufzeichnungen für den MLSI eher signifikante Unterschiede zu Beginn der Messungen festgestellt, so war dies für beide Aufgabenstellungen gegen Ende der Testreihe nicht mehr der Fall.
Bei der Betrachtung der Gruppen A und B fällt auf, dass im Ruhezustand die Gruppe A mit einem POMA-Score von 28 Punkten signifikant bessere posturale APSI-Werte erzielt. Weitere Auffälligkeiten im Bezug POMA-Score und posturale Kontrolle, auch im Hinblick auf die Veränderung der CDP-Werte direkt nach den Anstrengungen, wurden nicht detektiert.

In der Zusammenschau scheinen tendenziell gute POMA-Scores mit besseren CDP-Werten einherzugehen.

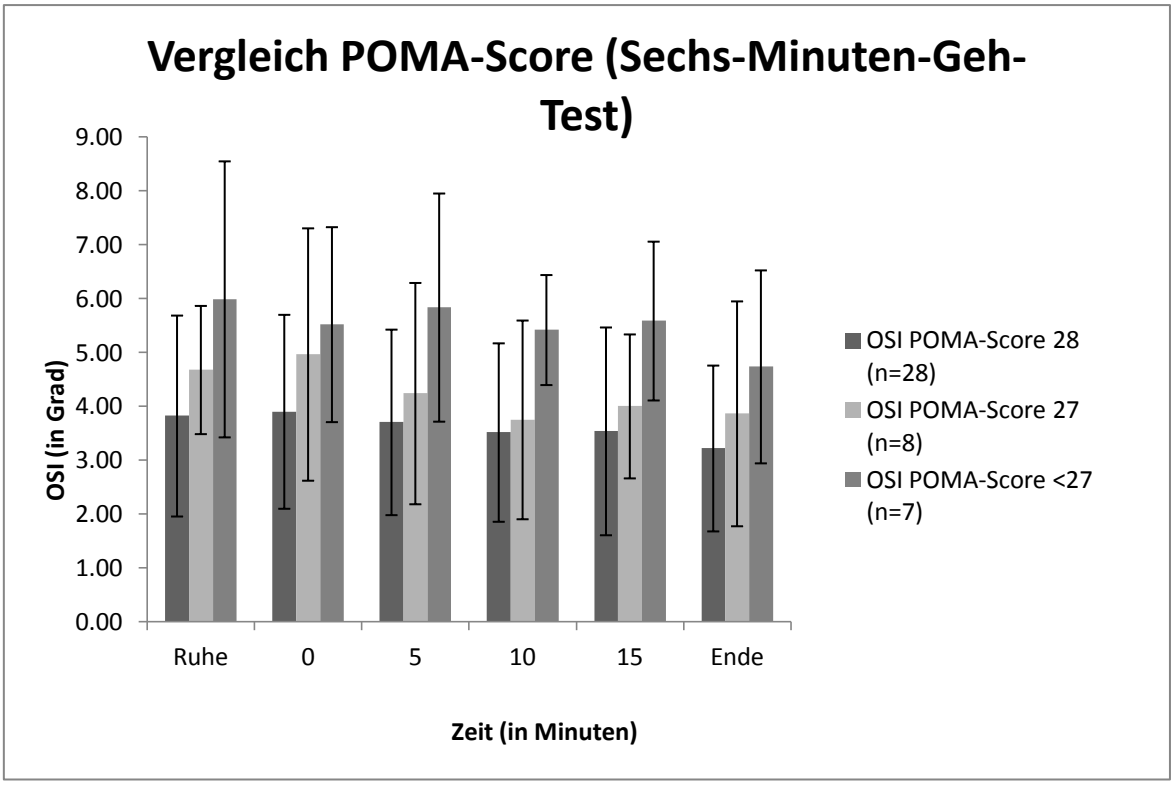

Abbildung 28 – Vergleich der OSI-Werte im Verlauf anhand der Testergebnisse im POMA-Score nach dem 6-MGT (OSI = Overall Stability Index, POMA = performance-orientated-mobility-assessment)

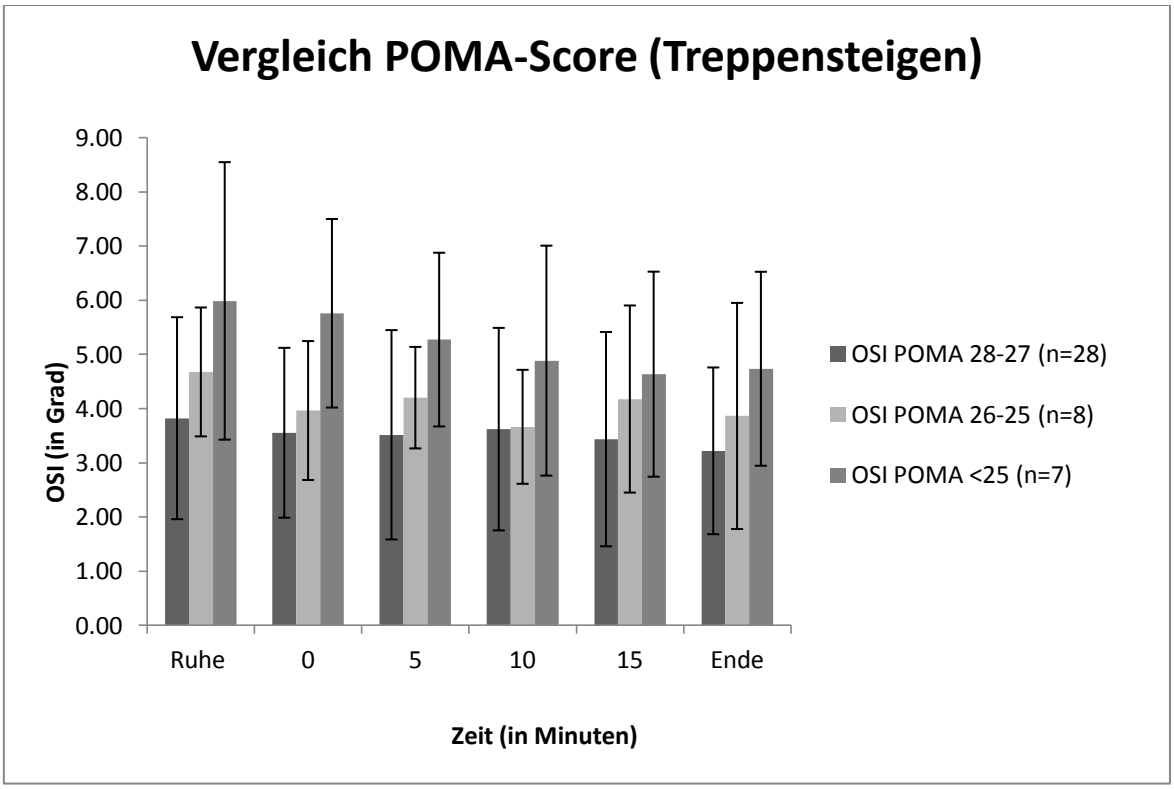

Abbildung 29 - Vergleich der OSI-Werte im Verlauf anhand der Testergebnisse im POMA-Score nach dem Treppensteigen (OSI = Overall Stability Index, POMA = performance-orientated-mobility-assessment)

3.6 Berg-Balance-Test

Vergleich der Gruppen A und B in Bezug auf den Berg-Balance-Test

Im durchschnittlichen Mittel wurde eine Punktzahl von 53,0 +/- 4,0 bei maximal zu erreichenden 56 Punkten erzielt. Gruppe A schnitt hierbei um ca. 4 Punkte im Mittel besser ab als die Gruppe B (54,7 +/- 2,0 zu 50,7 +/- 4,8 Punkten). Es wurden anschließend einige signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen gemessen, allerdings ohne Richtungsweisung im Sinne einer klaren Tendenz. Besonders die Untergruppe der jüngeren Teilnehmer (Gruppe A) mit einer Bergtestpunktzahl von 55 oder 56 Punkten, ist hier hervorzuheben. Hier sind die CDP-Ruhewerte insbesondere im Vergleich zur Gruppe B deutlich besser (Gruppe A mit erreichter Punktzahl 55-56 Punkten: OSI-Ruhewert 3,4°; Gruppe B mit erreichter Punktzahl 55-56 Punkten: OSI-Ruhewert 6,0°; ein Unterschied von 75,6%, p=0,0119). Auch für den APSI gilt diese Aussage, nicht jedoch für den MLSI (Gruppe A mit erreichter Punktzahl 55-56 Punkten: APSI-Ruhewert 2,3°; Gruppe B mit erreichter Punktzahl 55-56 Punkten: APSI-Ruhewert 5,2°; ein Unterschied von 122,9%, p=0,0026).Im weiteren Verlauf beider Tests blieben die CDP-Werte innerhalb der Gruppe B mit 55-56 Punkten stets höher als für die Referenzkohorte der Gruppe A, jedoch bis auf den 5-Minuten-Wert nach dem Treppensteigen ohne statistische Signifikanz.

Der Vergleich der Ruhewerte mit den 0-Minuten-Werten ergibt folgendes Bild: Innerhalb der Gruppe B zeigte sich sowohl für Probanden mit einer erreichten Punktzahl von 55-56, als auch für Probanden mit niedrigerem Ergebnis nach beiden Belastungen ein Abfall der CDP-Werte und damit eine Verbesserung der posturalen Stabilität. Innerhalb der Gruppe A gilt diese Beobachtung ebenso für Probanden mit einem Berg-Balance-Test-Score von 54 Punkten und weniger. Interessanterweise schlossen sich die Probanden der Gruppe A mit einem Ergebnis von 55-56 Punkten im Berg-Balance-Test diesem Trend nicht an, sondern zeigten ansteigende Werte für alle drei gemessenen Stabilitätsindices und nach beiden körperlichen Anstrengungen und somit eine Abnahme der posturalen Stabilität.

Vergleich der CDP-Werte in Abhängigkeit vom Berg-Balance-Test

In einer weiteren Untersuchung kontrollierten wir die CDP-Werte der Probanden unabhängig vom Alter allein im Hinblick auf das Ergebnis im Berg-Balance-Test. Dabei unterteilten wir die Teilnehmer in vier Untergruppen. (<48 vs. 48-50 vs. 51-53 vs. 54-56 Punkte). Sie lieferte allerdings keine signifikanten Ergebnisse, wie allein schon an der Verteilung der OSI-Ruhewerte (Abbildung 30) zu sehen ist.

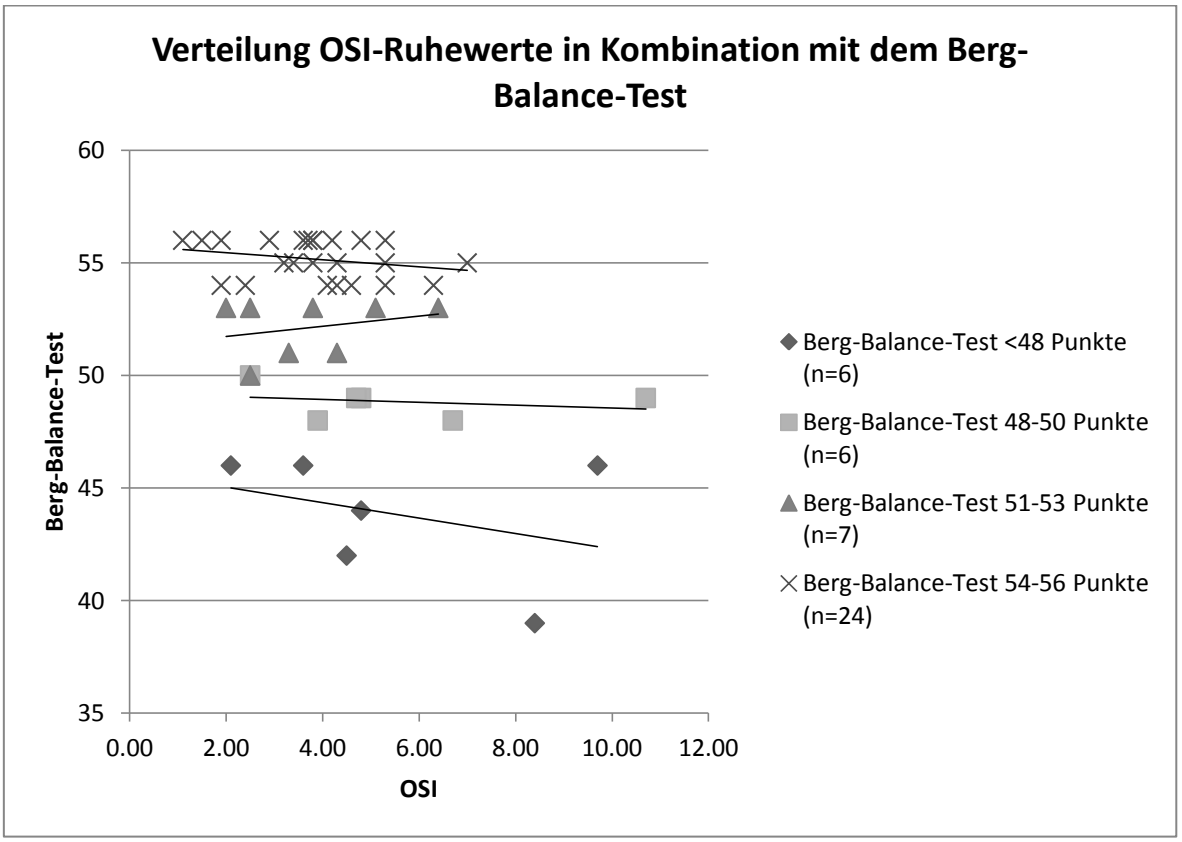

Abbildung 30 – Verteilung der Werte für den OSI in Ruhe in Abhängigkeit vom Ergebnis im Berg-Balance-Test (OSI = Overall Stability Index)

Als Resümee lässt sich sagen, dass schlechtere Ergebnisse im Berg-Balance-Test tendenziell mit schlechteren CDP-Werten einhergehen.

3.7 Chairstand-Test

3.7.1 Vergleich der Gruppen A und B in Bezug auf den Chairstand-Test

Als Resultat wurden durchschnittlich 11,6 +/- 3,3 Wiederholungen bei diesem Test durchgeführt.. Während die Gruppe A es innerhalb der vorgegebenen 30 Sekunden auf 12,7 +/- 2,6 Wiederholungen schaffte, war es für die Teilnehmer der Gruppe B nur möglich 10,1 +/- 3,7 Wiederholungen durchzuführen. In der Analyse nach dem 6-MGT und dem Treppensteigen wurden einzelne statistisch signifikante Ergebnisse gemessen, allerdings ohne erkennbares Muster. Insbesondere ist die jüngere Gruppe A mit einem sehr guten Wert von >12 Wiederholungen in 30 Sekunden hervorzuheben. Sie stand tendenziell stabiler auf der Plattform des Biodex Balance Systems, wenn man die Stabilitätsindices mit denen von Probanden mit weniger als 12 Wiederholungen oder mit denen der Gruppe B vergleicht. Für den Vergleich "Ruhe" <-> "0-Minuten-Wert" waren diese Unterschiede aber nicht ausreichend genug, um signifikant zu sein.

