

Universitätsmedizin Rostock

Chirurgische Klinik und Poliklinik

Abteilung für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie

Klinikdirektor: Prof. Dr. med. Th. Mittlmeier

Die Auswirkung eines modifizierten Step-Aerobic- Programms auf die posturale Kontrolle bei hochbetagten Menschen mit Osteoporose



Inauguraldissertation

zur

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

der Universitätsmedizin Rostock

vorgelegt von:

Lennart Schleese 27.07.1989

geboren in Berlin

Rostock, September 2018

https://doi.org/10.18453/rosdok_id00002586

Dekan: Prof. Dr. med. univ. Emil Christian Reisinger

Gutachter/in:

1. Prof. Dr. med. Thomas Mittlmeier
2. Univ.-Prof. Dr. habil. Sven Bruhn
3. Prof. Dr. med. Dieter Felsenberg

Datum der Einreichung: 29.10.2018

Datum der Promotion: 30.07.2019

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen	I	
Verzeichnis der Abbildungen	II	
Verzeichnis der Tabellen	IV	
1	Einleitung	1
1.1	Makroskopischer und Mikroskopischer Aufbau des Knochens	2
1.2	Störungen des Knochenstoffwechsels	3
1.3	Diagnostik der Osteoporose	4
1.4	Wirtschaftliche Auswirkungen der Osteoporose	7
1.5	Prävention von Erkrankungen	7
1.5.1	Primäre Prävention der Osteoporose	8
1.5.2	Sekundäre Prävention der Osteoporose	8
1.5.3	Tertiäre Prävention der Osteoporose	9
1.6	Kontrollmechanismen des Gleichgewichts	10
1.6.1	Das visuelle System	12
1.6.2	Das vestibuläre System	16
1.6.3	Das propriozeptive System	19
2	Ziel der Arbeit	22
3	Material und Methoden	23
3.1	Rekrutierung der Probanden	24
3.1.1	Ein- und Ausschlusskriterien der Studie	24
3.2	Studienuntersuchung	25
3.2.1	Charakterisierung der Probanden	26
3.2.2	Fragebögen zur Erfassung von Lebensqualität (QoL) und Sturzangst (FES-I)	27
3.2.3	Fahrradergometrie	29
3.2.3.1	Aufbau des Stufentests	30
3.3	Posturographie	32
3.4	Dynamometrie	34
3.5	Randomisierung	34
3.6	Das Training	35
3.6.1	Aufbau einer Trainingseinheit	35
3.7	Statistische Auswertung	36

4	Ergebnisse	37
4.1	Lebensqualität (QoL)	37
4.2	Sturzangst (FES-I)	39
4.3	Posturographie	39
4.4	Schrittzählertagebücher	44
4.5	Time up and go-Test (TUG)	45
5	Diskussion	46
5.1	Auswertung der Fragebögen zur Lebensqualität und Sturzangst	46
5.2	Auswirkungen des Trainingsprogramms auf die posturale Kontrolle	50
5.3	Grenzen der vorliegenden Studie und Ausblick	55
6	Zusammenfassung	58
7	Thesen	59
8	Literatur	60
9	Anhang	70
10	Danksagung	86
11	Curriculum Vitae	87
12	Selbstständigkeitserklärung	88

Verzeichnis der Abkürzungen

Abb.	Abbildung
Ca	Karzinom
Diss.	Dissertation
DVO	Dachverband Osteologie e.V.
FES-I	Falls Efficiency Scale - International Version - Sturzangst
iGeL	individuelle Gesundheitseigenleistung
kg	Kilogramm
max.	maximum
min	Minute(n)
min.	minimum
mind.	mindestens
Mio.	Million
ml	Milliliter
Mrd.	Milliarden
Ncl.	Nucleus
OSP	Olympia-Stützpunkt-Rostock
Pkt.	Punkt(e)
QoL	Quality of life - Lebensqualität
S.	Seite
Tab.	Tabelle
TUG	Time up and go-Test
t ₀	0 Monate
t ₁	3 Monate
t ₂	6 Monate
U	Umdrehungen

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1 Mikroskopischer Aufbau der Knochenmatrix modifiziert nach Prometheus
- Abb. 2 Einteilung der Osteoporose
- Abb. 3 Diagnostischer Pfad der Osteoporose
- Abb. 4 Der Einfluss der Vestibulariskerne auf die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts
- Abb. 5 Funktioneller Aufbau der Retina
- Abb. 6 Schematische Darstellung der Sehbahn
- Abb. 7 Bahnen des visuellen Systems
- Abb. 8 Das Gleichgewichtsorgan
- Abb. 9 Der Vestibulariskernkomplex
- Abb. 10 Das vestibuläre System
- Abb. 11 Mechanorezeptoren des propriozeptiven Systems
- Abb. 12 Die propriozeptiven Systeme der Peripherie
- Abb. 13 Das Studiendesign im Überblick
- Abb. 14 Messprotokoll für den 5-stufigen Fahrradergometerer test
- Abb. 15 Versuchsaufbau der Posturographie
- Abb. 16 Prinzip der Datenverarbeitung der Posturographie
- Abb. 17 Auswertung des QoL Fragebogens
- Abb. 18 Ergebnisse des FES-I Fragebogens
- Abb. 19 Ergebnisse der Posturographie zu den Bedingungen - stabiler Untergrund und Augen geöffnet

- Abb. 20 Ergebnisse der Posturographie zu den Bedingungen -
stabiler Untergrund und Augen geschlossen
- Abb. 21 Ergebnisse der Posturographie zu den Bedingungen -
instabiler Untergrund und Augen geöffnet
- Abb. 22 Ergebnisse der Posturographie zu den Bedingungen -
instabiler Untergrund und Augen geschlossen
- Abb. 23 Auswertung der Schrittzählertagebücher der Kontrollgruppe
- Abb. 24 Dynamic Gait Index

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1	Einteilung der Osteoporose
Tab. 2	Einteilung der Präventionstypen
Tab. 3	Anthropometrische Charakteristiken der Probanden
Tab. 4	Auswertung des TUG-Tests
Tab. 5	Übersicht von Messgeräten zur Bestimmung der dynamischen posturalen Kontrolle

in Gedenken an meinen Opa

Dr. med. Klaus-Dieter Rambow

1 Einleitung

Das aus Knochen und Gelenken bestehende Skelett gibt dem Organismus Form und Halt, schützt die inneren Organe (Thoraxorgane, Rückenmark, Gehirn) und ist als Anheftungspunkt für Sehnen und Muskeln Voraussetzung für Bewegungen und Beweglichkeit (Aumüller 2010, Schünke 2007).

Der Knochen ist zeitlebens stoffwechselaktiv und wird in Reaktion auf Belastungen umgebaut. Während des Wachstums und der körperlichen Entwicklung, aber auch noch bis in das junge Erwachsenenalter (ca. 30. Lebensjahr) überwiegt der Knochenaufbau. Der Zeitpunkt mit der höchsten Knochenmasse (Peak Bone Mass) ist etwa mit dem 30. Lebensjahr erreicht (DVO Leitlinien 2014).

Mit zunehmenden Alter nimmt auch der Verlust von Knochenmasse zu und das Risiko für Frakturen steigt ab der Menopause (Frauen) bzw. dem 75. Lebensjahr (Männer) an (Pietschmann et al. 2009; Ferrucci et al. 2014). Parallel führt die zunehmende Sarkopenie zu einer Schwächung der muskuloskelettalen Einheit (Ferrucci et al. 2014).

Die Knochenqualität, also das Zusammenspiel aus organischer und anorganischer Matrix, die Mikroarchitektur, die Geometrie, die räumliche Anordnung der Trabekel und nicht zuletzt die Zahl und Interaktion der Osteoklasten und Osteoblasten, ist aufgrund des großen analytischen Aufwands nur eingeschränkt messbar. Lediglich die Beobachtung über einen längeren Zeitraum und die Entwicklung von Kraft, Knochendichte und eventuell auch Sturzhäufigkeiten kann näherungsweise Aufschluss über den funktionellen Zustand der muskuloskelettalen Einheit geben (Brandi 2009; Seeman and Delmas 2006). Die muskuloskelettale Einheit ist entscheidend für die Bewältigung des unabhängigen Alltags mit seinen verschiedenen Anforderungen an die selbstständige Haushaltsführung (Ferrucci et al. 2014).

Ein Sportprogramm, welches die muskuloskelettale Einheit so trainiert, dass das komplexe Anforderungsprofil des Alltags, wie z.B. Treppensteigen, Einkaufen gehen oder einer Straßenüberquerung, bewältigt werden kann, ist nur schwer zu erstellen. Jedoch lassen sich Teile integrieren, die sowohl wesentlicher Bestandteil des Alltags sind, als auch Trainingseffekte aufweisen. Ein Beispiel stellt das Treppensteigen dar, wobei es sich um eine Kombination neuronaler und muskuloskelettaler Anforderungen handelt, bei dem das bis zu 1,3-fache des

eigenen Körpergewichts auf den Körper wirkt (Stacoff et al. 2005; Verschueren et al. 2011).

1.1 Makroskopischer und mikroskopischer Aufbau des Knochens

Neben der physiologischen Komponente als Teil des Bewegungsapparates dient der Knochen als aktiver Calcium- und Phosphatspeicher. Der mikroskopische Aufbau ist in Abb. 1 schematisch dargestellt (Lüllmann-Rauch 2009).

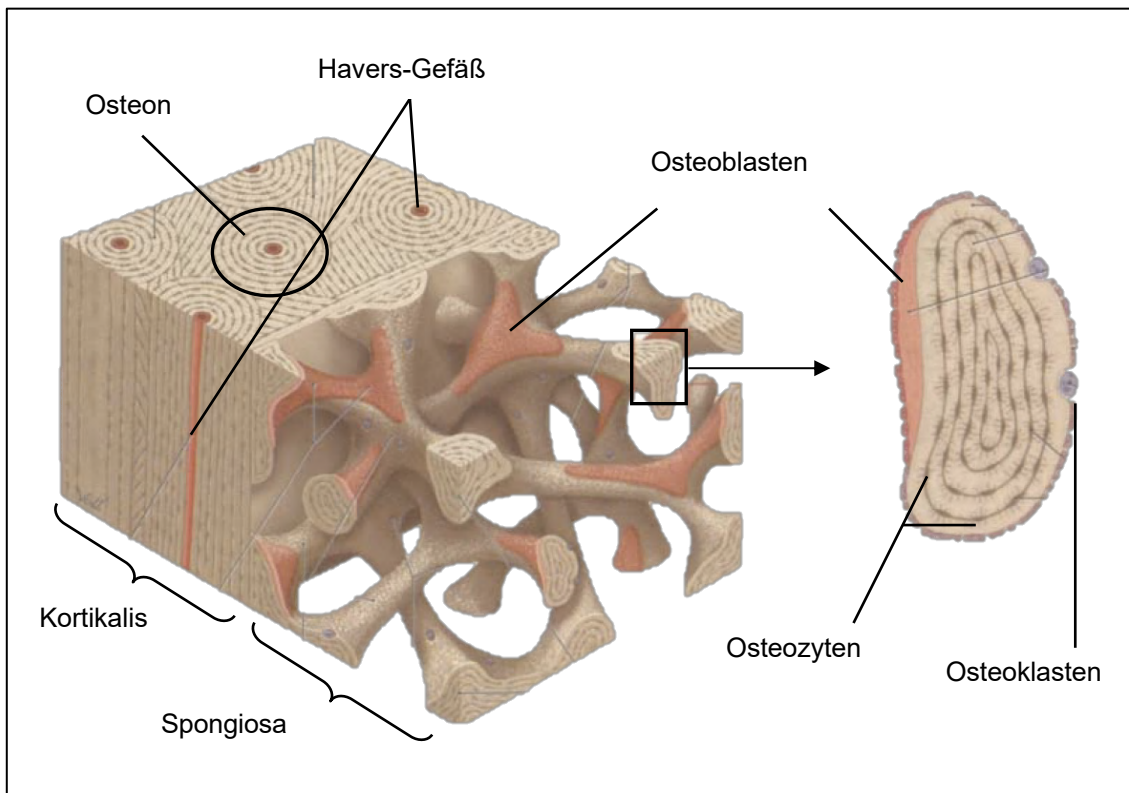


Abb. 1: Mikroskopischer Aufbau der Knochenmatrix modifiziert nach Prometheus (Schünke 2007; S.17)

Die Kortikalis (Substantia compacta), eine stabile, nur wenige Millimeter breite äußere Schicht, wird von einem dicht verzweigten Netz dünner Trabekel (Substantia spongiosa) durchzogen. Der verbleibende Hohlraum entspricht dem Markraum (Cavum medullare). In das Knochengewebe sind Osteozyten eingebettet, die über Blutgefäße versorgt werden. Eine funktionelle Grundeinheit aus Osteozyten und zentralem Havers-Gefäß wird als Osteon bezeichnet (Lüllmann-Rauch 2009; Schünke 2007).

Auf zellulärer Ebene unterscheiden sich Osteoblasten (mesenchymale Reihe) und Osteoklasten (hämatopoetische Reihe). Die Interaktion beider Zelltypen ist

Voraussetzung für die terminale Differenzierung und Aktivierung der Osteoklasten und reguliert den Auf- und Abbau der Knochenmatrix. Terminal differenzierte Osteoblasten (Osteozyten) dienen mit ihren Dendriten als Mechanosensoren und regulieren den Knochenumbau (Lüllmann-Rauch 2009; Schünke 2007).

1.2 Störungen des Knochenstoffwechsels

Eine der bedeutendsten Störungen des Knochenstoffwechsels ist die Osteoporose. Aufgrund einer Dysbalance des Knochen-Remodellings kommt es zu einem Knochenmasseverlust mit gestörter Mikroarchitektur des Trabekelgeflechtes und einer konsekutiv verminderten Knochenqualität mit erhöhtem Frakturrisiko (Lange, Zeidler, and Braun 2014; DVO Leitlinien 2014).

Neben Alter und Geschlecht sind weitere intrinsische und extrinsische Faktoren an der Entstehung der Osteoporose beteiligt. Zu den intrinsischen Faktoren werden u.a. muskuloskelettale, neuronale oder sensorische Erkrankungen (Abb. 2), sowie der Gebrauch von Medikamenten gezählt. Extrinsische Faktoren sind vor allem Umwelteinflüsse, z.B. Sonnenexposition (Madureira et al. 2007; Granacher, Muehlbauer, et al. 2011).

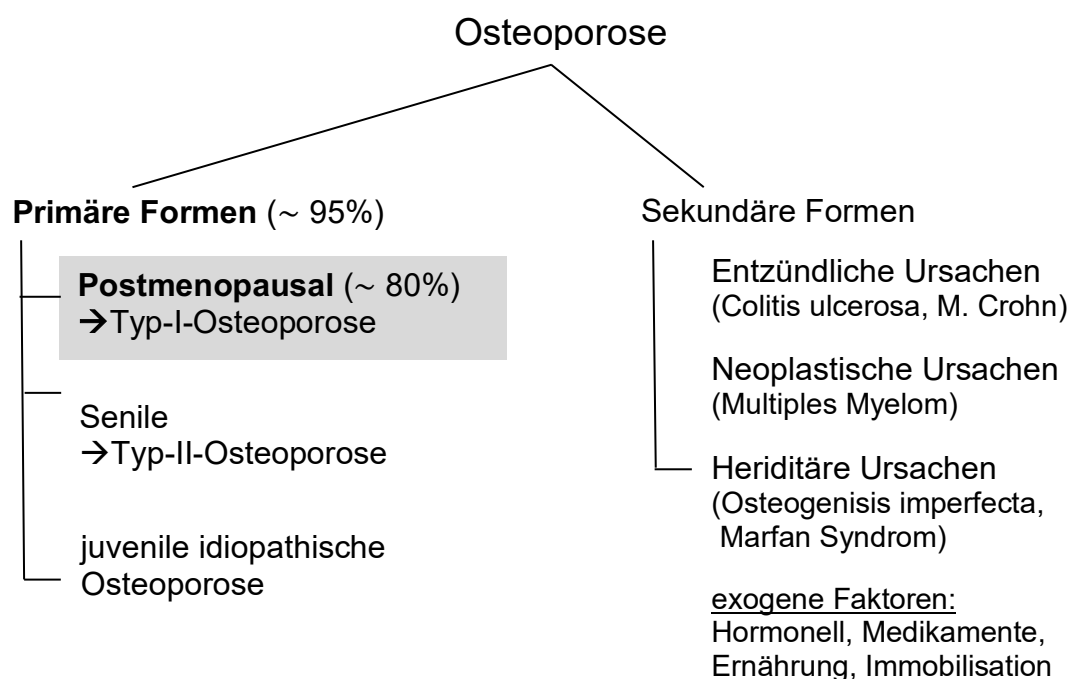


Abb. 2: Einteilung der Osteoporose (Ringe 1991)

In Abb. 2 ist die Klassifikation von primärer und sekundärer Osteoporose schematisch dargestellt (Ringe et al. 1991).

1.3 Diagnostik der Osteoporose

Trotz einer hohen Zahl betroffener Patienten werden in Deutschland lediglich ein Fünftel der Osteoporosepatienten leitliniengerecht behandelt (Robson, Schwander, and Zoellner 2017).

Die Abnahme der Knochenmasse ist in der Regel ein schleichender Prozess und verläuft klinisch meist inapparent. Betroffene fallen häufig durch osteoporosespezifische Frakturen, also insbesondere Frakturen des proximalen Femurs, des proximalen Humerus, des distalen Radius nach einem Sturz auf (Häussler et al. 2007; Niedhart, Preising, and Eichhorn 2013). Auch die Beckenringfraktur als Folge eines niedrigrasants Traumas zählt zu den Indikatoren einer Osteoporose (Oberkircher et al. 2018). Seltener sind Frakturen ohne adäquates Trauma. Meist handelt es sich dann um pathologische Frakturen der Wirbelkörper (Impressions-, Stauchungs- oder Kompressionsfrakturen), die asymptomatisch sein können, sich aber auch durch akute oder im Verlauf chronische Rückenschmerzen manifestieren (Bleibler et al. 2014). Weitere äußere Merkmale kann neben der kontinuierlichen Abnahme der Körpergröße eine zunehmende Kyphose sein, was zu funktionellen Einschränkungen (z.B. Dyspnoe, gastroösophageale Refluxkrankheit) führen kann (Miyakoshi et al. 2009).

Bei unklaren Rückenschmerzen oder zum Ausschluss einer Pneumonie fallen in konventionellen Röntgenuntersuchungen nicht selten auch Knochendichteminderungen auf. Durch die gesteigerte Strahlentransparenz imponieren in diesen Fällen die Wirbelkörper mit verminderten trabekulären Strukturen und der dichteren äußeren Kortikalis wie ein Bilderrahmen. Andere röntgenologische Zeichen sind Keil- oder Plattwirbel, Deck- und Grundplatteneinbrüche oder eine auffällige vertikale Zeichnung der Spongiosa (Greten 2010).

In Abb. 3 ist beispielhaft ein möglicher diagnostischer Pfad zur Sicherstellung der Verdachtsdiagnose Osteoporose, in Anlehnung an die aktuellen Leitlinien der DVO, aufgeführt. Medikamente, Ernährungsgewohnheiten und körperliche Aktivitäten sind neben Frakturen weitere Schwerpunkte in der Anamneseerhebung (DVO Leitlinien 2014).

Klinische Tests (z.B. Time up and go-Test oder Chair-Raising-Test) geben rasch Aufschluss über die körperliche Leistungsfähigkeit, die bei Patienten mit fortgeschrittener Osteoporose häufig eingeschränkt ist.

Eine laborchemische Blutuntersuchung dient in erster Linie zum Ausschluss anderer Erkrankungen, die zu einer sekundären Osteoporose führen könnten (Abb. 2). Dazu zählen z.B. die Bestimmungen von CRP, BSG, basalem TSH, Kreatinin und γ -GT. Laborwerte der primären Osteoporose sind meistens unauffällig (Calcium, Phosphat, Alkalische Phosphatase, Parathormon). Lediglich ein Vitamin-D Mangel kann hier, als ein allerdings eher unspezifisches Zeichen, einen Hinweis geben (DVO Leitlinien 2014; Osteoporose).

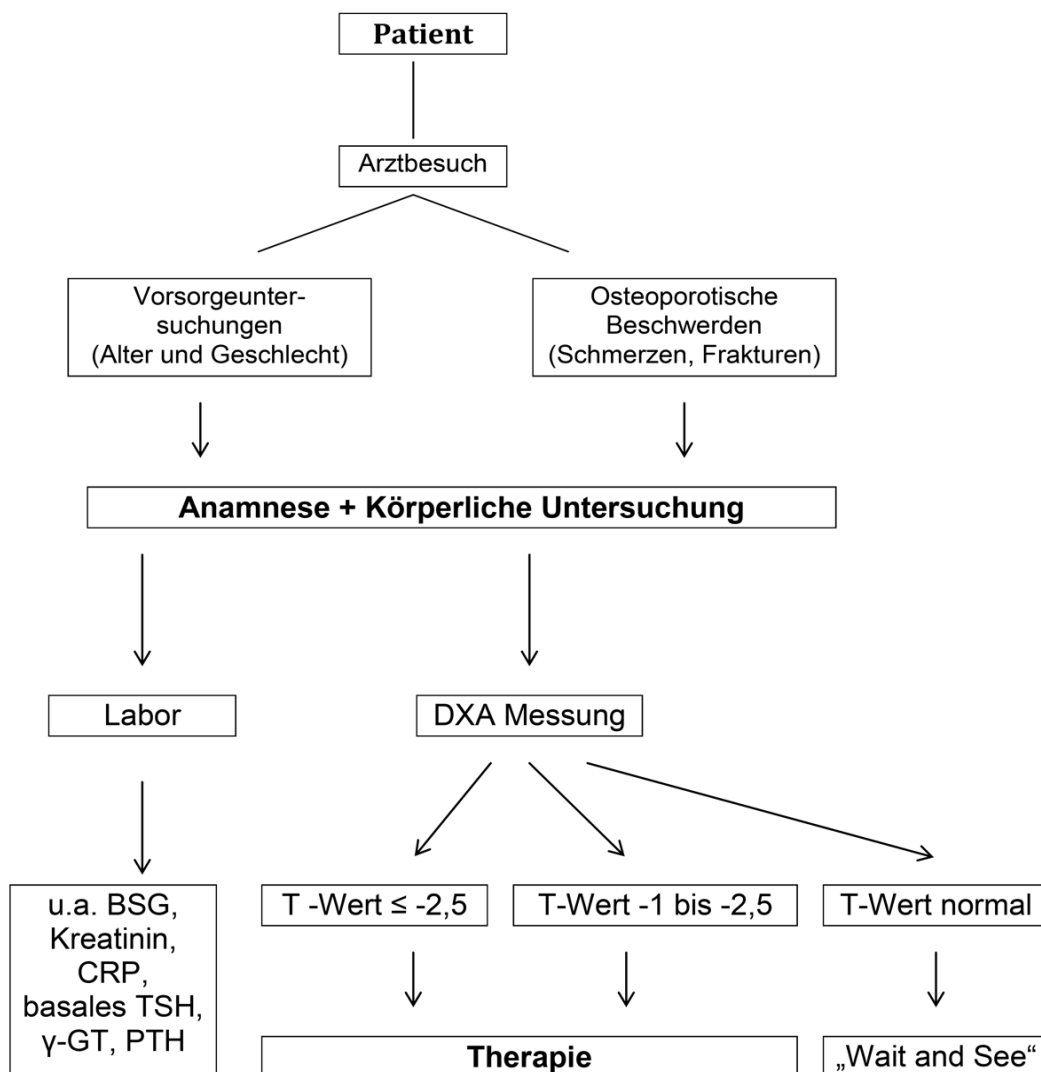


Abb. 3: Diagnostischer Pfad der Osteoporose

Ein möglicher diagnostischer Pfad der Osteoporose in Anlehnung an die DVO Leitlinien von 2014

Besteht der dringende Verdacht auf eine Knochendichteminderung (Osteopenie), dann ist die röntgenologische Diagnostik Goldstandard. Die Dual-Energy-Röntgen-Absorptiometrie - kurz DEXA-Messung - ist eine von der WHO anerkannte, empfohlene und standardisierte Untersuchung. Allerdings wird in Deutschland von den gesetzlichen Krankenkassen (ca. 50,- € pro Untersuchung) nur bei einem deutlichen Hinweis auf das Vorliegen einer Osteoporose (insbesondere bei osteoporosebedingten Frakturen) erstattet. Für die Kosten der Vorsorgeuntersuchung zur Früherkennung der Erkrankung muss der Patient eigenständig aufkommen (Verbaucherzentrale 2017).