Vergleich der CDP-Werte in Abhängigkeit vom Chairstand-Test

Nach einer weiteren von uns gewählten willkürlichen Einteilung in eine von drei Gruppen (0-10 Wdh.; 11-15 Wdh. und >=16 Wdh.) konnten für beide körperlichen Aufgaben keine signifikanten Werte erzielt werden. Jedoch ist eine graphische Tendenz feststellbar: Zu je mehr Wiederholungen der Proband in der Lage war, desto niedriger sein OSI-Wert (s.a. Abbildungen 31 und 32).

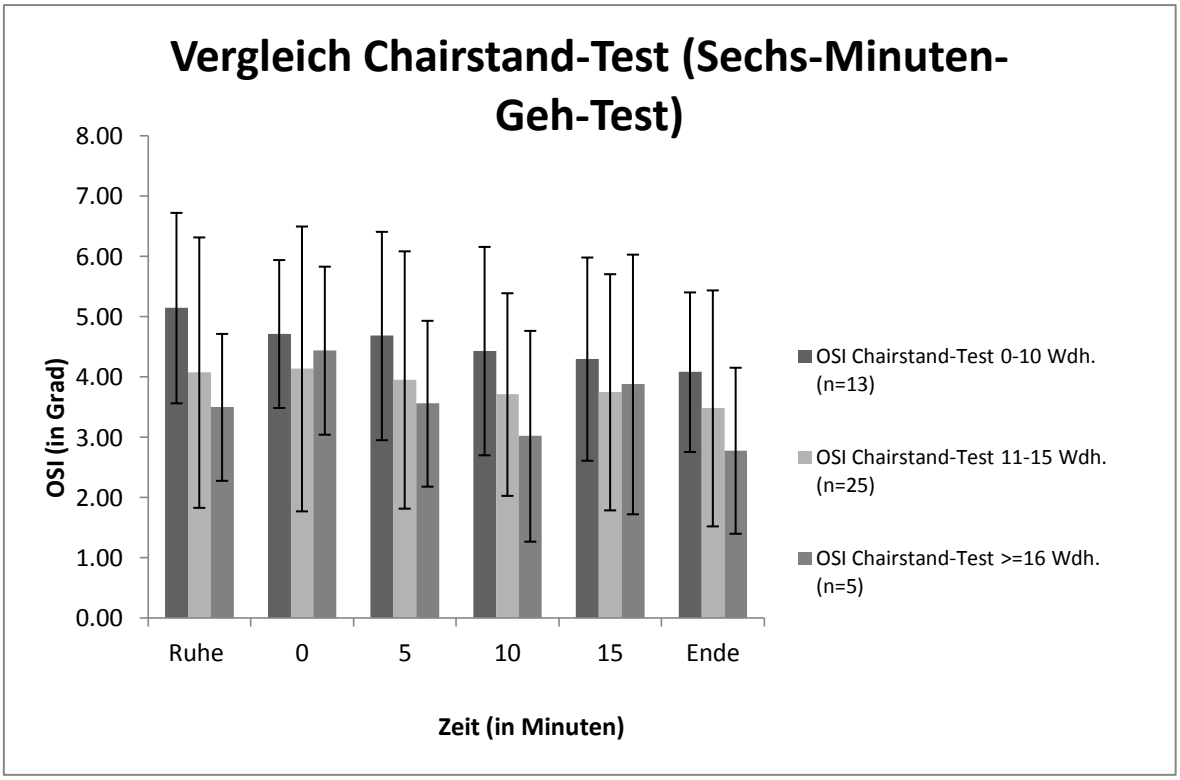

Abbildung 31 - Vergleich der OSI-Werte im Verlauf anhand der Testergebnisse im Chairstand-Test nach dem Sechs-Minuten-Geh-Test (OSI = Overall Stability Index)

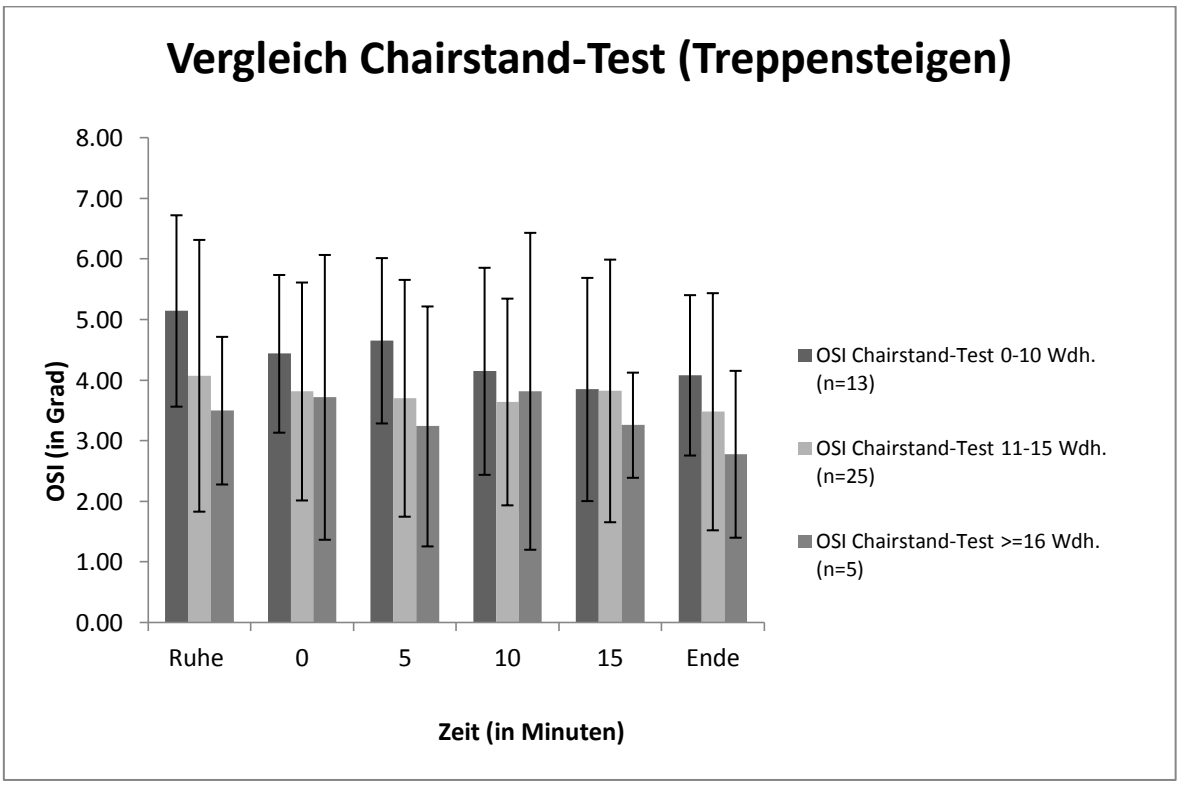

Abbildung 32 - Vergleich der OSI-Werte im Verlauf anhand der Testergebnisse im Chairstand-Test nach dem Treppensteigen (OSI = Overall Stability Index)

Ähnlich den vorherigen Tests, korreliert eine bessere posturale Stabilität zusammenfassend eher mit guten Chairstand-Testergebnissen.

3.8 Timed up and go-Test

8,6 +/- 2,2 Sekunden benötigte ein Proband im Durchschnitt um diese lokomotorische Aufgabe erfolgreich zu bewältigen. Teilnehmer der Gruppe A waren hierbei über 1,5 Sekunden schneller als die der Gruppe B (7,9 +/- 1,5 bzw. 9,4 +/- 2,7 Sekunden). Auch bei diesem Test wurden die Probanden je nach benötigter Zeit nochmals unterteilt. Daraus ergaben sich folgende Untergruppen: (6-7 sec. vs. 8-9 sec. vs. >9 sec.), die nach graphischer Analyse der erzielten CDP-Werte folgenden Trend erkennen lassen: Je schneller der Proband in der Lage war den Timed up and go-Test durchzuführen, desto besser waren anschließend seine Ergebnisse der computerunterstützen dynamischen Posturographie. Demnach waren die Resultate der CDP-Messungen in Untergruppe 1 am niedrigsten, gleichbedeutend mit einer guten posturalen Stabilität, und für Untergruppe 3 am höchsten, übereinstimmend mit einer schlechteren posturalen Kontrolle. Diese Aussage lässt sich für beide durchgeführten Aufgaben reproduzieren. Im Vergleich der Gruppen 1 und 3 konnte beim Gehtest in Ruhe ($p=0,0094$) und beim Treppensteigen in Ruhe ($p=0,0094$) sowie nach 5 Minuten ($p=0,0393$) für den OSI ein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden. Desweitern ist auffällig, dass Personen der Gruppe A mit einem Testergebnis von <8 Sekunden tendenziell statistisch signifikant bessere CDP-Werte als alle anderen Studienteilnehmer erreichen konnten. Ein klares Muster zeichnete sich dabei allerdings nicht ab. Dies lässt sich auch daran erkennen, dass die Veränderung der CDP-Werte direkt nach dem 6-Minuten-Geh-Test bzw. dem Treppensteigen nicht signifikant waren. Bemerkenswerterweise waren alle Werte rückläufig bis auf die bereits oben erwähnte Teilpopulation der Gruppe A mit einem Timed up and go-Testergebnis von weniger als 8 Sekunden: hier stieg der OSI und der APSI an. Beim MLSI war dies nur nach dem Treppensteigen der Fall.

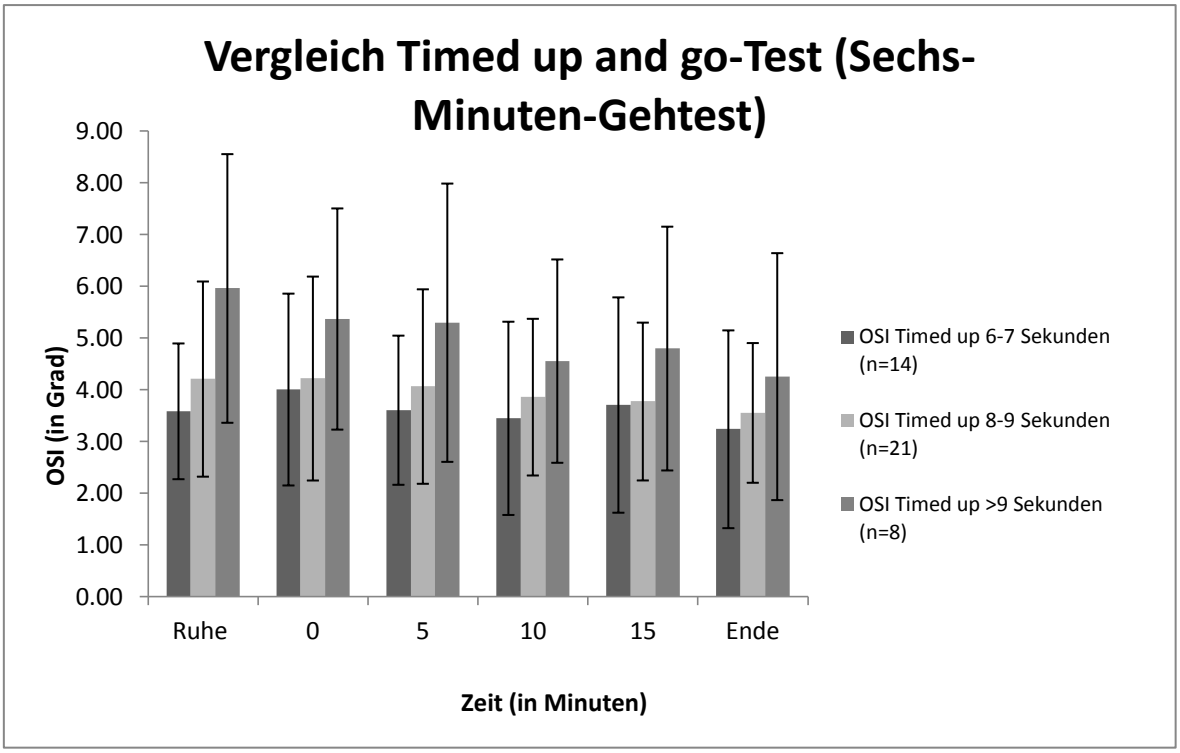

Abbildung 33 - Vergleich der OSI-Werte im Verlauf anhand der Testergebnisse im Timed up and go-Test nach dem Sechs-Minuten-Geh-Test (OSI = Overall Stability Index)

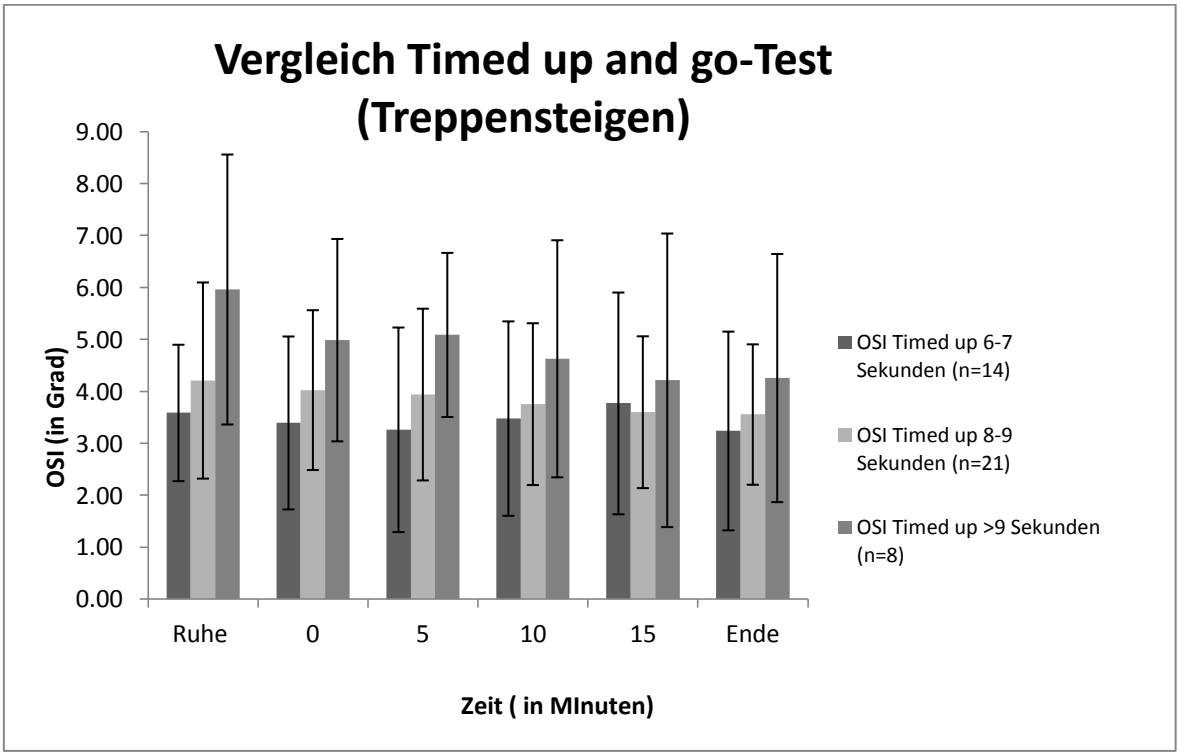

Abbildung 34 - Vergleich der OSI-Werte im Verlauf anhand der Testergebnisse im Timed up and go-Test nach dem Treppensteigen (OSI = Overall Stability Index)

Der Timed-up-and-go-Test zeigt in der Gesamtschau mit unseren Werten den Trend auf, dass gute Testergebnisse bessere CDP-Messungen mit sich bringen.