Mit Hilfe der quantitativen Computertomografie besteht ebenfalls die Möglichkeit der Knochendichtebestimmung, allerdings bei einer deutlich höheren Strahlenbelastung (DVO Leitlinien 2014).

Bei beiden Verfahren werden mehrere Lendenwirbelkörper (LWK 1 - 4) sowie der Oberschenkelhals unter standardisierten Bedingungen untersucht. Aus den Grauwerten der Röntgenbilder relativ zu denen einer Probe mit definiertem Phosphatgehalt („Phantom“) kann auf den Calciumphosphatgehalt in der untersuchten Region geschlossen werden. Das Ergebnis wird als vielfaches der Standardabweichung von der Peak Bone Mass gesunder 30-jähriger Probanden gleicher Ethnie und gleichen Geschlechts als T-score angegeben. Die Grenzwerte für die Klassifikation der Befunde sind in Tab. 1 dargestellt (Pietschmann et al. 2009; Ferrucci et al. 2014; DVO Leitlinien 2014; Kanis et al. 2009).

Tab. 1: Einteilung der Osteoporose (nach DVO Leitlinien 2014 in Anlehnung an die Klassifikation der WHO (Kanis et al. 2009))

T-score	Klassifikation
≥ -1	Normalbefund
-1 bis -2,5	Osteopenie
$\leq -2,5$	Osteomalazie
$\leq -2,5$ und Frakturen	Manifeste Osteoporose

1.4 Wirtschaftliche Auswirkungen der Osteoporose

In Deutschland leiden geschätzt mehr als 8 Millionen Menschen unter einer behandlungsbedürftigen Hypomineralisierung des Knochens und die wirtschaftliche Bedeutung der Osteoporose ist für die Krankenhäuser ähnlich hoch wie die von z.B. Diabetes mellitus, Myokardinfarkt und Mamma-Ca (Häussler et al. 2007; Lange, Zeidler, and Braun 2014).

Für die stationäre Versorgung der 16 häufigsten Frakturtypen entstehen in Deutschland Kosten von rund 2,4 Mrd. Euro jährlich. Knapp 900 Mio. Euro fallen davon für osteoporosebedingte Frakturen (v.a. proximale Femurfrakturen) an (Bleibler et al. 2014).

Betrachtet man den langen Weg von der Operation bis zur Rehabilitation, liegen die Behandlungskosten je nach Frakturtyp zwischen 10.000 - 15.000 Euro pro Patient und Fraktur (Häussler et al. 2007). Daher kommt der Prävention der Osteoporose und ihrer Folgen große Bedeutung zu.

1.5 Prävention von Erkrankungen

Unabhängig von der Erkrankung werden im Allgemeinen drei Formen der Prävention unterschieden (Tab. 2).

Tab. 2: Einteilung der Präventionstypen (DGNP)

	Ziel
Primäre Prävention	Das Auftreten einer Erkrankung durch bewusste Vermeidung schädigender Faktoren zu verhindern bzw. hinaus zu zögern
Sekundäre Prävention	Die Erkrankung durch Vorsorgeuntersuchungen in einem frühen Stadium zu detektieren, leitliniengerecht zu behandeln und die Progression zu verzögern bzw. verhindern
Tertiäre Prävention	Den Progress (z.B. Frakturen) einer bereits manifesten Erkrankung zu protraieren

1.5.1 Primäre Prävention der Osteoporose

Neben der Anpassung des Lebensstils gehört eine ausgewogene Ernährung mit der Zufuhr von mindestens 1.000 mg Kalzium und bis zu 2.000 IE Vitamin D täglich. Besonders in den nördlichen Gebieten von Europa, also auch in Deutschland, ist von einer unzureichenden ganzjährigen Vitamin-D Synthese über die Haut auszugehen. Deshalb wird Menschen ab dem 50. Lebensjahr eine Substitution insbesondere in den Wintermonaten empfohlen (DVO Leitlinien 2014).

Zusätzlich ist auf eine ausreichende körperliche Aktivität zu achten. Der Aufbau von Muskeln und die regelmäßige Belastung der Knochen steigern nicht nur Koordination und Ausdauer, sondern regen auch den Knochenstoffwechsel an. Auf die Einnahme von Medikamenten, die im Zusammenhang mit einer entweder eingeschränkten Resorption von Kalzium (z.B. Protonenpumpeninhibitoren) oder einem gesteigerten Abbau von Knochenmasse (z.B. Glukokortikoide) stehen, kann meist aufgrund bestehender Begleiterkrankungen verzichtet werden. Umso wichtiger ist deshalb die begleitende orale Gabe mit z.B. Calcimagon D3 im Sinne einer primären Osteoporoseprophylaxe (DVO Leitlinien 2014; Greten 2010; Qaseem et al. 2017).

1.5.2 Sekundäre Prävention der Osteoporose

Bei einer manifesten Osteoporose werden neben der in 1.5.1 aufgeführten Basistherapie Medikamente mit einer fraktur-reduzierenden Wirkung empfohlen. Dabei unterscheidet sich die Behandlung postmenopausaler Frauen und Männer ab dem 60. Lebensjahr von Patienten mit einer sekundären Osteoporose (Villa et al. 2016).

Bei postmenopausalen Frauen haben die Bisphosphonate (Alendronat, Risedronat, Ibandronat, Zoledronat), Bazedoxifen, Denosumab (humanisierter monoklonaler IgG₂- Antikörper gegen RANK- L), Parathormon / Teriparatid, Östrogen, Raloxifen (selektiver Östrogenrezeptor-Modulator) oder Strontiumranelat eine nachgewiesene fraktur-reduzierende Wirkung für mindestens 3 - 5 Jahre (Villa, Gianakos, and Lane 2016).

Zu den am häufigsten verschriebenen Präparaten gehören die Bisphosphonate, deren Aufnahme oral erfolgt. Dabei verhindern sie durch die direkte Bindung an der Knochenoberfläche den Abbau der Knochenmatrix. Leider besitzen die Bisphosphonate eine Vielzahl an Nebenwirkungen, die neben

gastroösophagealen Beschwerden, neurologischen Auffälligkeiten (z.B. Schwindel, Übelkeit) und Gelenk- und Muskelschmerzen zu einer schlechteren Therapieadhärenz führen können. Seltener, aber diffizilere Komplikationen, stellen Knochennekrosen am Kiefer, atypische Femurfrakturen oder Ösophaguskarzinome dar (Villa, Gianakos, and Lane 2016; Niedhart, Preising, and Eichhorn 2013; DVO Leitlinien 2014).

Je nach Risikoprofil und der Schwere der manifesten Osteoporose wird mit anderen der o.g. Präparate eine osteoprotektive Behandlung begonnen (DVO Leitlinien 2014). Das Strontiumranelat wird z.B. bei schweren Formen der primären Osteoporose mit einem hohen Frakturrisiko (bei postmenopausalen Frauen sowie Männern) eingesetzt, wenn die Einnahme anderer Präparate aufgrund von Kontraindikationen oder Unverträglichkeiten nicht indiziert ist (Qaseem et al. 2017; Villa, Gianakos, and Lane 2016; DVO Leitlinien 2014). Bei der Gabe von Östrogen, welches einen positiven Effekt auf die Osteoporose hat, muss beachtet werden, dass nicht hysterektomierte Frauen stets ein Gestagen erhalten, um einem Endometrium-Ca als Nebenwirkung vorzubeugen (Qaseem et al. 2017; DVO Leitlinien 2014).

Bei Männern ab dem 60. Lebensjahr sind nur einige der genannten Präparate (Alendronat, Risedronat, Zoledronat, Tertrapid) zugelassen (DVO Leitlinien 2014).

Bei der Behandlung einer sekundären Osteoporose erfolgt in erster Linie die Behandlung der Grunderkrankung, was zu einem Ausgleich des Knochenmasseverlustes führt. Bei einigen Erkrankungen, wie z.B. dem Multiplen Myelom ist eine begleitende osteoprotektive Behandlung empfehlenswert. Bereits beim Nachweis einer Osteolyse ist die Gabe von Bisphosphonaten (u.a. Zoledronat) nach einer obligatorischen Risikoabschätzung (regelmäßige zahnärztliche Untersuchungen, Kontrolle der Nierenfunktion) indiziert (DGHO).

1.5.3 Tertiäre Prävention der Osteoporose

Die tertiäre Prävention dient der Vermeidung von Komorbiditäten. Bei einer manifesten Osteoporose geht es um die Vermeidung von Frakturen, die entweder ohne adäquates Trauma (spontan) oder als Folge eines direkten Traumas auftreten können (DVO Leitlinien 2014; Schröder et al. 2012; Qaseem et al. 2017).

Bis zu 50% der Frakturen im klinischen Alltag sind auf Stürze zurückzuführen (Wildner et al. 2002). Daher sollten im Alltag einfache Verhaltensregeln zur Sturzprophylaxe, wie z.B. das Tragen geeigneten Schuhwerks, ausreichende Beleuchtung, Absicherung bei der Benutzung von Trittleitern, etc. eingehalten werden, da hier insbesondere für ältere Menschen die höchste Unfallgefahr besteht (Blain et al. 2014; Donath et al. 2016). Wenn eine Fraktur aufgetreten ist, sollte diese in der Regel operativ versorgt werden, um eine möglichst schnelle Mobilisierung zu ermöglichen. Insbesondere Frakturen der langen Röhrenknochen werden zumeist belastungsstabil, manchmal frakturbedingt auch nur übungsstabil, versorgt. Bei Wirbelkörperfrakturen mit geringer Dislokation kann anfangs eine konservative Therapie mit bedarfsgerechter Schmerzmedikation und Physiotherapie angestrebt werden. Bei Beschwerdepersistenz oder der Gefahr, umgebende Strukturen zu schädigen, wird die operative Versorgung forciert, die häufig zu einer schnellen Schmerzlinderung führt (DVO Leitlinien 2014; Greten 2010).

Chronische Schmerzen, eine eingeschränkte Mobilität und die daraus resultierende Abnahme sozialer Kontakte führen häufig zu Depressionen und somit zu einer deutlichen Verschlechterung der Lebensqualität. Dieser Circulus vitiosus sollte durch geeignete psychologische und / oder schmerztherapeutische Behandlung durchbrochen werden (P Lips et al. 1999; Paul Lips and van Schoor 2005). Neben den frakturbedingten Schmerzen und der dadurch bedingten gesteigerten Immobilisation sind Folgeerkrankungen, wie z.B. Thrombosen, Lungen- und Harnwegsentzündungen bis hin zu Dekubitalgeschwüren (bei langer Immobilität), mit Verlust der Selbstständigkeit häufig (Häussler et al. 2007; Wildner et al. 2002; Osnes et al. 2004).

Körperliche Defizite begünstigen Stürze und damit indirekt das Risiko für weitere Frakturen. Daher ist eine ausreichende körperliche Aktivität, auch nach einem Sturz, eine einfache Möglichkeit der Prophylaxe (Grobe et al. 2017).

1.6 Kontrollmechanismen des Gleichgewichts

Parallel zum altersbedingten physischen Abbau durch Schwächung der muskuloskelettalen Einheit kommt es zu strukturellen und funktionellen Veränderungen des zentralen und peripheren Nervensystems. Diese Veränderungen betreffen auch die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts - die posturale Kontrolle (Madureira et al. 2007).

An der aufrechten Körperhaltung sind verschiedene Systeme beteiligt, die sich gegenseitig durch eine Vielzahl sensomotorischer Informationen beeinflussen und kontrollieren. Zu den wichtigsten Informationseingängen zählen das visuelle, das vestibuläre und das propriozeptive System (Abb. 4) (Mahboobin et al. 2005).

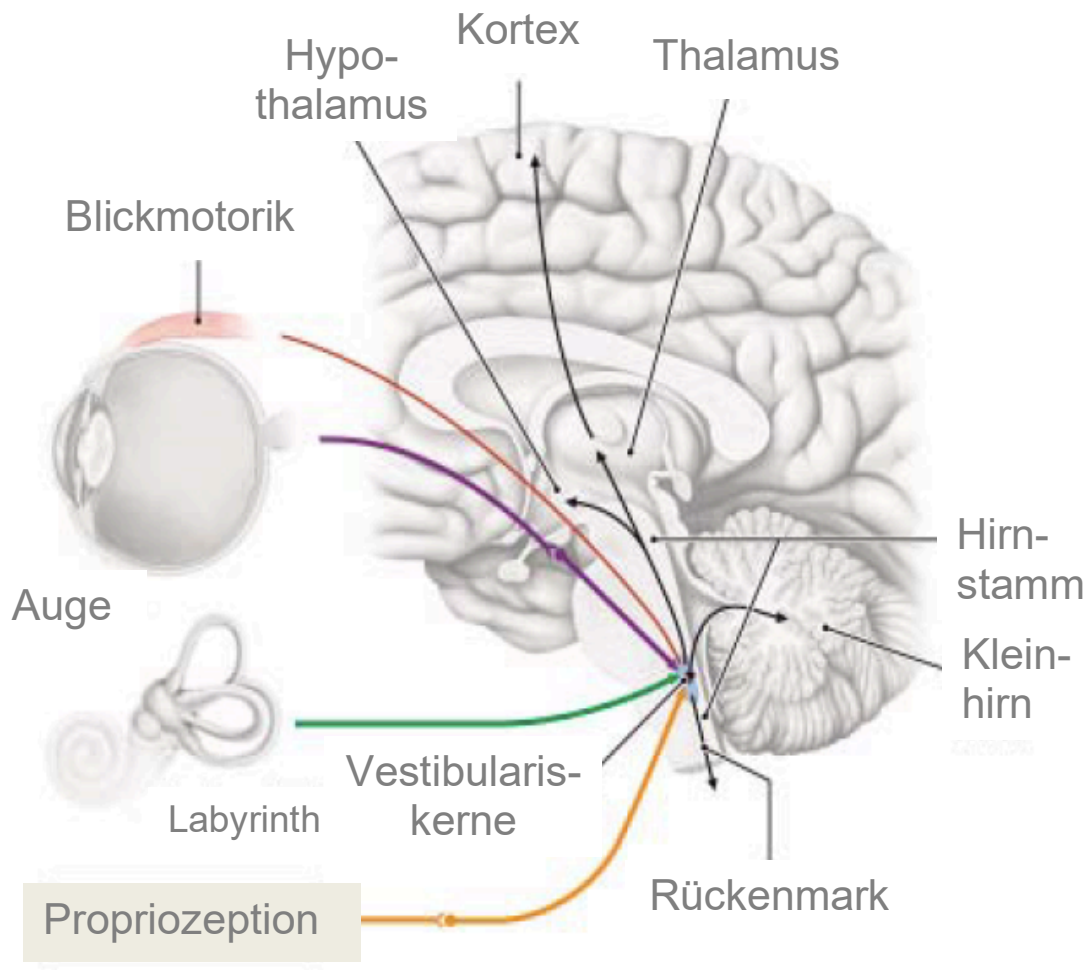


Abb. 4: Der Einfluss der Vestibulariskerne an der Aufrechterhaltung des Gleichgewichts (Aumüller 2010; S. 1134)

visuelle Afferenzen - violett, vestibuläre Afferenzen - grün, propriozeptive Afferenzen - orange, rot markierte Efferenzen - reflektorische Blickmotorik, schwarz markierte Efferenzen mit Verbindungen zum Kleinhirn, Hirnstamm, Rückenmark, Kortex, Thalamus und Hypothalamus

Trotz innerer und äußerer Veränderungen der Umwelt, schaffen es diese Systeme auf unterschiedliche Weise, das Gleichgewicht aufrecht zu erhalten und flexibel anzupassen (Goodworth, Mellodge, and Peterka 2014).

1.6.1 Das visuelle System

Eine besonders wichtige Rolle in der posturalen Kontrolle wird dem visuellen System zugeschrieben. Bei Schwankungen in der aufrechten Körperhaltung, z.B. aufgrund eines instabilen Untergrunds, ist das visuelle System der effektivste Korrekturmechanismus (Mahboobin et al. 2005).

Allerdings nimmt auch das Sehvermögen mit zunehmendem Alter ab. Hiervon sind insbesondere das Erkennen von Konturen, Tiefenschärfe und Kontrasten betroffen (Grossniklaus et al. 2013).

Das Auge ist durch die gebogene Hornhaut und die dahinter befindliche Linse in der Lage einen relativ großen Bereich der Umwelt auf einen sehr kleinen Bereich der Netzhaut zu fokussieren. Die Krümmung der Linse wird durch kleine Muskeln moduliert und der Lichteinfall über die Iris reguliert. Dadurch werden, je nach Entfernung und vorhandenem Licht, immer optimale Bedingungen für ein scharfes Bild auf der Retina geschaffen. Die Retina ist für die Aufnahme der Sinneseindrücke verantwortlich. Sie besteht aus zehn Schichten, wobei es einen lichtempfindlichen (Pars optica) und einen lichtunempfindlichen Teil (Pars caesca und Pars iridica) gibt. Die photosensiblen Zellen bilden die unterste Schicht der Retina und wandeln das eintreffende Licht in neuronale Signale um. Die darüberliegenden Schichten dienen der ersten Filterung und vermeiden eine Reizüberflutung des visuellen Kortex (Abb. 5) (Felleman and Van Essen et al. 1991).

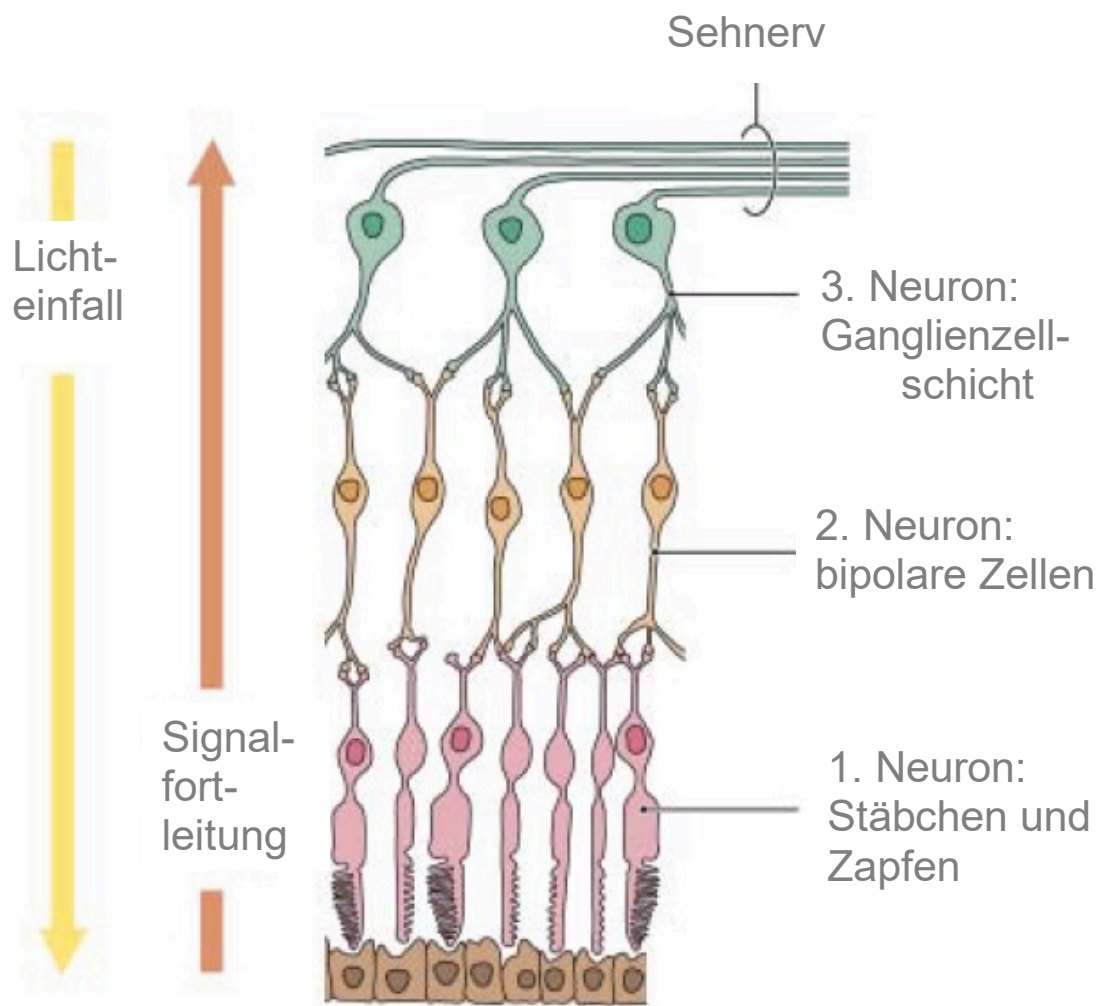


Abb. 5: Funktioneller Aufbau der Retina

Das einfallende Licht trifft auf photosensible Zellen der untersten Schicht. Informationsaufarbeitung über neuronale Verschaltungen (2. und 3. Neuron) der darüberliegenden Schichten bis zum topografischen Zusammenschluss zum N. opticus (Schünke 2009; S. 153).

Die Zellen der obersten Retinaschicht bilden mit ihren Fasern schließlich den Sehnerv (N. opticus), der bis zum Sehzentrum seine Topographie beibehält.