3.9 Zweipunktdiskrimination

Das durchschnittliche Zweipunktempfinden an den Großzehen betrug 24,8 +/- 21,3 mm. Dieses Empfinden war innerhalb der Gruppe B um ca. 1cm größer als in Gruppe A (30,4 +/- 30,2 mm bzw. 20,5 +/- 5,8 mm). Im Rahmen der Untersuchung der Gruppen A und B hatte die Zweipunktdiskrimination allerdings keinen Einfluss auf die posturale Kontrolle. Dies gilt für die Betrachtung in der Gegenüberstellung der Gruppen A und B als auch innerhalb der beiden Gruppen bei frei gewählter Unterteilung in zwei separate Kohorten (Zweipunktdiskrimination <20mm und >20mm). In Anbetracht der Auswertung Ruhewerte gegenüber 0-Minuten-Werten wurden ebenfalls für keine Gruppen keine signifikanten Werte gemessen..
In der kritischen Auseinandersetzung der CDP-Werte anhand der gemessenen Zweipunktdiskrimination kristallisierte sich aber ein leichter Trend heraus. Probanden mit einem Zweipunktempfinden >30mm hatten die schlechtesten Ergebnisse. Probanden mit der niedrigsten Zweipunktdiskrimination (im Mittel <20mm) konnten jedoch entgegen unserer Erwartungen nicht die besten OSI-Werte erzielen, sondern diejenigen Probanden mit im Mittel durchschnittlicher Zweipunktdiskrimination (zwischen 20-30mm). Im anschließenden Vergleich dieser drei Gruppen wurden nur nach dem Treppensteigen einzelne signifikante Werte ermittelt: für den OSI nach 0, 5 und 10 Minuten (Vergleich mittlere vs. höchste Zweipunktdiskrimination; p=0,0426 bzw. p=0,0206 bzw. p=0,0439), für den APSI nach 10 Minuten (Vergleich mittlere vs. höchste Zweipunktdiskrimination; p=0,0226) und für den MLSI nach 5 Minuten (Vergleich mittlere vs. höchste Zweipunktdiskrimination; p=0,0455).

Einen Hinweis, dass eine schlechte Zweipunktdiskrimination mit schlechteren Ergebnissen bei der Messung mit dem Biodex Balance System einhergeht, konnten wir bei unseren Probanden nicht finden.

3.10 Freizeitaktivität

Diese Kategorie ist die Einzige, in der es keinen Unterschied der erbrachten Leistungen zwischen den Gruppen A und B gibt. Beide Gruppen waren in etwa gleich aktiv betreffend ihrer geleisteten Stundenanzahl pro Woche (Gruppe A: 7,5h; Gruppe B: 7,6h). Die Messungen der direkten Veränderungen der posturalen Kontrolle nach unseren körperlichen Anstrengungen zeigten ebenso keine signifikanten Unterschiede. Während für Teilnehmer der Gruppe A mit einer Freizeitaktivität von <4h/Woche und Teilnehmer der Gruppe B mit >4h/Woche die erhaltenen Werte anstiegen, gingen sie für Probanden der Gruppe A mit einer durchschnittlichen Aktivität von >4h/Woche sowie der Gruppe B mit weniger als 4h/Woche nach unten. Bei zuletzt genannter Subgruppe war der Abfall für den APSI nach dem Treppensteigen mit p=0,0310 sogar signifikant auffällig.
In der Betrachtung der pro Woche für Freizeitaktivitäten aufgebrachten Zeit ist augenfällig, dass sowohl beim 6-Minuten-Gehtest als auch beim Treppensteigen die Probanden mittlerer Freizeitaktivität (= 5-10h/Woche), insgesamt die höchsten Werte für den OSI und damit die schlechteste posturale Stabilität zeigten.
In der Gegenüberstellung der Gruppe mit durchschnittlich 0-5h/Woche mit den Probanden, die 5-10h/Woche aktiv sind, konnte dies nach beiden Aufgaben für den OSI-Endwert sogar signifikant nachgewiesen werden (p=0,0011). Beim Treppensteigen konnten sogar zusätzliche signifikante Werte gemessen werden, nach 10 und 15 Minuten (p=0,0355 bzw. p=0,0341). Ähnliche Signifikanz bestand beim OSI-Endwert im Vergleich der Gruppe mit 5-10h/Woche und denen, die sich mehr 10h/Woche aktiv betätigten (p=0,0382). In diesem Gruppenvergleich fiel ein weiterer signifikanter Wert auf, nämlich nach 15 Minuten (p=0,0145).

Wir konnten zusammenfassend keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen A und B im Hinblick auf ihre CDP-Werte und ihre regelmäßige Freizeitaktivität nachweisen (s.a. Abbildungen 35 und 36).

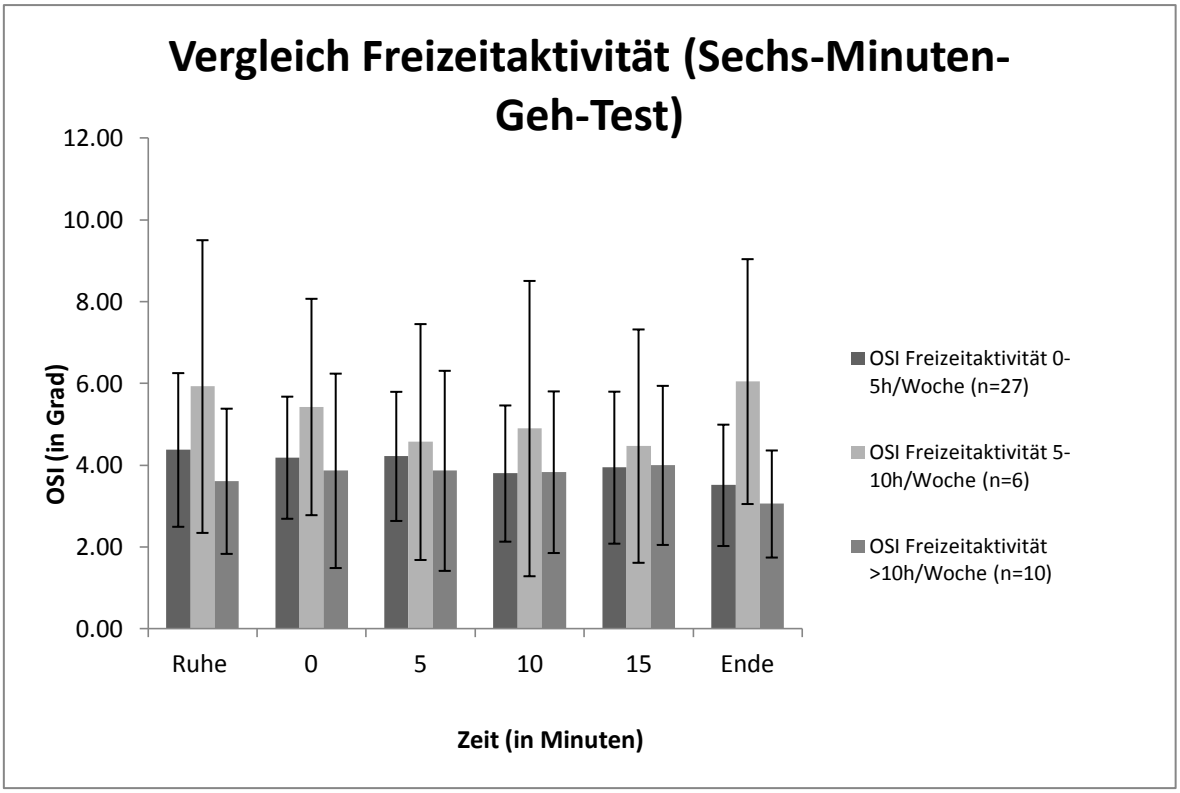

Abbildung 35 - Vergleich der OSI-Werte im Verlauf anhand der Freizeitaktivität nach dem Sechs-Minuten-Geh-Test (OSI = Overall Stability Index)

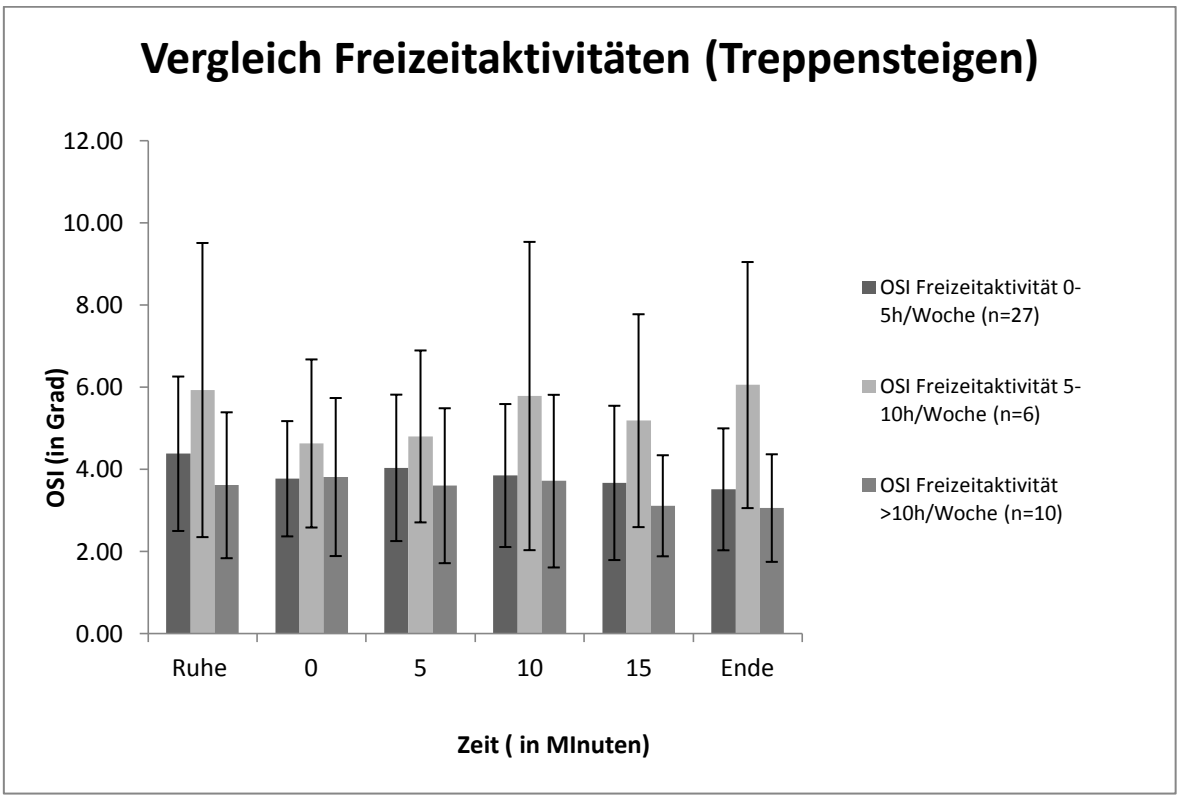

Abbildung 36 - Vergleich der OSI-Werte im Verlauf anhand der Freizeitaktivität nach dem Treppensteigen (OSI = Overall Stability Index)

3.11 Geschlecht

Während beim Sechs-Minuten-Geh-Test bei beiden Geschlechtern zu jedem Zeitpunkt fast identische Werte für die posturale Kontrolle gemessen wurden, zeigte sich beim Treppensteigen ein Unterschied für den OSI: Hier waren die Werte für die Frauen bis auf den Ruheendwert immer leicht erhöht gegenüber den OSI-Werten der Männer, ohne jedoch statistisch signifikant zu sein (s.a. Abbildungen 38 und 39).

Für die Gruppen A und B ergaben sich ebenfalls keine Unterschiede. Während Männer der Gruppe B tendenziell höhere OSI-Werte zeigten als Männer der Gruppe A, war dieser Unterschied rechnerisch nicht aussagekräftig genug. Für das weibliche Geschlecht ist diese Aussage ebenso zutreffend. Auch der Vergleich zwischen Ruhe- und 0-Minuten-Wert liefert zum Teil gegensätzliche Aussagen: Männer und Frauen der Gruppe A hatten gleichbleibende bzw. ansteigende, Probanden der Gruppe B dahingegen abfallende OSI-Werte. Für den ASPI und MLSI sind diese Bemerkungen nicht gleichbleibend zutreffend.