Oberhalb des Türkensattels (Sella turcica) in der mittleren Schädelgrube verbinden sich über eine kurze Distanz die Sehnerven beider Seiten miteinander (Chiasma opticum). Fasern der nasalen Quadranten der Retina kreuzen auf die Gegenseite und verbinden sich mit temporalen Anteilen der Gegenseite zur Sehbahn (Tractus opticus). Damit wird ein Bild, das von beiden Augen mit leichter

Abweichung registriert wird, neuronal zu einem Sinneseindruck zusammengefasst (Abb. 6)(Felleman and Van Essen).

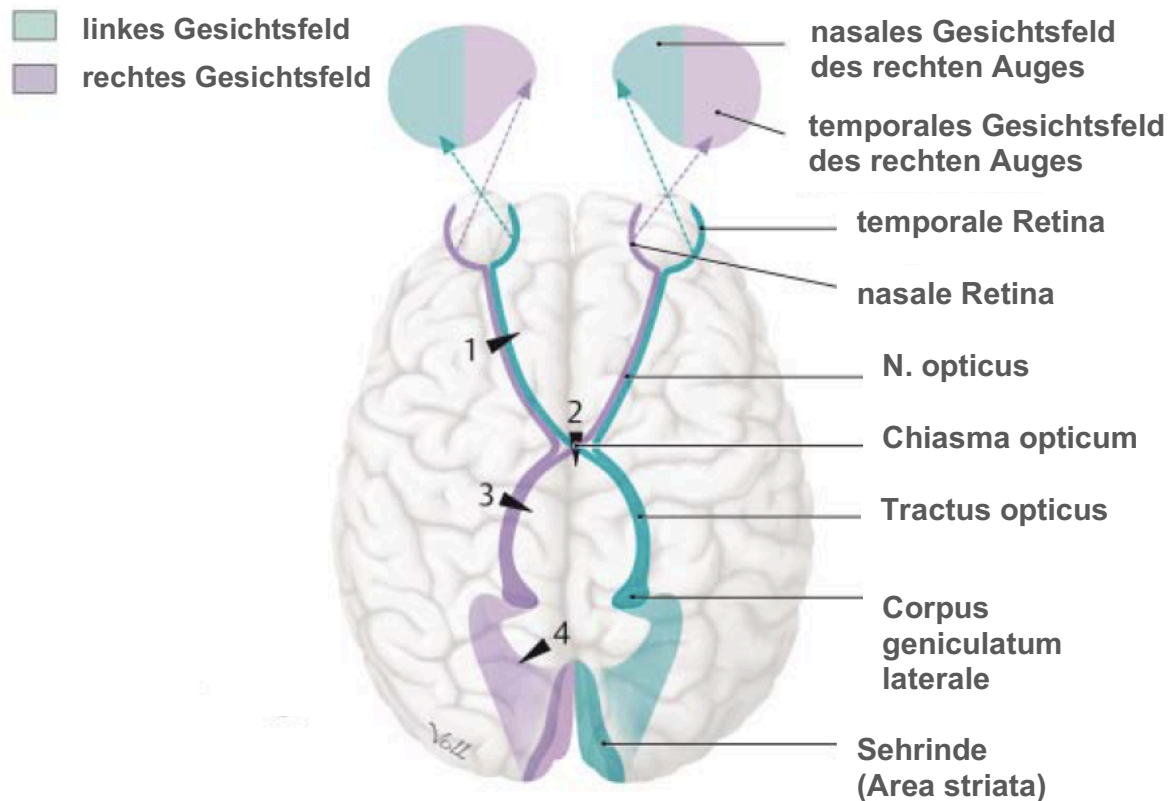


Abb. 6: Schematische Darstellung der Sehbahn

Linkes Gesichtsfeld grün, rechtes Gesichtsfeld violett markiert (Aumüller 2010, S. 1119)

Nach dem Zusammenschluss zieht die Sehbahn bis zum seitlichen Kniehöcker (Corpus geniculatum laterale) - einem Teil des Thalamus - weiter.

Ein Großteil der Fasern endet vorläufig im primären visuellen Kortex (primäre Sehrinde, Area striata), in dem die erste topographische Wahrnehmung der Umwelt erfolgt. In der angrenzenden sekundären Sehrinde (Area parastriata) dagegen werden den Sinneseindrücken Erinnerungen und Muster gegenübergestellt, ausgewertet und erkannt (Abb. 7)(Felleman and Van Essen et al. 1991).

Aus dem visuellen Kortex bestehen Vernetzungen in bis zu 30 weitere Regionen des Gehirns. Ein Teil ist für die Koordination der Augenbewegungen im Frontallappen zuständig, während sich andere Teile mit dem Hör- und Sehzentrum, sowie mit motorischen und sensorischen Zentren verbinden. Diese

komplexe Sinnesverarbeitung ermöglicht Tätigkeiten wie z.B. das Schreiben und Lesen (Felleman and Van Essen et al. 1991).

Noch vor dem Erreichen der Großhirnrinde projizieren sich auch einige Anteile des Tractus opticus in andere Bereiche des Gehirns.

Einige Fasern ziehen ins Mittelhirn. Dort befinden sich die oberen Hügelchen (Colliculi superiores) und die prätektale Region (Area prätektalis), die von enormer Bedeutung für die vegetativ beeinflusste Pupillenmotorik und die Steuerung der Blickmotorik sind (J. Huppelsberg 2009; Larry Squire, Floyd E. Bloom, Nicholas C. Spitzer, Darwin Berg, Sascha du Lac 2008).

Funktionelle und strukturelle Veränderungen der Augenfunktion führen unweigerlich zu einem gesteigerten Stolper- bzw. Sturzrisiko (Blain et al. 2014).

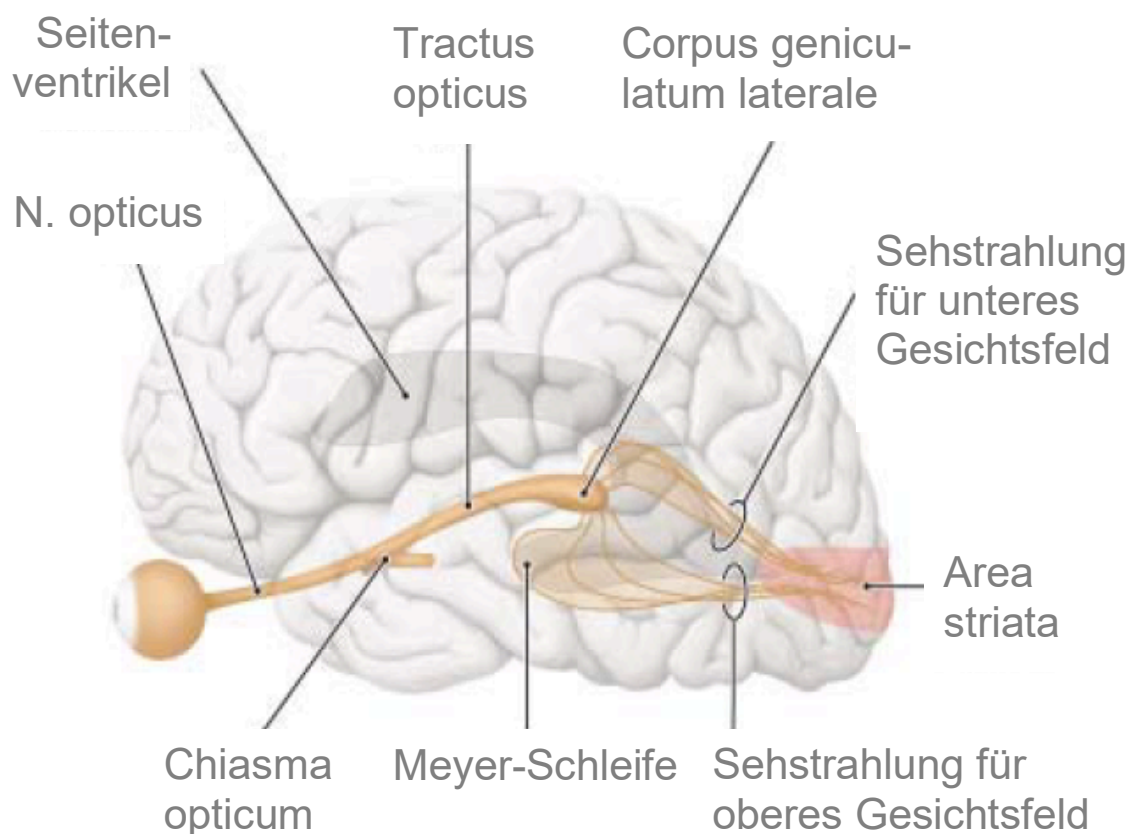


Abb. 7: Bahnen des visuellen Systems

Reizaufnahme über die Retina, Reizfortleitung über den N. opticus, Tractus opticus bis zur Area striata (Aumüller 2010; S. 1118)

1.6.2 Das vestibuläre System

Ein weiterer wichtiger Bestandteil des Gleichgewichts ist das vestibuläre System. Es befindet sich im Innenohr in der Tiefe des Felsenbeins und gibt dem Körper Informationen über die Rotation des Kopfes, der Orientierung des Körpers im Raum und zur Gravitation (Aumüller 2010).

Das paarig angelegte Gleichgewichtsorgan setzt sich aus zwei verschiedenen Signalempfängern zusammen (Abb. 8). Die drei bogenförmigen Gänge (Ductus semi-circulares) stehen orthogonal zueinander. Bei Rotationsbewegungen erzeugen sie ein Signal, welches nach zentral weitergeleitet wird (Aumüller 2010).

Beide Makulaorgane (Macula sacculi und Macula utriculi) stehen ebenfalls senkrecht zueinander. Sie sind in erster Linie für die Reizaufnahme bei linearer Beschleunigung verantwortlich. Zusätzlich wird die gravitationsbedingte Beschleunigung registriert (J. Huppelsberg 2009).

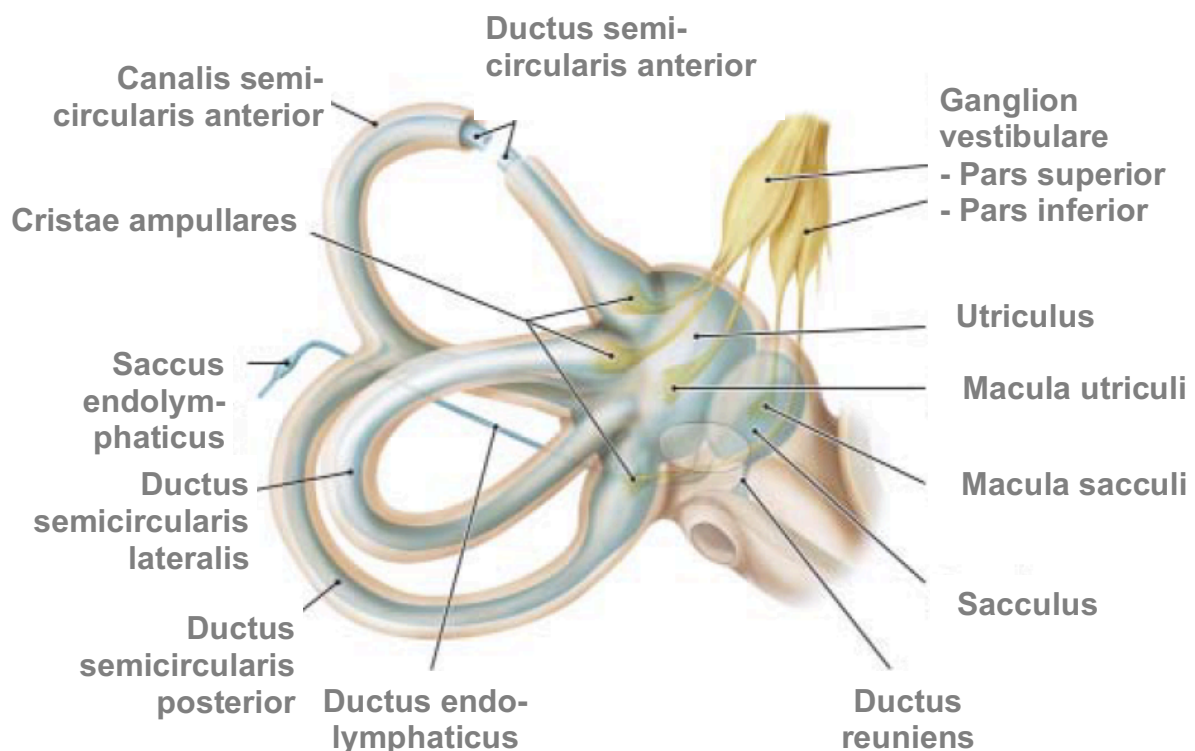


Abb. 8: Das Gleichgewichtsorgan

Ductus semicirculares und Macula utriculi und sacculi (Schünke 2009; S. 138)

Der vierte Unterkern besitzt ebenfalls diverse Vernetzungen, ohne jedoch für einen bestimmten Reflex oder Aufgabe verantwortlich zu sein.

Des Weiteren projizieren die Unterkerne in andere Regionen des Gehirns, wie in den Ncl. reticularis des Thalamus. Dieser Bereich arbeitet als Antagonist zu den Vestibulariskernen und verhindert überschießende Bewegungen (Abb. 9, 10) (Larry Squire, Floyd E. Bloom, Nicholas C. Spitzer, Darwin Berg, Sascha du Lac 2008).

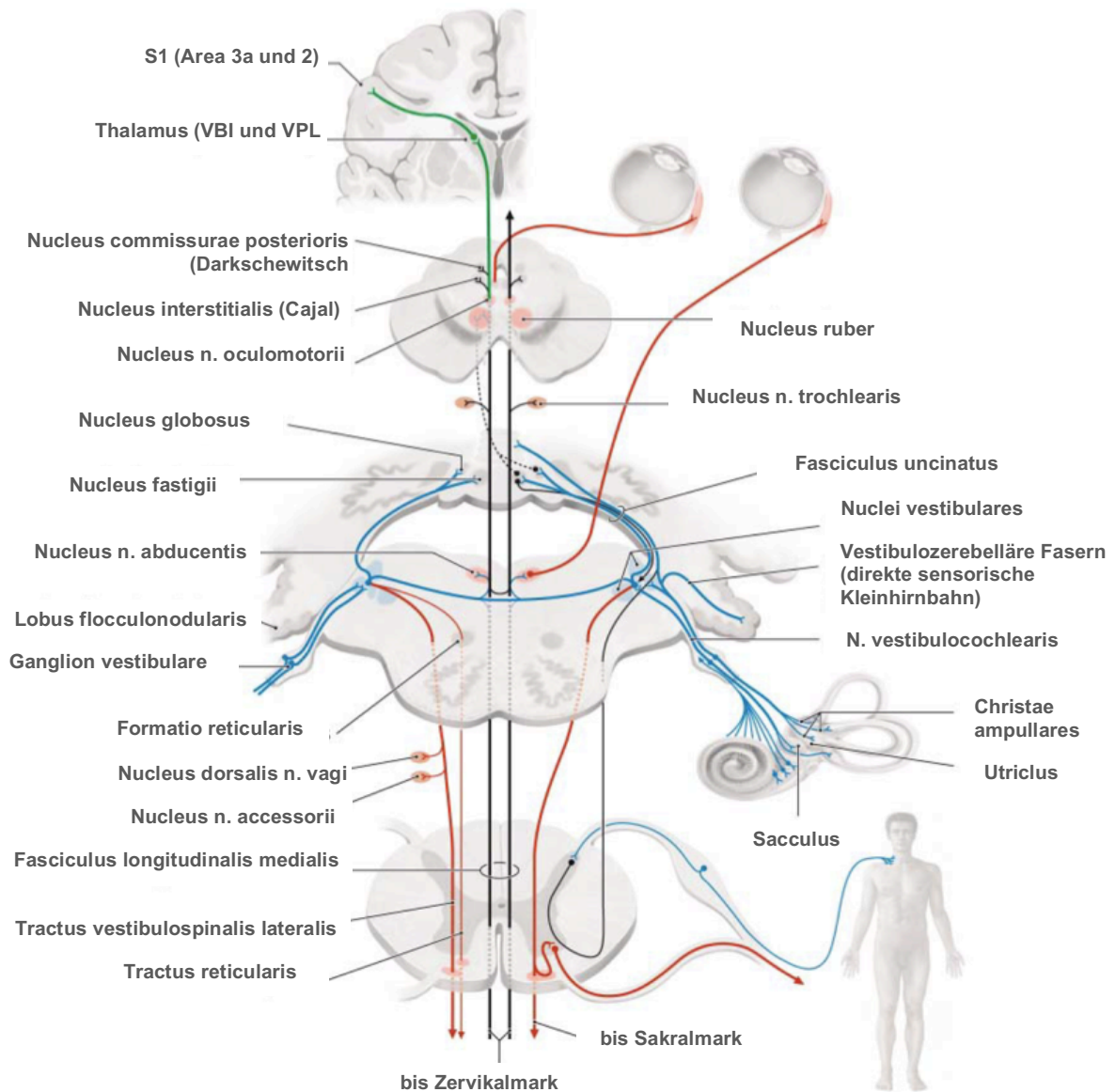


Abb. 10: Das vestibuläre System

Verlauf der Efferenzen (blau) und Afferenzen (rot) von den Sinneszellen bis zum Kortex und der Weiterverarbeitung dieser zu den einzelnen Reflexen (Aumüller 2010; S. 1135)

1.6.3 Das propriozeptive System

Das propriozeptive System, wie in Abb. 11 und 12 dargestellt, setzt sich aus Mechanorezeptoren mit verschiedenen Sinnesqualitäten (Golgi Sehnenorgan, Muskelspindeln, Gelenksensoren und Mechanorezeptoren) zusammen, die dem Körper Rückmeldung über die Stellung und Position der Gelenke sowie der aufgewendeten Kraft, Richtung und Geschwindigkeit seiner Extremitäten geben (Shaffer and Harrison 2007).

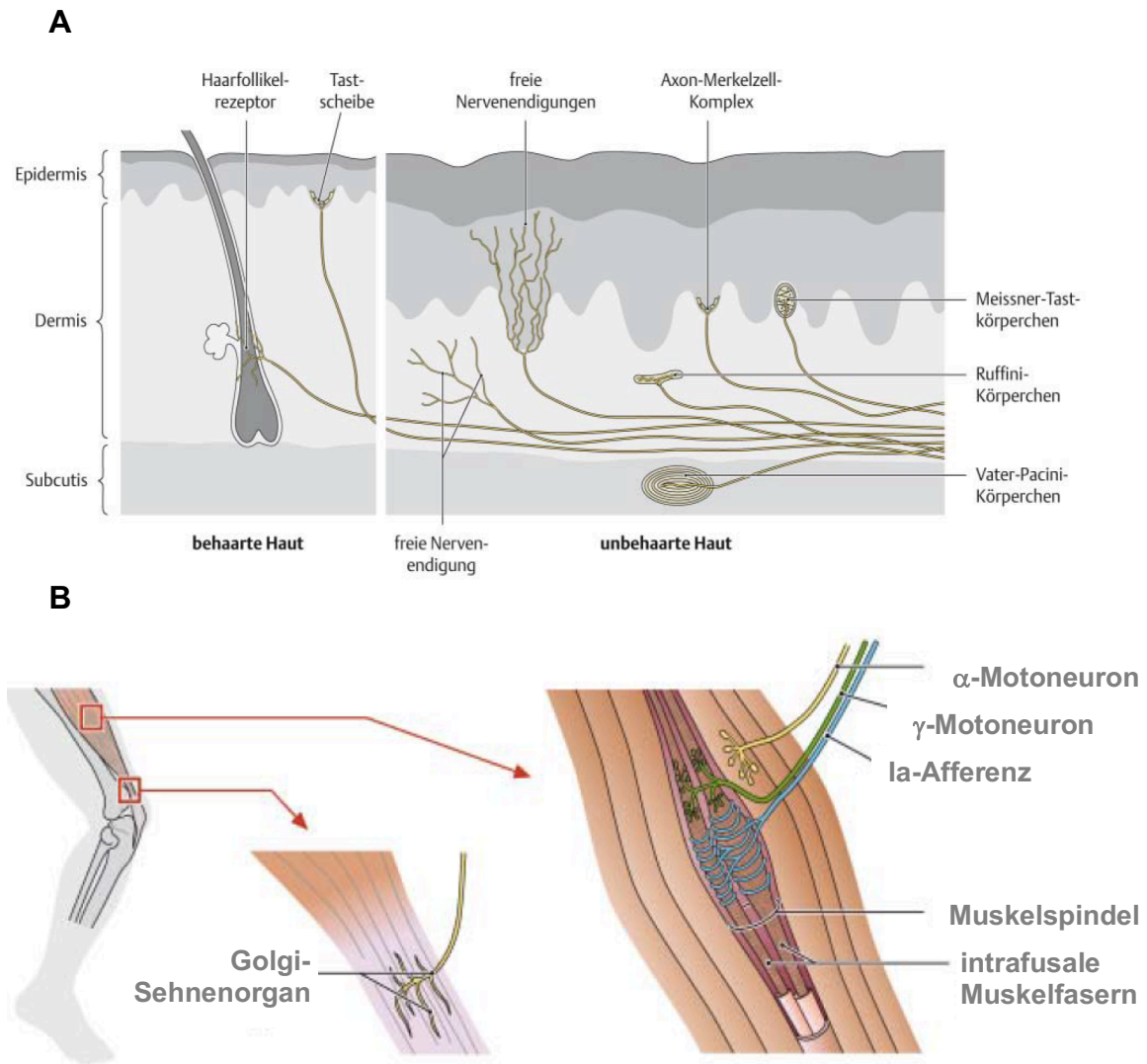


Abb. 11 Mechanorezeptoren des propriozeptiven Systems
(Schünke 2009; S. 400)

A: Rezeptoren der Haut (behaarte / unbehaarte)

B: Rezeptoren in Muskeln und Sehnen

Eine Reduktion der Propriozeption durch z.B. eine Neuropathie hat aufgrund des fehlenden Feedbackmechanismus ein erhöhtes Sturzrisiko zur Folge (Allum et al. 1998; Chiba et al. 2015; J. Huppelsberg 2009). Als typische Alterserscheinung ist der Verlust myelinisierter Nerven und peripherer Rezeptoren als Ursache der abnehmenden Propriozeption zu nennen (Shaffer and Harrison 2007).

Die Aufnahme äußerer Reize erfolgt über spezielle Rezeptoren in der Haut, den Muskeln und Gelenken. Nervenfasern leiten die Informationen zum Hinterstrangsystem des Rückenmarks (Tractus spinobulbaris) und von dort zum Mittelhirn (Medulla oblongata, Ncl. gracilis und cuneatus). Hier kreuzen die Fasern über die Mittellinie des Rückenmarks auf die Gegenseite und enden schließlich in Unterkernen des Zwischenhirns (Thalamus, Ncl. ventralis posterolateralis) (Todd 2010). Ein Großteil der Informationen wird durch einen der größten Kerne des Thalamus - den Ncl. ventralis posterolateralis - über Projektionsbahnen zum primären somatosensorischen Kortex (Gyrus postcentralis) weitergeleitet. In diesen Großhirnbereichen werden hauptsächlich diskriminative Reize des Körpers und Gesichts als Informationen über Sinnesempfindungen der Körperoberfläche verarbeitet.