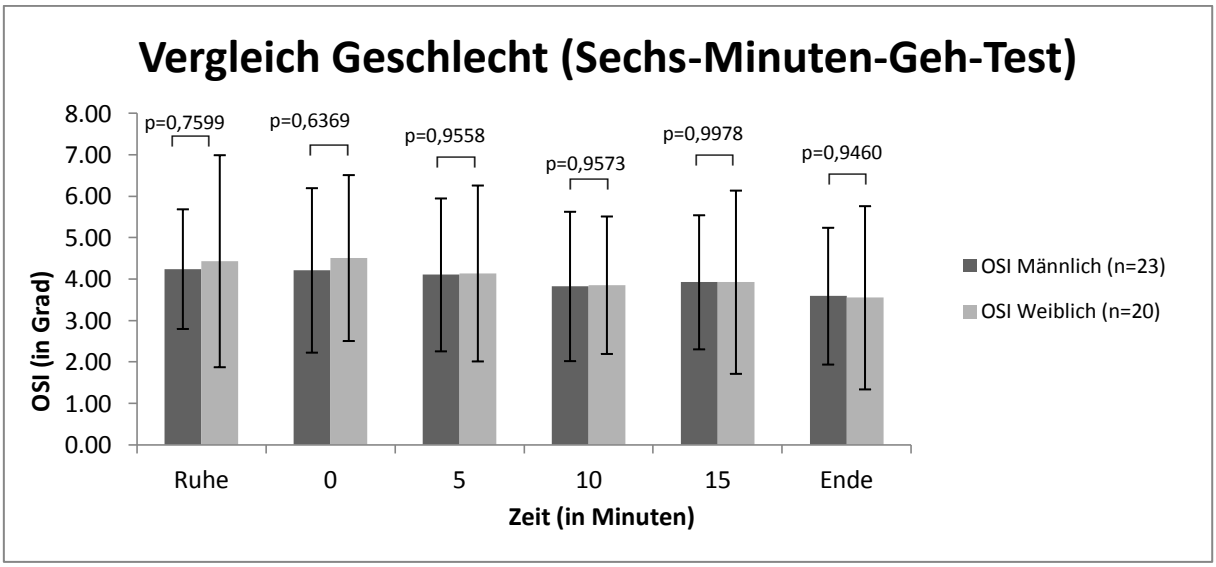

Abbildung 37 - Vergleich der OSI-Werte im Verlauf bezüglich des Geschlechts nach dem Sechs-Minuten-Geh-Test (OSI = Overall Stability Index)

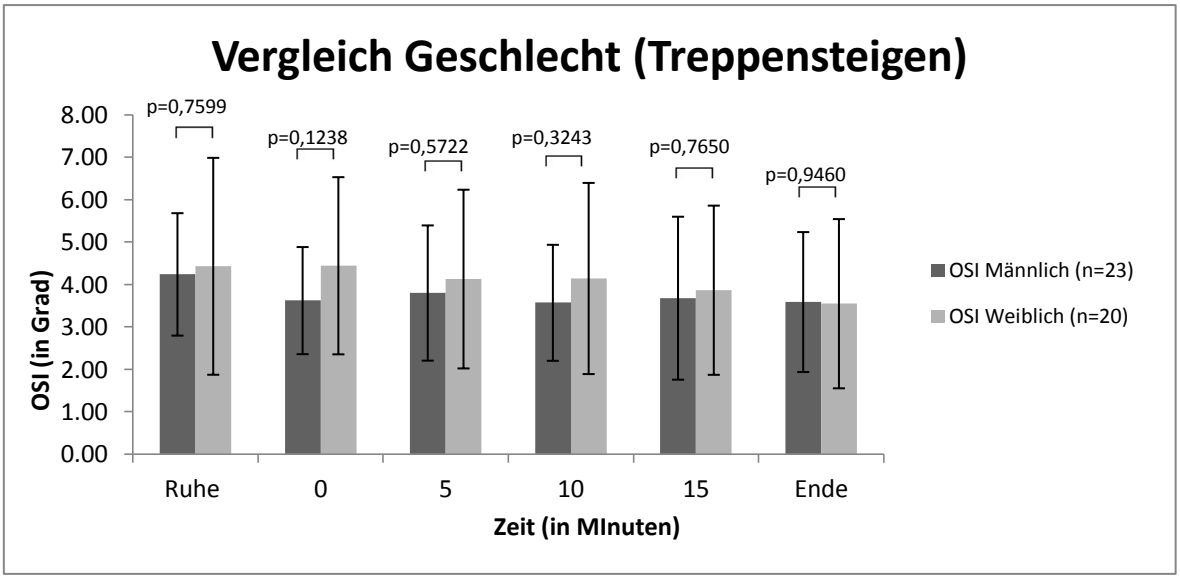

Abbildung 38 - Vergleich der OSI-Werte im Verlauf bezüglich des Geschlechts nach dem Treppensteigen (OSI = Overall Stability Index)

Das Geschlecht hat nach unseren Ergebnissen keinen Einfluss auf die posturale Stabilitätsindices.

3.12 Sturzanamnese

Von allen teilnehmenden Probanden berichteten insgesamt 11 über einen Sturz in den letzten 12 Monaten. Nur zwei Teilnehmer waren öfters als einmal gestürzt (ein Proband zweimal, ein weiterer Proband insgesamt sechsmal). Es zeigt sich, dass bei gestürzten Probanden die CDP-Werte fast durchgehend besser sind als für Probanden, die nicht gestürzt waren. Dies gilt für beide Anstrengungen gleichermaßen, wobei die Unterschiede beim Sechs-Minuten-Geh-Test noch etwas größer waren als nach dem Treppensteigen. Statistische Signifikanzen wurden jedoch zwischen Gestürzten und Nicht-Gestürzten nicht festgestellt. Betrachtet man alleinig die OSI-Werte der Gruppen A und B unter dem Gesichtspunkt der Sturzanamnese, so fällt auf, dass gestürzte Personen innerhalb der Gruppe B beim 10-Minuten-Messwert nach beiden Belastungen signifikant schlechter waren als nicht gestürzte Personen (6-MWT: p=0,0274, Treppe: p=0,0110); beim 6-MWT zusätzlich auch noch nach 15 Minuten (p=0,0370). Für den APSI sind ähnliche Resultate erzielt worden, nicht jedoch für den MLSI.

Für alle Probanden betrachtet, haben gestürzte Probanden bessere CDP-Werte, allerdings haben Probanden, die älter als 65 Jahre sind und eine positive Sturzanamnese haben nach unseren Ergebnissen tendenziell schlechtere Werte als die Probanden der Vergleichsgruppe A.

4.Diskussion

4.1 Allgemein

Ziel dieser Studie war es herauszufinden, ob eine kurze körperliche Belastung bei Personen ab dem 50. Lebensjahr im Rahmen zweier alltäglicher Aufgabenstellungen als sturzursächlich in Betracht zu ziehen ist. Zudem galt der Focus auf verschiedenen Tests, die als geeignet beschrieben werden, sturzanfälligere Personen im Vorfeld zu detektieren. Wir wollten in dieser Studie überprüfen, ob dies für unser Probandenkollektiv ebenfalls zutreffend ist.

Wir konnten im Rahmen dieser Studie zeigen, dass es keinen kausalen Zusammenhang zwischen Personen, die das 50. Lebensjahr bereits erreicht haben, und einer alltäglichen körperlichen Beanspruchung in Bezug auf die posturale Kontrolle/Stabilität gibt. Vorrübergehende physische Beanspruchung können wir nicht als Sturzursache für diesen Personenkreis ansehen. Weiter haben wir einige Tendenzen und Bestätigungen für einzelne Vorabtestungen aufzeigen können, die als Hilfestellung zur Bewertung der Sturzgefahr herangezogen werden können.

Die Ursachenforschung für Stürze ist ein breitgefächertes Gebiet und seit langem Bestandteil biomechanischer, unfallchirurgischer und geriatrischer Forschung. Bisher war aufgrund von vielen Studien beschrieben, dass die Wahrscheinlichkeit für einen Sturz im Laufe des Erwachsenenlebens aufgrund nachlassender posturaler Stabilität ansteigt [67, 85]. Auch Aydog et al. kamen zu dem Schluss, dass das Alter einer der wichtigen Einflussfaktoren zur Aufrechterhaltung der posturalen Balance darstellt [6]. Dies hat viele verschiedene Ursachen: Zum einen nimmt die körperliche Belastungsfähigkeit im Alter ab, was dem Nachlassen bzw. Verschwinden grundlegender Körperfunktionen geschuldet ist. So ist z.B. der Visus, als einer der Haupteinflussfaktoren für die Aufrechterhaltung des Gleichgewichtvermögens, einer ständigen Veränderung unterworfen, was sich im Alter z.B. in einer Verringerung der Linsenspannkraft zeigt und mit dem grauen Star (Katarakt) einhergeht. Weiterhin ist die Presbyopie ein häufiges Phänomen. Insgesamt betrachtet liegt die Prävalenz für Erkrankungen des Auges bei Personen über 60 Jahren bei über 80% [108].

Auch die anderen wichtigsten Faktoren für die posturale Stabilität, der Gleichgewichtssinn im Innenohr sowie die Mechano- und Propriozeption, werden mit zunehmendem Alter schlechter. Maud et al. beschrieben die Altersschwäche, Gleichgewichtsstörungen und Einschränkungen der Beweglichkeit als die Hauptursachen für einen Sturz. Dazu kommen noch die visuelle und kognitive Verschlechterung sowie die Orthostase [61]. Zusätzlich wird der Mensch aufgrund seines Lebensstils, insbesondere in den westlichen Industrieländern, anfälliger für internistische oder neurologische Grunderkrankungen, die eine verstärkte Einnahme und Abhängigkeit von Medikamenten nach sich zieht. Allein die Neben- und Wechselwirkungen verschiedener Medikamente steht im Zusammenhang mit verringerter Balancefähigkeit und reduziertem Gleichgewichtsvermögen und somit einer höhten Anfälligkeit für Stürze. Als Beispiel dient hier die Kombination von Blutdruckmedikamenten und Psychopharmaka sowie Beruhigungsmittel und Antiarrhythmika. Diese Problematik war bereits vor fast 20 Jahren bekannt und ist immer noch Inhalt vieler wissenschaftlicher Untersuchungen [55]. Insbesondere die systemische Antibiotikagabe aber auch die Einnahme psychotroper Medikamente sowie kurzwirksame Benzodiazepine werden mit Stürzen assoziiert [22, 105].

Summieren sich diese möglichen Einflussfaktoren, so steigt auch das Sturzrisiko auf bis zu 78% für Personen mit vier oder mehr Risikofaktoren [110]. Das Screening älterer Patienten auf ein erhöhtes Sturzrisiko bekommt dadurch einen besonderen Stellenwert. Patienten mit Sturzanamnese oder bekannten Balanceproblemen haben laut einer amerikanischen Studie aus dem Jahr 2007 ein erhöhtes Risiko für weitere Stürze [30] und bestätigen somit Erkenntnisse aus dem Jahr 2005 [107].

In einigen Studien konnte zudem nachgewiesen werden, dass sich körperliche Anstrengung und Belastung negativ auf die posturale Kontrolle auswirken können. Dies wird daher ebenfalls als mögliche Sturzursache in Erwägung gezogen. Die Gründe hierfür könnten z.B. in einer Adaption des ZNS auf die anhaltende Stimulation der propriozeptiven, vestibularen und visuellen Systems sein [49]. Diese Adaption hält wohl auch nach der körperlichen Aufgabe an, so dass die von uns erhaltenen Ergebnisse, dass zwar nicht direkt nach der Aufgabe schlechtere CDP-Werte auffielen aber oftmals im Verlauf der Erholungsphase (10- und 15-Minuten-Werte), somit erklärbar wären.

Bisher wurden diese Unterschiede der posturalen Stabilität nach einer körperlich anstrengenden Aufgabe nur für die Voll- bzw. Ausbelastung aufgezeigt (Strobel, 2010). Weiterhin unklar ist jedoch die Frage, ob und wenn ja in wieweit eine kurze alltägliche körperliche Belastung ebenfalls diese negativen Effekte aufweisen kann und ob diese Belastung in Kombination mit den Veränderungen des Alters ausreichend sein kann um für einen Sturz in Betracht gezogen werden zu können. Dieser Fragestellung genauer zu analysieren hat sich diese Studie zur Aufgabe gestellt. Zusätzlich wollten wir überprüfen, ob es weiterführend Unterschiede zwischen verschiedenen Altersgruppen gibt, und ob die gängigsten Sturz- und Gleichgewichtscores für eine Detektion anfälliger Personen nützlich sein können.

Im Rahmen unseres Versuchsablaufes konnten wir aufzeigen, dass es keinen Zusammenhang zwischen einer geringen körperlichen Beanspruchung und den dadurch erzielten Auswirkungen auf die posturale Stabilität gibt. Diese Aussage spiegelt somit nicht die Ergebnisse einer polnischen Studie aus dem Jahr 2012 wieder, in der aufgezeigt werden konnte, dass bei Männern im Alter zwischen 65-74 Jahren signifikante Veränderungen der posturalen Kontrolle nach einer moderaten körperlichen Aufgabe auf dem Ergometer der posturalen Kontrolle nachweisbar sind [102]. Damals wurden jedoch keine Messungen unter Zuhilfenahme der computerunterstützten dynamischen Posturographie durchgeführt, sondern die Ergebnisse kamen durch Überprüfung des Körperschwerpunktes (Center-of-Pressure, CoP) zu Stande, so dass sich der Widerspruch zwischen der damaligen Aussage und unseren Werten ggf. relativiert. Der Unterschied liegt darin begründet, dass beim CoP das Druckzentrum der Bewegung detektiert wird, während die Messungen mittels Biodex Balance System Aussagen zur Bewegungsauslenkung zulässt. Weiterhin ist bisher bekannt, dass längeres Stehen über mindestens 30 Minuten ebenfalls die posturale Kontrolle negativ beeinflussen kann [29]. Diese Aufgabenstellung des längeren Stehens, die in dieser brasilianischen Studie verwendet wurde, ist für einige Menschen durchaus körperlich anstrengend, ist aber im Vergleich zu unseren Aufgaben differenziert zu betrachten, da wir die Probanden nur über einen kurzen Zeitraum mit anderen Tests beanspruchten. Ob durch eine längere Inanspruchnahme ähnliche Resultate wie 2004 von Freitas et al. erzielt worden wären, bleibt somit weiter unklar.

4.2 Vergleich Gruppe A gegenüber Gruppe B

In der kritischen Betrachtung der Resultate der beiden Gruppen A und B stießen wir auf folgende Punkte: Direkt nach dem Sechs-Minuten-Geh-Test wurden für die Probanden der Gruppe A (Alter 50-64 Jahre) ein Anstieg der OSI-Werte und damit eine Abnahme der posturalen Stabilität festgestellt. Ein Abfall der posturalen Kontrolle direkt nach einer Übung ist bekannt, da die Muskeln ermüdet und geschwächt sind (Moore, et al., 2005). Auch wenn der Anstieg von 3,9° (+/- 2,0°) auf 4,2° (+/- 2,2°) eine Veränderung von ca. 7,7% bedeutet, war dies nicht ausreichend um statistisch signifikant zu sein. Für die Gruppe B (älter als 64 Jahre) kam es sogar zu einem Abfall des OSI-Wertes (4,9° → 4,5°, eine Veränderung um ca. 8,2%). Nichtsdestotrotz zeigte sich, dass (bis auf eine Ausnahme beim MLSI) alle gemessenen CDP-Werte zu jedem Messzeitpunkt für die Gruppe B höher waren als in Gruppe A. Somit decken sich diese Erkenntnisse mit denen der Gruppe um Murray, der bereits im Jahr 1975 gezeigt hatte, dass mit zunehmendem Alter die posturale Stabilität abnimmt [67]. Für das Treppensteigen zeigte sich ein fast identisches Bild, auch hier waren die CDP-Werte der Gruppe B tendenziell höher. Es ist zu überlegen, ob allein diese Tendenz schon klinisch relevant sein könnte, da auch bei Nichtsignifikanz kleine Verschlechterungen der posturalen Kontrolle bei älteren Personen den Ausschlag geben können das Gleichgewicht zu verlieren und zu stürzen, insbesondere wenn weitere benachteiligende Faktoren wie bestimmte Medikamente oder Vorerkrankungen bestehen. Im Hinblick auf die Veränderung der CDP-Werte direkt nach der Belastung im Vergleich zum Ausgangswert zeigt sich für die Gruppe A eine Verschlechterung der Stabilitätsindices, für die Gruppe B eher eine Verbesserung. In der Pilotstudie um Strobel et al. war jedoch der Trend aufgezeigt worden, dass mit zunehmendem Alter die Fähigkeit zur Erhaltung des Gleichgewichtsvermögens im Stand und Gang nachlässt [104]. Somit wäre für die Gruppe B, analog der Gruppe A, ein (ggf. stärkerer) Anstieg der Stabilitätsindices zu erwarten gewesen. Nichtsdestotrotz konnten wir den ähnlichen Trend aufzeigen, dass mit zunehmendem Alter die posturale Kontrolle nachlassen könnte, da die gemessenen posturalen Stabilitätsindices für die Gruppe A im Gegensatz zur Gruppe B stets niedriger waren. Ursächlich für die von uns erzielten Werte kann

sein, dass die Probanden, im Gegensatz zur Pilotstudie von Strobel et al., nicht ausreichend belastet waren, auch wenn die Anstiege der Pulsfrequenzen nach beiden Aufgabenstellungen um jeweils ca. 20% als Indikator für eine körperliche Belastung angesehen werden können. Auch die erreichten Werte von unter 60% der maximalen Herzfrequenz für diese Altersgruppe spricht für eine eher moderate Belastungssituation. Die fehlende Ausbelastung war jedoch bewusst so gewählt worden, da die Überprüfung einer alltäglichen kurzen Beanspruchung Ziel dieser Studie war.

Die korrekte Durchführung des Sechs-Minuten-Geh-Tests scheint jedoch von uns erfolgt zu sein, da die erzielten Wegstrecken für Männer bei 567,4 +/- 91,7 m und für Frauen bei 528,9 +/-141,1 m in etwa dem alterstypischen Durchschnitt entsprechen und mit anderen Studien vergleichbar sind [95, 112]. Weiterhin ist in Betracht zu ziehen, dass der von Pincivero et al. angesprochene Trainingseffekt in der Arbeit mit dem Biodex Balance System doch größeren Einfluss haben könnte, als im Vorfeld vermutet wurde [81]. Wir folgten dem damals vorgeschlagenen Prozedere einer mehrfachen Testung vor den eigentlichen Messungen um die Probanden mit der Arbeitsweise des BBS vertraut zu machen. In der Nachschau wäre eine jedoch längere Gewöhnungsphase zu disktutieren. Da wir in unseren Messreihen mehrmals das Ergebnis hatten, dass die direkten CDP- Werte nach dem 6-MGT und dem Treppensteigen besser waren als z.B. in Ruhe, und somit eine bessere posturale Stabilität wiederspiegeln, muss man sich überlegen, ob eine mögliche neurophysiologische Bahnung für dieses Phänomen als Ursache in Betracht zu ziehen ist. Hier wäre in weiteren Untersuchungen zu überprüfen, ob die posturale Kontrolle wieder abnimmt, wenn der Proband weiter belastet wird.

Welchen Einfluss die jeweilige Knieposition des Probanden während der Messung auf das Messergebnis hatte ist nicht ganz klar, da die Anweisung für die Probanden galt mit beiden Beinen auf der Plattform zu stehen, aber nicht explizit auf die Knieposition eingegangen wurde. Es besteht jedoch die Möglichkeit, dass es hierbei zu leichten Verfälschungen gekommen sein könnte, da bei einer leichten Kniebeugung die Ergebnisse mit dem Biodex Balance System, insbesondere für den OSI und APSI, tendenziell etwas besser sind als bei kompletter Extension im Kniegelenk [75]. Als weiteren Punkt in der Analyse unserer Ergebnisse muss betrachtet werden, ob das Biodex Balance System eine ausreichend gute Reliabilität besitzt. Obwohl für den OSI gute Reliabilitätswerte

von bis zu 82% beschrieben sind, ist die Spannweite für die Intratesterreliabilität von 43-82% sehr weit gefasst [88].

4.3 Body Mass Index (BMI)

Für diesen Teilaspekt des Körpergewichts unserer Studie können wir die bisher bestehenden Thesen bejahen. Auch wenn wir nicht durchgehend statistische Signifikanzen nachweisen konnten, so konnten wir dennoch Tendenzen aufzeigen, dass Personen mit normalem BMI gegenüber Personen, die die Kriterien der Adipositas (BMI > 30 kg/m²) erfüllen, eine deutlich bessere posturale Stabilität aufweisen. Zusätzlich zeigen unsere Werte, dass mit zunehmendem BMI auch die CDP-Werte ansteigen und somit die posturale Stabilität sinkt. Diese positive Korrelation zwischen dem Body Mass Index (BMI) und der posturalen Stabilität ist bereits bekannt [6, 46, 85, 106]. Auch damals wurde dem BMI, neben dem Alter, einen Hauptanteil an der posturalen Balance zugesprochen. Weiterhin konnten wir durch unsere Resultate die Möglichkeit aufzeigen, dass mit zunehmendem Alter die Benachteiligung durch einen erhöhten BMI für die Erhaltung der Balance abnimmt. Dieser mögliche Aspekt konnte von uns für den Ruhezustand festgestellt werden, da hier der Median der OSI-Werte für Probanden $\geq$ 65 Jahren mit und ohne Übergewicht auf fast identischem Niveau lag. Interessanterweise folgen die Ergebnisse der direkten Messungen nach den beiden Aufgaben dem von uns durchweg beobachteten Trend, dass es teilweise sogar zu einer Verbesserung der Balance kommt. Dies wird am ehesten mit der bereits angesprochenen fehlenden Gewöhnung an das BBS erklärt, die sich wohl erst während der Testreihe eingestellt hat.

4.4 Balanceselbsteinschätzung

Auffälliges Merkmal unserer Befragung ist die Tatsache, dass mit zunehmendem Alter das Vertrauen in die eigene Balance (wenn auch nur gering) abnimmt, wie der Unterschied von 5% zwischen den Gruppen A und B beweist. Das subjektive Empfinden bezüglich der Balancefähigkeit steht nach unseren Erkenntnissen wohl nicht im Zusammenhang mit messbaren Parametern. Sowohl Probanden mit guter

Selbsteinschätzung als auch Probanden mit schlechter Eigenbeurteilung zeigen gute CDP-Werte nach dem Laufen bzw. Treppensteigen und umgekehrt. Als Gründe würden wir die Fehlinterpretation der eigenen Leistungsfähigkeit in Betracht ziehen. Viele Menschen überschätzen ihre körperliche Leistung, während andere sie unterschätzen. Dies kann Charakterbedingt sein, andererseits aber auch daran liegen, dass sich die Probanden im Rahmen der Studie besser präsentieren wollten, als es ihre körperliche Leistung zulässt. Einzig für den MLSI gab es innerhalb der Gruppe B einzelne signifikante Unterschiede. Dies würde die Aussagen mehrerer Studien belegen, in denen Auffälligkeiten in der medio-lateren Achse bezüglich der posturalen Kontrolle angegeben wurden [58, 62, 63]. Probanden im Alter zwischen 50-64 Jahren (=Gruppe A) zeigten den erwarteten Anstieg der CDP-Werte nach beiden Belastungen. Für Teilnehmer mit höherem Lebensalter und geringerem Vertrauen in die eigene Balance sind die Werte hingegen abfallend. Bisher ist uns auch keine Studie bekannt, die sich mit dieser Fragestellung näher auseinander gesetzt hat. Somit ist zur Zeit nicht zu klären, inwieweit unsere Ergebnisse einzuordnen sind. Als Schlussfolgerung bleibt daher nur die Erkenntnis, dass sich das eigene Gefühl täuschen kann. Dies ist wohl auch altersunabhängig der Fall.

4.5 Barthel-Index

Eindeutige statistische Aussagen können wir anhand der gewonnen Daten nicht treffen. Es zeigt sich allerdings der Trend, dass sich mit zunehmendem Barthel-Index die posturale Stabilität ebenfalls bessert [83]. Dies zeigen unsere ebenfalls Ergebnisse auf, da die gebildeten Untergruppe 1 (Probanden mit einem Barthel-Index von 100 Punkten) tendenziell niedrigere CDP-Werte hatten als die Untergruppe 2 (Probanden mit einem Barthel-Index zwischen 90-95 Punkten). Auch die Tatsache, dass die Untergruppe 2 nach dem Sechs-Minuten-Geh-Test direkt nach dem Laufen ansteigende OSI-Werte hatte, bestätigt diese Tendenz. Allerdings hatten wir in unserem Studienablauf aufgrund der Ausschlusskriterien nur Teilnehmer, die mindestens einen Barthel-Index von 90 Punkten erreichten. Somit war uns eine weitere Analyse mit Probanden, die schlechtere Punktzahlen im Barthel-Index erzielen würden, nicht möglich, so dass diese Eingrenzung der

Studienteilnehmer womöglich ursächlich für die fehlende Wechselseitigkeit zwischen Barthel-Index und posturaler Stabilität ist. Bezogen auf das Alter zeigte sich, dass mit zunehmenden Lebensjahren der Barthel-Index abnimmt. Obwohl der Unterschied zwischen den Gruppen A und B bei uns nur 1,6 Punkte betrug, war dies rein rechnerisch jedoch signifikant (p=0,0162). In wie weit der Barthel-Index mit zunehmendem Alter abnimmt scheint bisher in der Literatur nicht beschrieben zu sein.

4.6 Tinetti-Test (POMA-Score)

Die Auswertung der CDP-Ergebnisse in Bezug auf den POMA-Score zeigt, dass mit besserem Testergebnis die CDP-Werte sinken, auch wenn dies nicht für alle Messpunkte statistisch signifikant ist. In Anbetracht der Fragestellung Alter und Gleichgewicht können wir keinen richtungsweisenden Befund erheben. Obwohl dieser Test der wohl am meist gebräuchlichste Test ist, um klinisch Gleichgewichtsstörungen festzustellen, könnte die fehlende Korrelation an der Ungenauigkeit liegen, da einige Punkte dieses Testes von manchen Autoren als schwierig zu bewerten angesehen werden, so dass möglicherweise falsche Ergebnisse die Folge sind [120]. Jedoch konnten wir aufzeigen, dass mit jüngeren Teilnehmer im Gegensatz zu Älteren im Durchschnitt signifikant höhere Scorewerte erreicht werden (p=0,0028), auch wenn der direkte Unterschied nur 1,4 Punkte betrug. Weiterhin wurden auch hier von unseren Teilnehmern fast ausschließlich gute bis sehr gute Punktzahlen im POMA-Score zu Stande gebracht. Aus diesem Grund bleibt die Frage, ob sich mit abnehmendem Testergebnis auch das Gleichgewichtsvermögen verschlechtern kann. Die einzelnen signifikanten Messungen für den MLSI interpretieren wir, analog den MLSI-Ergebnissen der anderen Tests, als Hinweis wie wichtig der MLSI für die posturale Kontrolle sein kann [58, 62, 63], da Abweichungen in seitliche bzw. laterale Richtungen bei älteren Personen, die bereits gestürzt sind häufiger auftreten als bei Personen ohne Sturzerlebnis [62, 63] und zusätzlich als wichtiger Parameter für zukünftige Stürze angesehen werden [58].

4.7 Berg-Balance-Test

Im Mittel vier Punkte weniger wurden von Probanden der Gruppe B erzielt. Dies zeigt, auch mathematisch, einen deutlichen Unterschied der verschiedenen Altersgruppen (p=0,0006). Allerdings setzte sich dieser Trend nicht für die CDP-Ergebnisse fort. Der Unterschied im Berg-Balance-Test führt nicht eindeutig zu einem ähnlichen Unterschied der posturalen Stabilität. Jedoch wiesen unsere Probanden mit sehr gutem Testergebnis (55-56 Punkte) eine im Vergleich zu Probanden mit schlechterem Testergebnis deutlich bessere Balance auf. Auffälligerweise waren gerade diese Teilnehmer mit sehr gutem Testergebnis der Gruppe A im Gegensatz zu allen andern Untergruppe die Einzigen, die direkt nach beiden Belastungen ansteigende CDP-Werte erzielten. Auch der Berg-Balance-Test wird im geriatrischen Setting gerne genutzt um negative Auswirkungen von Balancestörungen bei älteren Patienten herauszufinden. Obwohl er recht einfach in der Anwendung ist, offenbart er Schwächen, denn oftmals werden Ergebnisse zwischen zwei Werten erzielt und so entsteht eine gewisse Ungenauigkeit [120]. Die fehlende Korrelation zwischen unseren Ergebnissen der CDP-Messungen und den Werten des Berg-Balance-Tests kann durch den in der Literatur beschriebenen Cutoff-Wert zusammenhängen. Mehrere Autoren kamen zu der Feststellung, dass erst ab einer erreichten Punktzahl von 45 oder weniger die Sturzanfälligkeit ausreichend präzise vorhergesagt werden kann [12, 123]. Dieser niedrige Schwellenwert wurde allerdings nur von drei Testprobanden unterschritten, so dass unsere CDP-Werte im Großteil von Personen erzielt wurden, die gemäß der beschriebenen Literatur gar nicht in den Risikobereich für den Berg-Balance-Test fallen. Dies scheint erneut durch unsere Auswahlkriterien bedingt zu sein, da wir möglichst gesunde Probanden in diese Studie einschließen wollten, und daher Personen mit möglichen schlechteren Resultaten im Berg-Balance-Test erst gar nicht untersucht haben. Andererseits zeigt dieser Test zwar eine sehr gute Spezifität, die Sensitivität ist mit 53% aber sehr ungenau, so dass sich dieser Test nur zum Ausschluss eines schlechten Gleichgewichts eignet [12, 123]. Nichtsdestotrotz wird von uns bestätigt, dass es eine Korrelation zwischen dem Alter und dem Ergebnis im Berg-Balance-Test gibt, auch wenn sie diskret

niedriger ist, als bisher beschrieben (p=0,0006 gegenüber p=0,0001 aus der Literatur) [83].

4.8 Chairstand-Test

Der von uns ermittelte Unterschied im Ergebnis des Chairstand-Testes zwischen den Gruppen A und B deckt sich mit bisher bekannten Erkenntnissen, auch wenn zum Teil andere Bevölkerungsgruppen (aus dem asiatischen Raum) untersucht wurden [56]. In dieser Studie aus Hong-Kong wurde gezeigt, dass mit zunehmendem Alter die Wiederholungsfrequenz für diesen Test abnimmt. 2,6 Wiederholungen weniger wurden im Durchschnitt von Probanden der Gruppe B im Vergleich zu den Teilnehmern der Gruppe A erreicht. Weiter zeigt sich, dass bei Teilnehmern der Gruppe A mit einem Testergebnis von 12 oder mehr Wiederholungen innerhalb der festgelegten 30 Sekunden, die posturale Kontrolle im Vergleich zu den restlichen Probanden tendenziell etwas verbessert zu sein scheint. Unabhängig vom Alter besteht eine Tendenz, dass mit schlechterem Testergebnis im Chairstand-Test auch die Ergebnisse in der Messung mit dem Biodex Balance System schlechter werden, womit eine nachlassende posturale Stabilität in Betracht gezogen werden kann. Diese mögliche Tendenz bestätigt die Aussagen einer koreanischen Studie aus dem Jahr 2012 wieder, in der ebenfalls auf eine moderate negative Korrelation hingewiesen worden ist [18]. Die fehlende statistische Signifikanz in unseren Analysen bezüglich Testergebnis und posturaler Balance wurde bereits in einer japanischen Studie aus dem Jahr 2009 aufgezeigt. Damals wurden verschiedene neuromuskuläre oder kognitive Tests als Screeningverfahren für zukünftige Stürze untersucht. Während es für einige Tests statistisch signifikante Unterschiede zwischen gestürzten und nicht gestürzten Personen gab, zählte der Chairstand-Test nicht dazu [92]. In einem anderen Testverfahren, ähnlich dem Chairstand-Test, wurde die Beziehung zwischen funktionellen Tests und Balancemessungen unter Zuhilfenahme eine Kraftplattform analysiert. Auch hier waren nur sehr schwache Zusammenhänge festgestellt worden [32].