Ein wesentlich kleinerer Anteil an Informationen wird über einen dritten Unterkern des Thalamus (Ncl. ventralis posterointralaminar) direkt an den sekundären somatosensorischen Kortex vermittelt.

Auch der primäre Kortex besitzt eine direkte Verbindung zum sekundären somatosensorischen Kortex, der für die Abspeicherung und den Vergleich von neuen und bereits bekannten Sinneseindrücken verantwortlich ist.

Zusätzlich bestehen Verzweigungen zu Regionen des Gehirns, die sowohl für die willkürlichen Bewegungen zuständig sind, als auch die „richtige“ Ausführung dieser Bewegungen koordinieren (Abb. 12) (Song and Semework 2015; Larry Squire, Floyd E. Bloom, Nicholas C. Spitzer, Darwin Berg, Sascha du Lac 2008; J. Huppelsberg 2009).

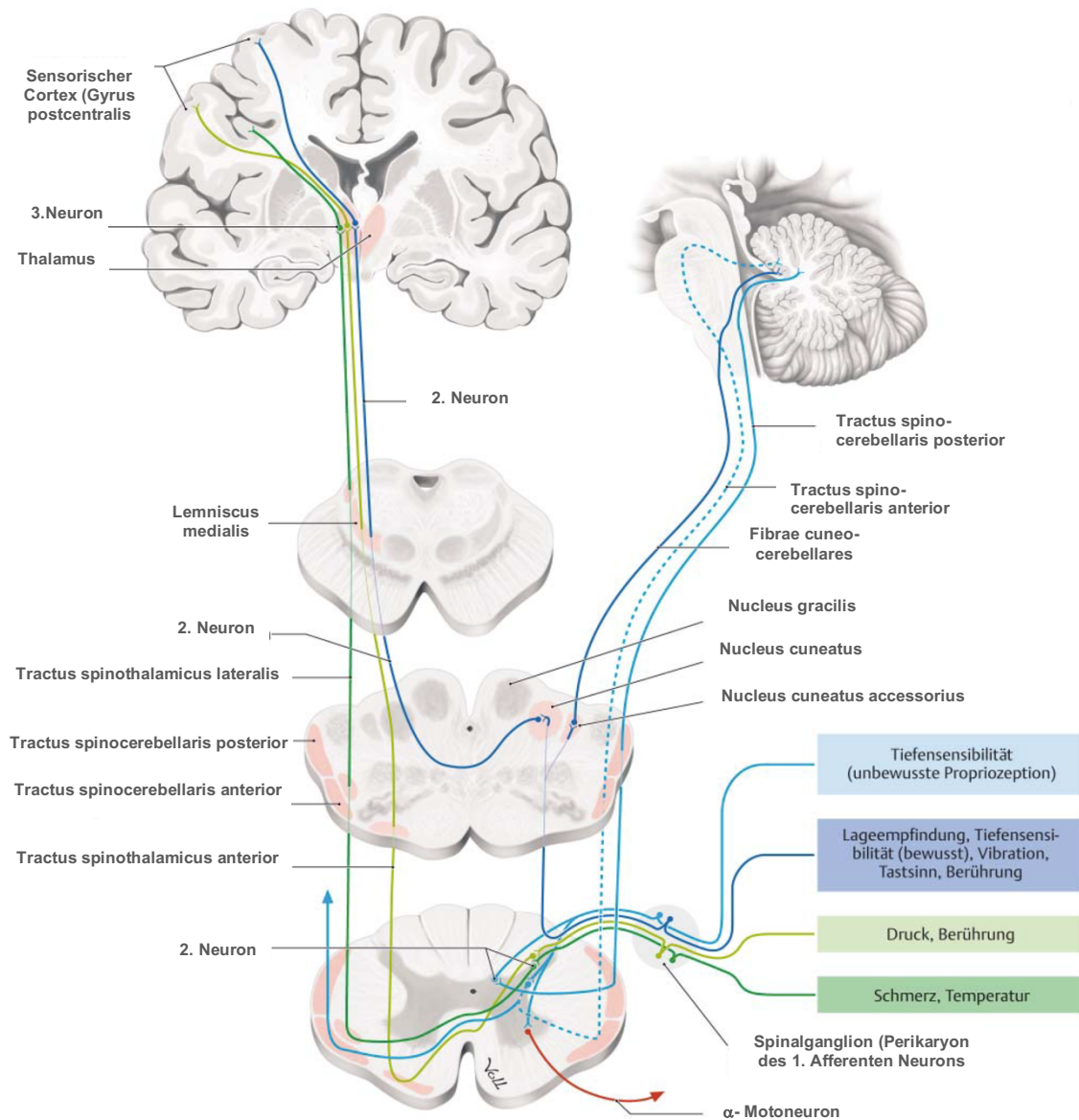


Abb. 12: Die propriozeptiven Systeme der Peripherie

(Tastsinn, Schmerz, Temperatur etc.) werden über den Tractus spinobulbaris kranialwärts in die Medulla oblongata geleitet, kreuzen hier zur Gegenseite, werden in die Unterkerne des Thalamus weitergeleitet und enden vorläufig im sensorischen Kortex (Schünke 2009; S. 398)

2 Ziel der Arbeit

Der Alterungsprozess ist neben einer Abnahme von Knochenmasse (Osteopenie) auch mit einer Reduktion der Muskelkraft (Sarkopenie), also einer Schwächung der muskuloskelettalen Einheit, assoziiert. Dies führt zu einer zunehmenden Immobilität und erhöhten Sturzgefahr, was das Frakturrisiko insbesondere bei bestehender Osteoporose, erhöht. Des Weiteren schwächen neuronale und kognitive Veränderungen des Nervensystems die körperliche Leistungsfähigkeit.

Unabhängig vom Stadium der Erkrankung kann ein dem Alter und der Leistungsfähigkeit angepasster Sport die muskuloskelettalen und neuromuskulären Funktionen verbessern.

Die Effekte hängen von der Art der Aktivität ab. Insbesondere dynamische Übungen und die damit verbundene höhere mechanische Belastung führt zur Stärkung der muskuloskelettalen Einheit. Leider bergen dynamische Übungen die Gefahr einer schnellen trainingsbedingten Ermüdung und Erschöpfung von Muskeln und kognitiven Fähigkeiten.

Aus diesem Grund stellt die Entwicklung eines Sportprogramms, das sowohl dynamische als auch relevante Komponenten des selbstständigen Lebens beinhaltet und gleichzeitig ein minimales Risiko trainingsbedingter Stürze birgt, eine große Herausforderung dar.

Ein modifiziertes Step-Aerobic Programm könnte die genannten Anforderungen möglicherweise erfüllen. Daher haben wir im Rahmen einer randomisiert kontrollierten Pilotstudie (Behrens et al. 2017) versucht, die Akzeptanz eines solchen Programms zu erfassen und dabei die Auswirkungen auf den Knochenstoffwechsel (Diss. J. I. Kilb), die neuromuskuläre Funktion (Diss. Karoline Müller) und die posturale Kontrolle (diese Arbeit) zu untersuchen.

3 Material und Methoden

Im Rahmen einer randomisierten kontrollierten Machbarkeitsstudie wurden ältere Menschen mit einer manifesten Osteoporose eingeladen an einem modifizierten Step-Aerobic-Training teilzunehmen.

Potenzielle Teilnehmer wurden durch sorgfältiges Aktenstudium (Sprechstunde Prof. Dr. med. H.-C. Schober, Chefarzt Innere Medizin I, Klinikum Südstadt Rostock) identifiziert und über die Studie informiert. Bei Interesse an einer Teilnahme wurden die Ein- und Ausschlusskriterien gezielt überprüft.

Nach der Eingangsuntersuchung, in der die individuelle Leistungsfähigkeit ermittelt wurde, wurden die Probanden in eine Interventions- und eine Kontrollgruppe randomisiert. Die Intervention bestand in einem Step-Aerobic-Training (2 x pro Woche). Die Auswirkungen des Trainings auf die neuromuskuläre Funktion, den Knochenstoffwechsel und die posturale Kontrolle wurden nach 3 und 6 Monaten bestimmt. Des Weiteren sollte die Attraktivität („macht das Training Spaß?“) und die Akzeptanz hinsichtlich Frequenz und Intensität des Trainingsprogramms erfasst werden (Abb. 13).

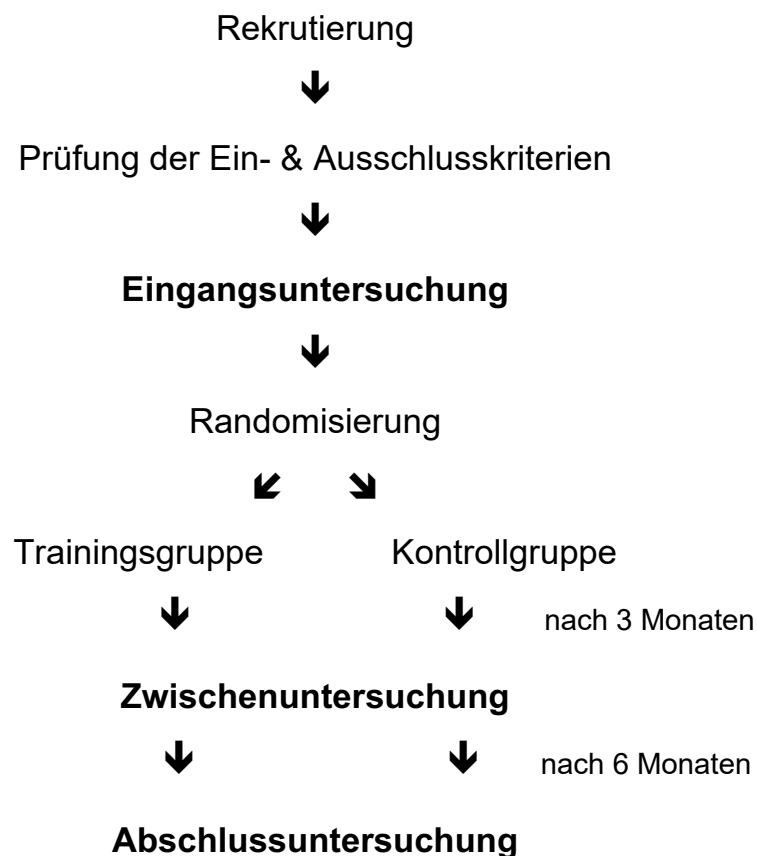


Abb. 13: Das Studiendesign im Überblick

3.1 Rekrutierung der Probanden

Geeignete Probanden wurden in den Akten der Osteoporose-Ambulanz (Prof. Dr. med. H.-C. Schober) identifiziert und zu Informationsveranstaltungen zur Erläuterung des Studienkonzepts eingeladen. Auf diese Weise ist es gelungen, rund 70 an einer Teilnahme interessierte Patienten anzusprechen, wovon ca. 50 nach detaillierter Prüfung der Ein- und Ausschlusskriterien als potenzielle Probanden geeignet waren.