4.9 Timed-up-and-Go-Test

Der Timed-up-and-Go-Test lieferte in unserer Studie die Erkenntnis, dass mit zunehmendem Lebensalter die Zeit, die für die Bewältigung dieses Tests benötigt wird, ansteigt (Gruppe A war im Durchschnitt um 1,5 Sekunden schneller als Gruppe B). Dies deckt sich mit Ergebnissen aus früheren Studien [13, 101]. Zusätzlich wird der TUAGT als einfachster und verlässlichster Test angesehen, um Balancestörungen im klinischen Alltag zu detektieren [120]. Im Rahmen unserer Messungen konnten wir den Trend aufweisen, dass mit zunehmender Dauer, die für den TUAGT benötigt wird, die CDP-Werte ebenfalls zunehmen, was mit einer schlechteren Balance in Einklang gebracht werden kann. Dies ist insofern beachtlich, da bisher angenommen wurde, dass ein TUAGT-Ergebnis von 15 Sekunden und mehr erst in der Lage ist sturzanfälligere Personen zu detektieren [73]. In unserem Probandenkollektiv war jedoch nur ein Proband schlechter als die oben genannten 15 Sekunden. Dies kann dadurch begründet sein, dass der TUAGT von manchen Autoren durchaus als limitierend beschrieben wird, was seine prognostische Aussagekraft bezüglich sturzanfälligen Personen betrifft, auch wenn es einen statistischen Unterschied zwischen gestürzten und nicht gestürzten Männern gibt [92, 109]. Das fehlende Muster bezüglich Alter und CDP-Werte, und somit einer klaren Aussage bezüglich TUAGT-Ergebnis und posturale Kontrolle, könnte erklärt werden mit der Tatsache, dass der TUAGT, wenn überhaupt, nur bei sturzanfälligen Personen und nicht bei gesunden älteren Personen als Diskriminierungsmöglichkeit aussagekräftig genug ist [89]. In dieser Studie wurde aber aufgrund von Ein- und Ausschlusskriterien darauf geachtet, möglichst gesunde Personen zu testen. Nichtsdestotrotz wird dem TUAGT, gegebenenfalls in Kombination mit dem Berg-Balance-Test, von manchen Autoren ein großes Potential im longitudinalen Assessment für ein Sturzrisiko zugeschrieben [35].

4.10 Zweipunktdiskrimination

Das mittlere Zweipunktempfinden an der Großzehe erscheint mit 20,5 mm für die Gruppe A bzw. 30,4 mm für die Gruppe B recht groß, wenn man diese Werte mit

einer Studie aus dem Jahr 1983 vergleicht. Damals wurden für die Großzehe Resultate von 6,6 +/- 1,8 mm gemessen worden, allerdings bei jungen Probanden im Alter zwischen 20 und 24 Jahren [72]. Dieser Unterschied kann durch das benutzte Messinstrument verursacht worden sein. Wie bereits in einer amerikanischen Studie um Crosby et al. im Jahr 1989 festgestellt wurde, kann das Ergebnis vom Messinstrument abhängen. Während spezielle Instrumente wie der "Disk-Criminator" geeignet erscheinen, scheint dies für handelsübliche Werkzeuge wie eine Büroklammer nicht zu gelten [20]. Wie haben in dieser Studie einen Zirkel benützt, der eher zu zweiter Kategorie gezählt werden muss, da die Verfügbarkeit eines Zirkels im Gegensatz zum z.B. „Disk-Criminator“ deutlich erhöht ist und so Vergleiche mit anderen Studien ggf. einfacher ist. Die fehlende Korrelation zwischen schlechterer Zweipunktdiskrimination und posturaler Instabilität ist in unserer Studie auffällig. Bisher war in der Literatur beschrieben, dass eine verringerte Somatosensorik sich negativ auf den aufrechten Stand auswirken kann [42]. Hierbei muss man jedoch erwähnen, dass damals nicht direkt die Zweipunktdiskrimination gemessen wurde, und die getroffene Aussage zutreffend war, wenn es zu einer Ermüdung der plantarflexierenden Muskeln kommt, z.B. wie im Experiment von Hlavackova beim Stehen mit erhöhtem Absatz. Diese Ermüdung wurde von uns nicht kontrolliert. Zusätzlich muss in Betracht gezogen werden, dass der Einfluss der Sensorik des Fußes für den Gang weniger wichtig ist als für den aufrechten Stand [122]. Auch die genaue Durchführung kann einen Einfluss auf das Ergebnis der Zweipunktdiskrimination haben, so dass verschiedene Studien verschiedene Ergebnisse erzielen können und somit schwerer vergleichbar sind [54].

4.11 Freizeitaktivität

Fehlende körperliche Aktivität wird in Verbindung gebracht mit schlechterer posturaler Kontrolle [76]. Zusätzlich wird durch regelmäßige körperliche Aktivität das Gleichgewichtsvermögen trainiert und verbessert. Insbesondere propriozeptiven Aufgaben wie leichter Gymnastik oder Yoga wird ein positiver Effekt zugeschrieben [31]. Da beide von uns getesteten Gruppen A und B im Durchschnitt pro Woche die gleiche Stundenanzahl leisten, ist der fehlende

Unterschied in den CDP-Ergebnissen nicht verwunderlich. Allerdings wurde nicht weiter überprüft, inwieweit sich die verschiedenen Aktivitäten der Probanden auf die posturale Stabilität auswirken könnten. So wären ggf. bei der Analyse von Probanden, die o.g. Sportarten betreiben im Vergleich zu Probanden, die z.B. Fahrradfahren oder Joggen andere Ergebnisse beobachtet worden. Zusätzlich haben wir nicht nur Sportarten sondern auch körperlich beanspruchende Hobbies in dieser Studie als Freizeitaktivitäten anerkannt. Auch besteht der Verdacht, dass ein Training zur Verbesserung der Balance nur unter Anleitung Erfolg hat [50]. Andererseits war es auch anderen Autoren nicht gelungen signifikante Zusammenhänge zwischen Freizeitverhalten und posturaler Stabilität herzustellen [30, 104]. Warum gerade Menschen mit mittelmäßiger Aktivität in ihrer Freizeit tendenziell die höchsten CDP-Werte produzieren könnte ebenfalls dadurch erklärt werden, da die von diesen Probanden betriebenen Aktivitäten zwar zeitintensiv aber für die Balance ungeeignet gewesen sein könnten. Auch die notwendige Anzahl der körperlichen Aktivitäten bzw. die notwendige Zeit, die für eine Verbesserung des Gleichgewichtsvermögens verantwortlich sein kann, ist bisher ungeklärt [93]. Ebenso hat der Zeitpunkt, wann die Probanden sportlich aktiv waren (bzw. noch sind), Einfluss auf das Gleichgewicht. So zeigen Probanden, die zum Zeitpunkt einer Messung noch sportlich aktiv sind bessere Ergebnisse, als Probanden die früher Sport betrieben, dies aber inzwischen eingestellt haben [75].

4.12 Geschlecht

Auch wenn für Frauen nach dem Treppensteigen bei unseren Messungen mit dem Biodex Balance System ein gewisser Anstieg der OSI-Werte registriert werden konnte, so zeigt sich in der Gesamtschau aller Resultate, dass sich bezüglich des Geschlechts kein Unterschied in der posturalen Kontrolle ergibt. Damit decken sich unsere Erkenntnisse mit denen aus früheren Studien, die ebenfalls keine Differenzen feststellen konnten [28, 39, 104]. Einzelne Auffälligkeiten, insbesondere die Tatsache, dass Frauen nach dem Treppensteigen leicht erhöhte OSI-Werte erzielten als Männer (wohingegen dies beim Sechs-Minuten-Geh-Test nicht der Fall war), könnten in Zusammenhang stehen mit einem leicht erhöhten BMI der Frauen gegenüber den Männern, da hier ggf. das höhere Gewicht für die

Aufgabenbewältigung sich etwas negativer auswirkt, als für Aufgaben auf gerader Ebene. Eine mexikanische Studie hat aufgezeigt, dass nicht das Geschlecht, jedoch die Adipositas die posturale Stabilität beeinflusst [21]. Dies wurde auch von uns im Rahmen der Überprüfung bestätigt (s.o.). Das etwas erhöhte Gewicht bei den Frauen im Gegensatz zu den Männern, ggf. in Kombination mit geringerer Muskelkraft bei den Frauen, könnte beim Bewältigen des Treppensteigens etwas mehr ins Gewicht fallen als beim Laufen auf gerader Ebene und somit die leicht erhöhten OSI-Werte erklären. Ergänzend besteht bereits bei jungen Mädchen eine höhere Korrelation zwischen posturaler Kontrolle und Körpergewicht als bei Jungen [94]. Dies könnte bis ins hohe Alter fortbestehen. Zusätzlich kann für diesen geringen Unterschied auch das Alter ursächlich sein, da die teilnehmenden Frauen im Mittel ein halbes Jahr älter waren als die Männer.

4.13 Sturzanamnese

Das gestürzte Personen bessere Ergebnisse im Rahmen der CDP-Messungen zeigen, wirkt auf den ersten Blick überraschend, da hier eigentlich der gegenteilige Effekt erwartet wurde. Insbesondere für den medio-lateralen Stabilitätsindex (MLSI) hätten die von uns bezogenen Resultate Unterschiede aufzeigen sollen, wie in einer australischen Studie gezeigt werden konnte. Damals zeigten Probanden mit positiver Sturzanamense Auffälligkeiten in der ML-Achse [15]. Dies ist auch in weiteren Studien belegt worden [62,63]. Relativierend muss man hier erwähnen, dass solche Auffälligkeiten in den wenigen Studien, die zu diesem Thema existieren, eher als Vorhersagewert, denn als Sturzkorrelat angesehen wurden [80]. Gegebenenfalls strengen sich gestürzte Patienten bei den CDP-Messungen (bewusst oder unbewusst) mehr an, um einen weiteren Sturz zu vermeiden. Die signifikanten Auffälligkeiten der gestürzten Personen innerhalb der Gruppe B decken sich mit Aussagen die Merlo et al. im Jahr 2012 veröffentlicht haben. Auch damals war bei Probanden mit einem Alter $\geq$ 70 Jahren eine Assoziation zwischen posturaler Messung, sowohl für den CoP als auch in AP-Richtung, und erzielter Leistung bei offenen Augen und festem Untergrund aufgefallen [64].

Die Ursachenfindung für die von uns erzielten Werte lässt mehrere mögliche Schlüsse zu: zum Einen könnte die Fallzahl der von uns getesteten Probanden zu niedrig sein, auch wenn im Vorfeld der Studie eine Berechnung der Fallzahl durchgeführt wurde. Weiterhin ist zu diskutieren, dass die Probanden, die wir für unser Projekt gewinnen konnten, zwar vom Hauptteil aus dem laufenden Krankenhausbetrieb akquiriert wurden, sie jedoch aufgrund der gewählten Ein- bzw. Ausschlusskriterien nicht sturzanfällig waren und von daher nicht die erwarteten Ergebnisse erzielen konnten. Die Belastung wurde von uns anhand der Pulskontrolle überprüft. Obwohl im Durchschnitt ein Anstieg der Herz-bzw. Pulsfrequenz registriert werden konnte, war die Belastung wohl nicht ausreichend genug.

Die von uns ausgewählten gängigen Tests und Scores zur Überprüfung der Balancefähigkeit bzw. der Sturzanfälligkeit haben ebenfalls keinen Hinweis zur Erkennung eventuell gefährdeter Personen leisten können. Dies ist am ehesten dahingehend zu vereinbaren, dass im Großteil Werte und Ergebnisse von den Probanden in den einzelnen Tests erzielt wurden, für die die Literatur keine Gefährdung angibt. So besteht weiterhin die Frage, ob Probanden mit schlechteren Testergebnissen doch auffällig schlechtere CDP-Werte produzieren würden.

Auch die Messungen mit dem Biodex Balance System sind in die Überlegungen einzubeziehen. Der von uns gewählte Level der Plattform könnte nicht geeignet sein um unsere Fragestellung zu beantworten. Mehrere Studien sind auch zu der Meinung gekommen, dass das BBS nicht in der Lage ist Stürze im Vorfeld vorherzusagen und sturzgefährdete Personen zu detektieren, sondern im Umkehrschluss eher geeignet ist Personen herauszufiltern, die einen sehr sicheren Stand und Gang haben und daher unwahrscheinlicher stürzen [7, 15, 80].

In Anbetracht der erzielten Ergebnisse und Werte muss zu dem Schluss gekommen werden, dass wir nicht nachweisen konnten, dass eine alltägliche körperliche Beanspruchung wie das zügige sechsminütige Gehen oder das Hinauf-und Herabsteigen einer Etage für Probanden über 50 Jahren ausreicht, um die posturale Kontrolle dahingehend zu beeinflussen, dass ein Sturz die Folge sein könnte. In der von uns durchgeführten Studie konnten wir nur vereinzelte Hinweise oder Tendenzen aufzeigen ohne dass diese Ergebnisse beweisend wären.

Die weitere Sturzforschung muss daher zeigen, ob mit einer anderen Austestung mit ggf. größeren Fallzahlen die von uns im Vorfeld aufgestellte These doch zu beweisen ist, oder ob für Personen im Alter von 50 Jahren und mehr eher andere Gründe wie Unachtsamkeit, Grunderkrankungen, Medikamente etc. sturzursächlich sind.

5.Zusammenfassung

Stürze und Sturzfolgen sind ein häufiges und wiederkehrendes Problem mit zunehmendem Alter. Viele Studien haben sich mit dieser Thematik befasst und haben daher auch viele verschiedene Ursachen für einen Sturz benennen können. Darunter sind neben dem zunehmendem Alter, Medikamente, Vorerkrankungen, positive Sturzanamnese etc., um nur einige zu nennen. Auch die Folgen können gravierenden Ausmaßes sein, wobei nicht nur die individuellen Nachteile wie resultierende Verletzungen, Krankenhausaufenthalte mit eventuell notwendigen OPs und Rehabilitationsmaßnahmen sowie die mit steigendem Alter ebenfalls erhöhte Gesamtmortalität, sondern auch die wirtschaftlichen Gesamtkosten einkalkuliert werden müssen.

Um das Gleichgewicht beim Stand und Gang aufrecht zu erhalten, und so einen Sturz zu vermeiden, behilft sich der menschliche Körper mehrerer Sinnes- und Informationssysteme, wie den Visus, das vestibuläre System und die Propriozeption, die im zentralen Nervensystem gebündelt verarbeitet werden um anschließend gegensteuernd eingreifen zu können. Diese Fähigkeit wird als posturale Kontrolle bzw. Stabilität bezeichnet.

Bisher im Unklaren blieb die Frage, ob eine kurze körperliche Belastung in Form einer Alltagsaufgabe bei Personen über 50 Jahren im Stande ist, die posturale Stabilität insofern zu beeinträchtigen, dass ein Sturz die Folge sein kann. Ziel war es diese Frage zu erörtern, da aus der bisherigen Studienlage bekannt ist, dass die posturale Kontrolle mit zunehmendem Lebensalter schlechter wird. Ebenso besteht die Erkenntnis, dass sich körperliche Belastung, insbesondere im Fall der Ausbelastung, ebenfalls negativ auf die Balance und das Gleichgewichtsvermögen auswirken kann.

Von insgesamt 43 Probanden im Alter von 51-84 Jahren (aufgeteilt in zwei Gruppen) haben wir Daten zur Messung der posturalen Kontrolle mittels der computerunterstützten dynamischen Posturographie (CDP) unter Zuhilfenahme des Biodex Balance Systems (BBS) gewinnen können. Dazu bestand die Aufgabe, jeweils zwei kurze alltägliche Belastungsproben durchzuführen; den standardisierten Sechs-Minuten-Geh-Test sowie das

einmalige Treppensteigen über eine Etage. Die gemessenen CDP-Werte direkt nach der Belastung, sowie im weiteren zeitlichen Verlauf wurden mit den Ruhewerten zu Beginn der Testreihe verglichen. Zusätzlich erfolgte die Analyse der Altersabhängigkeit in Form zwei verschiedener Altersgruppen (Gruppe A: 50-64 Jahre, Gruppe B: ≥65 Jahre). Die erhaltenen Erkenntnisse wurden komplettiert durch verschiedene gängige Scores und Tests, die im Vorfeld zur Erhebung sturzanfälliger Personen geeignet sind, darunter u.a. der Body Mass Index (BMI), der Timed-up-and-Go-Test, der Chairstand-Test oder der Tinetti-Test (POMA-Score).

Die durchgeführten Messungen zeigten, dass nach dem Sechs-Minuten-Geh-Test für Probanden zwischen 50-64 Jahren eine tendenzielle Abnahme der posturalen Stabilität erfolgte, während sich dies nach dem Treppensteigen nicht bestätigte. Insgesamt betrachtet ist eine kurze körperliche Belastung wohl nicht ausreichend für Personen über 50 Jahren um die posturale Kontrolle nachhaltig negativ zu beeinflussen. In Anbetracht der weiteren durchgeführten Tests und Scores können wir zusammenfassen, das ein niedriger BMI sowie hohe Punktzahlen im Bereich des Chairstand-Tests, des Timed-up-and-Go-Tests sowie des Berg-Balance-Tests ein Hinweis für eine geringer Sturzanfälligkeit sein können, während sich dies für das Geschlecht, die Selbsteinschätzung der Balance, der Zweipunktdiskrimination sowie der körperlichen Ertüchtigung in der Freizeit nicht nachweisen lassen konnte. Wir erklären uns die erhaltenen Ergebnisse am ehesten mit der nicht stattgefundenen Ausbelastung sowie den im Durchschnitt guten bis sehr guten Punktewerten in den einzelnen Scores.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine geringe körperliche Belastung für Personen über 50 Jahren keine nennenswerte Risikoerhöhung für den Verlust der Balance darstellt. Als mögliche Sturzursachen dieses Personenkreises müssen also eher die o.g. Möglichkeiten, wie Medikamente, Vorerkrankungen und die allgemeinen Erscheinungen des Älterwerdens in Betracht gezogen werden. Der weitere Forschungsbedarf muss jedoch zeigen, ob in ähnlichen Studien unsere Aussage bestätigt oder widerlegt werden kann und inwieweit Sturzrisikotests mit Ergebnissen der CDP-Messung in Übereinstimmung gebracht werden können.

6. Literaturverzeichnis

1. **Alkjaer T, Mayland J, Raffalt PC, Lundbye-Jensen J, Simonsen EB:** Neuromuscular adaptions to 4 weeks of intensive drop jump training in well-trained athletes. Physiol Rep 1:e00099 (2013)

2. **American Geriatrics Society, British Geriatrics Society, and American Academy of Orthopedics Surgeons:** Guideline for the prevention of falls in older persons. J Am Geriatr Soc 49: 664-672 (2001)

3. **American Thoracic Society** - ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories: https://www.thoracic.org/statements/resources/pft/sixminute.pdf (06.06.2013)

4. **Arnold B L , Schmitz R:** Examination of balance measures produced by the Biodex Stability System. J Athl Train 33: 323-327 (1998)

5. **Ärztekammer Nordrhein:** Förderung von Sicherheit Selbständigkeit und Mobilität - Prävention von Sturz und sturzbedingter Verletzung. http://www.aekno.de/downloads/aekno/sturzpraevention.pdf (10.11.2013)

6. **Aydog E, Bal A, Aydog ST, Cakci, A:** Evaluation of dynamic postural balance using the Biodex Stability System in rheumatoid arthritis patients. Clin Rheumatol 25: 462-467 (2006).

7. **Baloh RW, Spain S, Socotch TM, Jacobson KM, Bell T:** Posturography and balance problems in older people. J Am Geriatr Soc 43: 638-644 (1995)

8. **Berg K:** Balance and its measure in the elderly: a review. Physiother Can 41: 240-246 (1989)

9. **Berg KO, Maki BE, Williams JI, Holliday PJ, Wood-Dauphinee SL:** Clinical and laboratory measures of postural balance in an elderly population. Arch Phys Med Rehabil 73: 1073-1080 (1992)

10. **Black SE, Maki BE, Fernie GR:** Aging, Imbalance, and falls. The Vestibular-ocular Reflex and Vertigo. Raven Press, New York S. 317-335 (1993)

11. **Bloch F, Thiabud M, Dugue B, Breque C, Rigaud, AS, Kemoun G:** Episodes of falling among elderly people: a systemic review and meta-analysis of social and demographic pre-disposing characteristics. Clinics 65: 895-903 (2010)

12. **Bogle Thorbahn LD, Newton RA**: Use of the Berg Balance Test to predict falls in elderly persons. Phys Ther 76: 576-583 (1996)

13. **Bohannon RW:** Reference values for the timed up and go test: a descriptive meta-analysis. J Geriatr Phys Ther 29: 64-68 (2006)

14. **Borah D, Wadhwa S, Singh U, Yadav SL, Bhattacharjee M, V S**: Age related changes in postural stability. Indian J Physiol Pharmacol 51: 395-404 (2007)

15. **Brauer SG, Burns YR, Galley P:** A prospective study of laboratory and clinical measures of postural stability to predict community-dwelling fallers. J Gerontol 55: M469-M476 (2000)

16. **Bundesministerium für Familen, Senioren, Frauen und Jugend:** http://www.bmfsfj.de/BMFSFJ/Service/Publikationen/publikationsliste,did=3174.html (10.11.2013)

17. **Bundesministerium für Familen, Senioren, Frauen und Jugend:** http://www.bmfsfj.de/RedaktionBMFSFJ/Abteilung3/Pdf-Anlagen/bt-drucksache-sechster-altenbericht,property=pdf,bereich=bmfsfj,sprache=de,rwb=true.pdf (10.11.2013)

18. **Cho KH, Bok SK, Kim YJ, Hwang SL:** Effet of lower limb strength on falls and balance of the elderly. Ann Rehabil Med 36: 386-393 (2012)

19. **Colleoni JL, Rodrigues LM, Junior GS, Scapulatempo C, Abreu LC, Valenti VE, Fujiki E, Camargo RC, Oliviera FR, Alves MT, Cohen M:** Immunohistochemical analysis of mechanoreceptors in the human posterior cruciate ligament: association with aging male. Aging Male 16: 73-78 (2013)

20. **Crosby PM, Dellon AL:** Comparison of two-point discrimination testing devices. Microsurgery 10: 134-137 (1989)

21. **Cruz-Gómez NS, Plascencia G, Villanueva-Padrón LA, Jáuregui-Renaud K:** Influence of obesity and gender on the postural stability during upright stance. Obes Facts 4: 212-217 (2011)

22. **de Paula TC, Bochner R, Montilla DE:** Clinical and epidemiological analysis of hospitalizations of elderly due to poisoning and adverse effects of medications, Brazil from 2004 to 2008. Rev Bras Epidemiol 15: 828-844 (2012)

23. **Deandrea S, Lucenteforte E, Bravi F, Foschi R, La Vecchia C, Negri E:** Risk faktors for falls in community-dwelling older people. Epidemiol 21: 658-668 (2010)

24. **Dellon A. Lee, Mackinnon Susan E., McDonald Crosby Page:** Reliability of two-point discrimination measurements. J Hand Surg Am 12: 693-696 (1987)

25. **Deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin:** Leitlinien der DEGAM. http://leitlinien.degam.de/uploads/media/Langfassung-sturz001.pdf (10.11.2013)

26. **Ekvall Hansson E, Magnusson M:** Vestibular asymmetry predicts falls among elderly patients with multi-sensory dizziness. BMC Geriatr 13:77 (2013)

27. **Europäische Kommission:** http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/health/public_health/data_public_health/database (13.03.2013)

28. **Faraldo-García A, Santos-Pérez S, Crujeiras-Casais R, Labella-Caballero T, Soto-Varela A:** Influence of age and gender in the sensory analysis of balance control. Eur Arch Otorhinolaryngol 269: 673-677 (2012)

29. **Freitas SMSF, Wieczorek SA, Marchetti PH, Duarte M:** Age-related changes in human postural control of prolonged standing. Gait Posture 22: 322-330 (2005)

30. **Ganz DA, Bao, Y, Shekelle PG, Rubenstein LZ:** Will my patient fall? JAMA 297: 77-86 (2007)

31. **Gauchard GC, Jeandel C, Tessier A, Perrin PP:** Beneficial effect of proprioceptive physical activities on balance control in elderly human subjects. Neurosci Lett 273: 81-84 (1999)

32. **Gil AW, Oliveira MR, Coelho VA, Carvalho CE, Teixeira DC, da Silva RA Jr:** Relationship between force platform and two functional tests for measuring balance in the elderly. Rev Bras Fisioter 15: 429-435 (2011)

33. **Gillespie LD, Robertson MC, Gillespie WJ, Sherrington C, Gates S, Clemson LM, Lamb SE:** Interventions for preventing falls in older people living in the community.Cochrane Database Syst Rev 9:CD007146 (2012)

34. **Golenhofen** K: 1. ÄP Physiologie. Thieme, Stuttgart, S. 408-409, S. 413, S. 415, S. 439 (2006)

35. **Greene BR, O`Donovan A, Romero-Ortuno R, Cogan L, Ni Scanaill C, Kenny RA:** Quantitative falls risk assessment using the timed up and go test. IEEE Trans Biomed Eng 57: 2918-2929 (2010)

36. **Groen JJ, Jongkees LB:** The threshold of angular acceleration perception. J Physiol 107: 1-7 (1948)

37. **Gu MJ, Schultz AB, Shepard NT, Alexander NB:** Postural control in young and elderly adults when stance is pertubed. J Biomechanics 29: 319-329 (1996)

38. **Gulich M, Spreng T, Schaden H, Spreng K, Ziegler HP:** Stürze älterer Menschen - Ergebnisse einer epidemiologischen Erhebung. (Artikel) Z Allgemeinmed 76: 434 (2000)

39. **Hageman** Patricia A., Leibowitz Michael, Blanke Daniel (1995) Age and gender effects on postural control measures. Arch Phys Med Rehabil 76: 961-965

40. **Hakim RM, Davies L, Jaworski K, Tufano N, Unterstein A:** A computerized dynamic posturography (CDP) program to reduce fall risk in a community dwelling older adult with chronic stroke: a case report. Physiother Theory Pract 28: 169-177 (2012)

41. **Hill K, Schwarz J, Flicker L, Carroll S:** Falls among healty, community-dwelling, older women: a prospective study of frequency, circumstances, consequences and prediction accuracy. Aust N Z J Public Health 23: 41-48 (1999)

42. **Hlavackova P, Vuillerme N:** Do somatosensory conditions from the foot and ankle affect postural responses to plantar-flexor muscles fatigue during bipedal quiet stance? Gait Posture 36: 16-19 (2012)

43. Kein Autor: The prevention of falls in later life. A report of the Kellogg International Work Group on the Prevention of Falls by the Elderly. Dan Med Bull 4:1-24 (1987)

44. **King MB, Tinetti ME:** A multifactorial approach to reduce injuries falls. Clin Geriatr Med 12: 745-759 (1996)

45. **Kozaki, K:** Fall risk and fracture. Aging and fall/fracture. Clin Calcium 23:653-660 (2013)

46. **Ku PX, Abu Osman NA, Yusof A, Wan Abas WAB:** Biomechanical evaluation of the relationship between postural control and body mass index. J Biomech 45: 1638-1642 (2012)

47. **Kunczik T, Ringe JD:** Osteoporose: Eine Herausforderung für die Zukunft. Dtsch Arztebl 91: A1126-A129 (1994)

48. **Laughton CA, Slavin M, Katdare K, Nolan L, Bean JF, Kerrigan DC, Phillips E, Lipsitz LA, Collins JJ:** Aging, muscle activity, and balance control: physiologic changes association with balance impairment. Gait Posture 18: 101-108 (2003)

49. **Lepers R, Bigard, AX, Diard JP, Gouteyron JF, Guezennec CY:** Posture control after prolonged exercise. Eur J Appl Physiol 76: 55-61(1997)

50. **Lindemann U, Rupp K, Muche R, Nikolaus T, Becker C:** Improving balance by improving motor skills. Z Gerontol Geriat 37: 20-26 (2004)

51. **Lord SR, Clark RD, Webster IW:** Postural stability and associated physiological factors in a population of aged persons. J Gerontol 46: M69-76 (1991)

52. **Lord SR, Ward JA:** Age-associated differences in sensori-motor function and balance in community dewlling women. Age Aging 23: 452-460 (1994)

53. **Lord SR, Ward, JA, Williams P, Anstey KJ:** Physiological factors associated with falls in older community-dwelling women. J Am Geriatr Soc 42: 1110-1117 (1994)

54. **Lundborg G, Rosén B:** The two-point discrimination test - time for a re-appraisal? J Hand Surg Br 29: 418-422 (2004)

55. **Macdonald JB:** The role of drugs in falls in the elderly. Clin Geriatr Med 1: 621-636 (1985)

56. **Macfarlane DJ, Chou KL, Cheng YH, Chi I:** Validity and Normative Data for Thiry-Second Chair Stand Test in elderly communtiy-dwelling Hong Kong Chinese. Am J Hum Biol 18: 418-421(2006)

57. **Mahony FI, Barthel DW:** Functional evaluation: The Barthel Index. Md State Med J 14: 61-65 (1965)

58. **Maki BE, Holliday PJ,Topper K:** A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population. J Gerontol 49: M72-M84 (1994)

59. **Manchester D, Woollacott, M, Zederbauer-Hylton N, Marin O:** Visual, vestibular and somatosensory contributions to balance control in the older adult. J Gerontol 44: M118-127 (1989)

60. **Marks D:** Homepage der Interessengemeinschaft Physiotherapie Rehabilitation http://www.igptr.ch/cms/uploads/PDF/PTR/ass_artikelserie/pp206-POMA.pdf (27.04.2013)

61. **Masud T, Morris RO:** Epidemiology of falls. Age Aging 30: 3-7 (2001)

62. **Melzer I, Benjuya N, Kaplanski J:** Postural stability in the elderly: a comparison between fallers and non-fallers. Age Aging 33: 602-607 (2004)

63. **Melzer I, Kurz I, Oddson LIE:** A retrospektive analysis of balance control parameters in elderly fallers and non-fallers. Clin Biomech 25: 984-988 (2010)

64. **Merlo A, ZEmp D, Zanda E, Rocchi S, Meroni F, Tettamanti M, Recchia A, Lucca U, Quadri P:** Postural stability and history of falls in cognitively able older adults: the Canton Ticino study. Gait Posture 36: 662-666 (2012)

65. **Mizukami S, Arima K, Abe Y, Kanagae M, Kusano Y, Niino N, Aoyagi K:** Falls are associated with stroke, arthritis and multiple medications among community-dwelling elderly persons in Japan. Tohoku J Exp Med 231:299-303 (2013)

66. **Moore JB, Korff T, Kinzey SJ:** Acute effects of a single bout of resistance exercise on postural control in elderly persons. Percept Mot Skills 100: 725-733 (2005)

67. **Murray MP, Seireg AA, Sepic SB:** Normal postural stability and steadiness: quantitative assessment. J Bone Joint Surg Am 57 A: 510-516 (1975)

68. **Nagy E, Feher-Kiss A, Barnai M, Domjan-Preszner A, Angyan L, Horvath G:** Postural control in elderly subjects participating in balance training. Eur J Appl Physiol 100: 97-104 (2007)

69. **National Center for Health Statistics:** http://www.cdc.gov/nchs/data/nvsr/nvsr60/nvsr60_03.pdf. (24.06.2013)

70. **Nevitt MC, Cummings SR, Hudes ES:** Risk factors for injurious falls: a prospective study. J Gerontol 46: M164-170 (1991)

71. **Ng SS, Tsang WW, Cheung TH, Chung JS, To FP, Yu PC:** Walkway length, but not turning direction, determines the six-minute walk test distance in individuales with stroke. Arch Phys MEd Rehabil 92: 806-811 (2011)

72. **Nolan MF:** Limits of two-point discrimination ability in the lower limb in young adult men and women. Phys Ther 63: 1424-1428 (1983)

73. **Nordin E, Lindelöf N, Rosendahl E, Jensen J, Lundin-Olsson L:** Prognostic validity of the Timed up-and-Go test, a modified Get-up-and-Go test, staff's global judgemnet and fall history in evaluating fall risk in residental care facilities. Age Aging 37: 442-448 (2008)

74. **Panzer VP, Wakefield DB, Wolfson LI:** Mobility assessment: sensitivity and specificity of measurement set in older adults. Arch Phys Med Rehabil 92: 905-912 (2011)

75. **Pereira HM, Folly de Campos T, Bannwart MB, Cardoso JR, de Camargo Garcia M, Cohen M:** Influence of knee position on the postural stability index registered by the Biodex Balance System. Gait Posture 28: 668-672 (2008)

76. **Perrin PP, Gauchard GC, Perrot CP, Jeandel C:** Effects of physical and sporting activities on balance control in elderly people. Br J Sports Med 33: 121-126 (1999)

77. **Perrin PP, Jeandel C, Perrin CA, Bene MC:** Influence of visual control, conduction, and central integration on static and dynamic balance in healty older adults. Gerontology 43: 223-231 (1997)

78. **Peterka RJ:** Sensorimotor integration in human postural control. J Neurophysiol 88: 1097-1118 (2002)

79. **Piirainen JM, Linnemo V, Sippola N, Avela J:** Neuromuscular function during drop jumps in young and elderly males. J Electromyogr Kinesiol 22: 852-858 (2012)

80. **Piirtola M, Era P:** Force Platform measurements as predictors of falls among older people - a review. Gerontology 52: 1-16 (2006)

81. **Pincivero DM, Lephart SM, Henry TJ:** Learning effects and reliability of the Biodex Stability System (Abstract). J Athletic Training 30: 48 (1995)

82. **Pizzigalli L, Filippini A, Ahmaidi, S, Jullien H, Rainoldi A:** Prevention of falling risk in elderly people: The relevance of muscular strength and symmetry of lower limbs in postural stability. J Strength Cond Res 25: 567-574 (2011)

83. **Prata M, Scheicher ME:** Correlation between balance and the level of functional independance among elderly people. Sao Paulo Med J 130: 91-101 (2012)

84. **Pyykkö I, Jäntti P, Aalto H:** Postural control in elderly subjects. Age Aging 19: 215-221 (1990)

85. **Rein S, Fabian T, Zwipp H, Mittag-Bonsch M, Weindel S:** Influence of Age, Body Mass Index and Leg Dominance onf Funktional Ankle Stability. Foot Ankle Int 31: 423-432 (2010)

86. **Schädler S:** Homepage der Interessengemeinschaft Physiotherapie Rehabilitation http://www.igptr.ch/cms/uploads/PDF/PTR/ass_artikelserie/pp_2007_11-12_assessment-bbs.pdf (27.04.2013)

87. **Schmidt RF, Lang F:** Physiologie des Menschen mit Pathophysiologie Springer, Heidelberg S. 151-156, S. 163-169, S. 307-314, S. 391-404, S. 367-376 (1990)

88. **Schmitz R, Arnold B:** Intertester and intratester reliability of a dynamic balance protocol using the biodex stability system. J Sport Rehabil 7: 95-101 (1998)

89. **Schoene D, Wu SM, Mikolaizak AS, Menant JC, Smith ST, Delbaere K, Lord SR:** Discriminative ability and predictive validity of the timed up and go test in identifying older people who fall: systematic review and meta-analysis. J Am Geriatr Soc 61: 202-208 (2013)

90. **Schünk**e M, Schulte E, Schumacher U, Voll M, Wekser K: Prometheus - Lernatlas der Anatomie Kopf und Neuroanatomie. Thieme, Stuttgart, S. 328-329, S.3 60-363,S. 368-369 (2006)

91. **Sheldon JH:** The effect of age on the control of sway. Geront Clin 5: 129-138 (1963)

92. **Shimada H, Suzukawa M, Tiedemann A, Kobayashi K, Yoshida H, Suzuki T:** Which neuromuscular or cognitive test is the optimal screening tool to predict falls in frail community-dwelling older people? Gerontology 55: 532-538 (2009)

93. **Shumway-Cook A, Gruber W, Baldwin M, Liao S:** The effect of multidimensional exercises on balance, mobility, and fall risk in communtiy-dwelling older adults. Phys Ther 77: 46-57 (1997)

94. **Smith AW, Ulmer FF, Wong del P:** Gender differences in postural stability among children. J Hum Kinet 33: 25-32 (2012)

95. **Soares MR, de Castro Pereira CA:** Six-minute walk test: reference values for healthy adults in brazil. J Bras PneumKozaki, ol: 37: 576-583 (2011)

96. **Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau:** http://www.svlfg.de/63-presse/pres04/2pres0402/lsvkom_2010_3/6_2010_3_nos.pdf. (24.06.2013)

97. **Stanmore EK, Oldham J, Skelton DA, O'Neill T, Pilling M, Campbell AJ, Todd C:** Fall incidence and outcomes of falls in a prospective study of adults with rheumatoid arthritis. Arthritis Care Res 65:737-744 (2013)

98. **Statistisches Bundesamt: Krankheitskosten 2002, 2004, 2006 und 2008** https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Krankheitskosten/Krankheitskosten2120720089004?__blob=publicationFile (02.05.2013)

99. **Statistisches Bundesamt: Todesursachen in Deutschland 2009** https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Todesursachen/Todesursachen2120400097004.pdf?__blob=publicationFile (10.11.2013)

100. **Statistisches Bundesamt: Todesursachen in Deutschland 2011** https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Gesundheit/Todesursachen/Todesursachen2120400117004.pdf?__blob=publicationFile (10.11.2013)

101. **Steffen TM, Hacker TA, Mollinger L:** Age- and gender-related test performance in community-dwelling elderly people: Six-Minute Walk Test, Berg Balance Scale, Timed Up & Go Test, and gait speeds. Phys Ther 82: 128-137 (2002)

102. **Stemplewski R, Maciaszek J, Salamon A, Tomczak M, Osinski W:** Effect of moderate physical exercise on postural control among 65-74 years old men. Arch Gerontol Geriatr 54: e279-e283 (2012)

103. **Stevens JA, Corso PS, Finkelstein EA, Miller TR:** The costs of fatal and non-fatal falls among older adults. Inj Prev 12: 290-295 (2006)

104. **Strobel J:** Reliabilitätsprüfung des Biodex Balance Systems. Med Dissertation, Universität Ulm (2010)

105. **Strobel J, Lübken, Fv, Spengler C, Stefanski M, Friemert B, Gottschalk A, Palm HG:** Welchen Einfluss haben Anthropometrie, sportliche Aktivität und körperliche Belastung auf stabilen Stand und Balancefähigkeit? (Abstract) Dtsch Z Sportmed 60 (2009)

106. **Strobel J, Spengler C, Stefanski M, Friemert B, Palm HG:** Influence of body constitution and physical activity on postural stability. Sportverletz Sportschaden 25: 159-166 (2011)

107. **Talbot LA, Musiol RJ, Witham EK, MEtter EJ:** Falls in young, middle-aged and older community dwelling adults: perceived cause, environmental factors and injury. BMC Public Health 5: 86-95 (2005)

108. **Thakur R, Banerjee A, Nikumb V:** Health problems among the elderly: a cross-sectional study. Ann Med Health Sci Res 3: 19-25 (2013)

109. **Thrane G, Joakimsen RM, Thronquist E:** The associoation between timed up and go test and history of falls: The Tromso study. BMC Geriatr 7: 1-7 (2007)

110. **Tinetti ME, Speechley M, Ginter SF:** Risk factors for falls among elderly persons living in the community. N Eng J Med 319: 1701-1707 (1988)

111. **Trilling JS, Tanvir Naureen:** Selections from current literature: falls in the elderly. Fam Pract 12: 482-485 (1995)

112. **Troosters T, Gosselink R, Decramer M:** Six Minute walking distance in healthy elderly subjects. Eur Respir J 14: 270-274 (1999)

113. **Tuunainen E, Rasku J, Jäntti P, Pyykkö I:** Risk factors of falls in community dwelling active elderly. Auris Nasus Larynx 41: 10-16 (2014)

114. **van Iersel MB, Munneke M, Esselink RAJ, Benraad CEM, Olde Rikkert MGM:** Gait velocity and the Timed-up-and-Go test were sensitive to changes in mobility in frail elderly patients. J Clin Epidemiol 61: 186-191 (2008)

115. **van Strien AM, Koek HL, van Marum RJ, Emmelot-Vonk MH:** Psychotropic medications, including short acting benzodiazepines, strongly increase the frequency of falls in elderly. Maturitas 74: 357-362 (2013)

116. **Vilensky JA, Cook JA, Cooper JL:** Stumbling corrective responses in healthy human subjects to rapid reverseal of treadmill direction. J Electromyogr Kinesiol 9:161-171 (1999)

117. **Whitney SL, Marchetti GF, Schade AI:** The relationship between falls history and computerized dynamic posturography in persons with balance and vestibular disorders. Arch Phys Med Rehabil 87: 402-407 (2006)

118. **Woolacott MH, Shumway-Cook A, Nashner L:** Postural reflexes and aging. The Aging motor system, Praeger New York S. 98-119 (1982)

119. **Woolacott MH, Shumway-Cook A, Nashner LM:** Aging and postural control: changes in sensory organization and muscular coordination. Int J Age Human Dev 23: 97-114 (1986)

120. **Yelnik A, Bonan I:** Clinical tool for assessing balance disorders. Neurophysiol Clin 38: 439-445 (2008)

121. **Zammit G, Wang-Weigand S, Peng X:** Use of computerized dynamic posturography to assess balance in older adults after nighttime awakenings using zolpidem as a reference. BMC Geriatr 8:15 (2008)

122. **Zhang S, Li L:** The differential effects of foot sole sensory on plantar pressure distribution between balance and gait. Gait Posture 37: 532-535 (2012)

123. **Zwick D, Rochelle A, Choksi A, Domowicz J:** Evaluation and treatment of balance in the elderly: a review of the efficacy of the Berg Balance Test and Tai Chi Quan. Neuro Rehab 15: 49-56 (2000)

7. Danksagung

Meinen ganz besonderen Dank möchte ich **Herrn Prof. Dr. Friemert** aussprechen, dafür dass er als Doktorvater und ärztlicher Leiter der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie am Bundeswehrkrankenhaus Ulm meine erste Dissertation ermöglicht hat. Im Rahmen seiner unfallchirurgischen Forschungsgruppe herrschte stets ein konstruktives Klima, dass das Erarbeiten dieser Doktorarbeit sehr erleichtert hat. Die regelmäßigen Journal Clubs mit der Möglichkeit zur Verbesserung im Halten von Vorträgen sowie ermunternder Kritik zur eigentlichen Dissertation waren eine dankbare Hilfe.

Ausdrücklich möchte ich mich bei **Herrn Dr. Hans-Georg Palm** bedanken, der mir als stets kompetenter Fachmann bei jeglichen Fragestellungen von Anfang an als Berater zur Seite stand. Durch seine unglaublich menschliche und sympathische Art war immer Verlass auf zügige Hilfe, auch wenn Auslandseinsätze oder eigene berufliche Veränderungen im Vordergrund standen. Vielen Dank für das viele Korrigieren und Probelesen, deine Kommentare waren immer Motivation weiterzumachen und die Arbeit zu verbessern.

Weiter gilt mein Dank allen **Probanden und Teilnehmern**, die sich bereit erklärten und sich die Zeit genommen haben, an dieser Studie mitzumachen. Sie alle waren der Grundstein dieser Arbeit.

Zuletzt möchte ich Danke sagen an meine Familie, insbesondere an meine Mutter **Ingrid**, die mir wo immer es ihr möglich war, "den Rücken freigehalten hat", damit ich mich auf Studium und Doktorarbeit konzentrieren konnte.

8. Lebenslauf

Lebenslauf aus Gründen des Datenschutzes entfernt.