3.1.1 Einschlusskriterien

- Alter \geq 65 Jahre
- Osteoporose (entsprechend den WHO Kriterien) und Leitliniengerechte Therapie
- aktueller T-score (innerhalb der letzten 36 Monate vor Studienbeginn) an der Lendenwirbelsäule und dem Oberschenkelhals von $\leq - 2,5$
- Ganggeschwindigkeit $> 0,8$ m/s
- Zeitbedarf im „Chair-Rising-Test“ ≤ 10 sec
- Body Mass Index ≥ 20
- erhöhtes Sturz- und/oder Frakturrisiko (mind. ein Sturz innerhalb der letzten 12 Monate oder eine Fraktur nach dem 40. Lebensjahr bzw. in den letzten 5 Jahren)
- Zustimmung zu einer randomisierten Zuordnung in Studien- und Kontrollgruppe)

Ausschlusskriterien

- Teilnahme an einem Kraft- und/oder Ausdauertraining in den letzten 24 Monaten
- regelmäßige Teilnahme an einem Sportprogramm ≥ 2 h/Woche
- Herzinsuffizienz (New York Heart Association Functional Classifikation °III and °IV)
- Herzschrittmacher oder andere Elektroimplantate
- chronischen Niereninsuffizienz (K/DOQI in den Stadien 4 und 5, $GFR \leq 30$ ml/min/1,73m² (Berechnung nach der MDRD-Formel))

- nicht-kurativ behandelte Tumor-Erkrankung in den letzten 5 Jahren (Plasmozytome, Mamma-Ca, Prostata-Ca, Tumore der Lunge, Leber, Niere und primäre Knochentumoren)
- systemische Cortison-Behandlungen ≥ 3 Monate innerhalb der letzten 6 Monate
- Antiöstrogen- oder Antiandrogenbehandlung innerhalb der letzten 12 Monate
- unzureichende Beweglichkeit (Gehen für länger als 5 min nicht möglich, periphere arterielle Verschlusskrankheit (pAVK) ab dem Stadium 2 (Klassifikation nach Fontaine), Arthrose/ Rheumatoide Arthritis, Gleichgewichtsstörungen mit erheblicher Gangunsicherheit und erheblichem Sturzrisiko (kein Tandemstand möglich)
- gehen nur am Rollator möglich
- geplante Abwesenheit von mehr als 2 Wochen während der Studie
- Keine Einwilligung in die Studienteilnahme

3.2 Studienuntersuchung

Die studienrelevanten Untersuchungen erfolgten zum einen beim Olympia-Stützpunkt Mecklenburg-Vorpommern in Rostock (Am Trotzenburger Weg 15, 18057 Rostock) und zum anderen im Labor für Bewegungswissenschaften des Instituts für Sportwissenschaft der Universität Rostock (Ulmenstr. 69, 18057 Rostock).

Die im Olympia-Stützpunkt (OSP) erhobenen Daten sind gemeinsame Grundlage, der mit dieser Studie verbundenen Dissertationen (Dr. med. J.-I. Kilb, K. Müller, L. Schleese). Die Untersuchungen am Institut für Sportwissenschaft sind Gegenstand der Dissertationen von K. Müller (Dynamometrie) und dieser Arbeit (Posturographie).

Alle Studienuntersuchungen fanden vor Randomisierung (t_0), sowie 3 Monate (t_1) bzw. 6 Monate (t_2) nach Trainingsbeginn für die Probanden statt.

Pro Untersuchungstag wurden 4 Probanden untersucht. Daher war ein zeitversetzter Beginn des Trainings nötig, um einen gestaffelten und zeitgerechten Ablauf der Folgeuntersuchungen zu ermöglichen.

Die Fahrradergometrie (OSP) und die Kraft- und Gleichgewichtsmessung fanden um mindestens einen Tag versetzt statt (Institut für Sportwissenschaft).

24 Trainingseinheiten (12 Wochen) waren die Voraussetzung für die nächste Untersuchung und 48 absolvierte Trainingseinheiten (24 Wochen) für die Abschlussuntersuchung. Alle Termine wurden in Abstimmung mit den Teilnehmern koordiniert.

Wir begannen mit den Untersuchungen der ersten Probanden am 05.11.2012 (t_0) und beendeten am 26.07.2013 die Untersuchungen der letzten Probanden (t_2).

Am OSP wurden in einer rund einstündigen Untersuchung die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit auf dem *Fahrradergometer* bestimmt, sowie Daten zur *Anthropometrie*, *Medikamenten-*, *Sturz-*, *Sturzangst-*, *Fraktur-* und *Familienanamnese* erhoben. Darüber hinaus beantworteten die Teilnehmer Fragebögen zur Lebensqualität (Quality of Life) und zur Sturzangst (FES-1). Abschließend wurden Blut- und Urinproben für die Bestimmung von Markern des Mineral- und Knochenstoffwechsels gewonnen (siehe Diss. Dr. med. J.-I. Kilb).

3.2.1 Charakterisierung der Probanden

Das Gewicht und die Körpergröße wurden mit einem geeichten Stadiometer (mit einer Mess-/Ablesegenauigkeit +/- 1 mm) und einer Waage (Messgenauigkeit \pm 0,1 kg) ermittelt und die Körperzusammensetzung mit einem Multifrequenz-Impedanzspektrometer (*BodyCompositionMonitor*, *Fresenius Health Care*, *Bad Homburg*) bestimmt.

Anamnese

Es wurde ein Anamnesefragebogen nach den üblichen klinischen Standards verwendet (Anhang 1). Der Bogen musste bei der Eingangsuntersuchung vollständig ausgefüllt werden und wurde bei Folgeuntersuchungen ergänzt, um einen Einblick in den Lebensstil zu erhalten.

Zudem wurden zu allen drei Untersuchungszeitpunkten klinische Übersichtstest zur Ermittlung des Sturzrisikos sowie zur Muskelkraft und Koordination durchgeführt. Dazu zählten der „*Timed up and go-Test*“, der „*Chair-Rising-Test*“ und der „*Tandemstand*“ (DVO Leitlinien 2014).

Beim „*Timed up and go-Test*“ wird der Proband aufgefordert, sich von einem Stuhl (mit Armlehnen) zu erheben, drei Meter zu gehen, sich um 180° zu drehen,

zum Stuhl zurück zu kehren und sich wieder hinzusetzen. Benötigt der Proband mehr als 10 Sekunden liegt eine Mobilitätsstörung vor, wenn sogar mehr als 30 Sekunden benötigt werden, ist von einer erheblichen Mobilitätsstörung mit gesteigerter Sturzgefahr auszugehen. Außerdem ermittelten wir bei dieser Untersuchung die mittlere Ganggeschwindigkeit (DVO Leitlinien 2014).

Beim „*Chair-Rising-Test*“ muss der Proband sich fünfmal mit vor der Brust verschränkten Armen und ohne sich abzustößen oder -stützen von einem Stuhl erheben und wieder hinsetzen. Bei einer Zeit von mehr als 10 Sekunden ist eine Gangunsicherheit infolge einer Muskelschwäche anzunehmen (DVO Leitlinien 2014).

Zur Erweiterung der Aussagekraft des „*Chair-Rising-Tests*“ wird der „*Tandemstand*“ durchgeführt. Hierbei müssen die Probanden die Füße hintereinanderstellen, sodass die Fußspitze des hinteren die Hacke des vorderen Fußes berührt. Wenn das Stehen in dieser Haltung nur für weniger als 10 Sekunden möglich ist, wird eine weiterführende geriatrische Diagnostik empfohlen (DVO Leitlinien 2014).

Schließlich wurde noch die Handkraft gemessen, da diese ein guter Surrogatparameter für die Lumbalkraft der unteren Extremität darstellt (Valentin and Maribo 2014).

Labor

Nach Stauung und Desinfektion einer geeigneten Punktionsstelle wurde mit einer Safety-Multifly-Kanüle (Sarstedt AG & Co., Nürnberg, Germany) jeweils eine EDTA- und Serum-Monovette mit Blut (Sarstedt AG & Co., Nürnberg, Germany) abgenommen. Die Lagerung der Proben erfolgte übergangsweise im Kühlschrank bevor sie am Nachmittag zum Forschungslabor (*Experimentelle Pädiatrie, UKJ Rostock*) transportiert und dort aufgearbeitet und pseudonymisiert bei -80 °C bis zur Analyse gelagert bzw. zur Bestimmung des kleinen Blutbilds in das Routinelabor gegeben wurden. Die Betrachtung der speziellen Parameter des Knochenauf- und -abbaus der gelagerten Proben ist Teil der Dissertation von J.-I. Kilb.

3.2.2 Fragebögen zur Lebensqualität und Sturzangst

Neben dem Anamnesefragebogen wurden mit dem „*Quality of Life - Questionnaire of European Foundation for Osteoporosis*“ (QoL) und mit dem

„Falls of Efficacy Scale-International Version“ (FES-1) zwei weitere Fragebögen zu allen drei Untersuchungen beantwortet.

Die Auswertung dieser Fragebögen ist ebenfalls in die Dissertation von J.-I. Kilb eingegangen. Da die Antworten auch für die Änderung der posturalen Kontrolle als Folge des Sportprogramms relevant sind, werden sie hier ebenfalls betrachtet.

Lebensqualität (QoL)

Der „Qualeffo-41“ – „Questionnaire of European Foundation for Osteoporosis“ (QoL) beschäftigt sich in 41 Fragen mit der Lebensqualität (Anhang 2). Bezogen auf die aktuelle Situation, wurden in einem strukturierten Interview 7 Themenkomplexe (Schmerzen (5 Fragen), Aktivitäten des alltäglichen Lebens (4 Fragen), Tätigkeiten im Haus (5 Fragen), Bewegung (8 Fragen), Freizeit und soziale Aktivitäten (7 Fragen), Wahrnehmung der allgemeinen Gesundheit (3 Fragen), Stimmung (9 Fragen)) aus dem Alltag beantwortet und mit einer „Likert Skala“ bewertet.

Die Auswertung der Antworten variiert nach dem Fragentyp, wobei ein Großteil der Fragen (34 von 41) in einem fünfstufigen Antwortsystem (Antwort 1 = beste Antwortmöglichkeit = 1 Pkt.; 2, 3, 4 schrittweise Abstufung der Frage; Antwort 5 = schlechteste Antwortmöglichkeit = 5 Pkt.) bewertet wird. Bei sechs dieser „5er“ Fragen (Frage: 33, 34, 35, 37, 39, 40) wird die Bewertung in umgekehrter Wertigkeit („5“ = beste Antwortmöglichkeit und „1“ = schlechteste Antwortmöglichkeit) vollzogen.

Drei der 41 Fragen (Frage: 27, 28, 29) setzen sich aus vier Antworten zusammen. Hierbei entspricht Antwort „1“ und „4“ der „1“ und „5“ des fünfstufigen Fragentyps. Die Antwortmöglichkeit „2“ wird mit 2,3 Punkten bewertet und Antwort „3“ mit 3,6 Punkten.

Bei vier Fragen (Frage: 23, 24, 25, 26) stehen nur drei Antwortmöglichkeiten zur Auswahl. Antwort „1“ stellt dabei wieder die beste Bewertung dar, die „2“ wird eine „3“ des „5er“ Fragentyps und Antwortmöglichkeit „3“ steht für eine „5“.

Die Punkte werden addiert und ergeben eine Gesamtpunktzahl („total score“). Die Spanne liegt hierbei zwischen mindestens 41 und maximal 205 Punkten. Nicht beantwortete Fragen werden mit null Punkten bewertet. Die Auswertung konnte entweder in einzelnen Themenkomplexen betrachtet oder als Gesamtergebnis dargestellt werden. Dazu musste das Ergebnis schließlich noch

in den „Total Qualeffo Score“ umgewandelt werden, wobei dieser Wert zwischen 0 und 100 angegeben wird (DVO Leitlinien 2014; IOF).

Je höher der „Total Qualeffo Score“ ist, desto schlechter ist die Lebensqualität des Probanden einzuschätzen und desto schwerwiegender auch die Osteoporose (Schröder et al. 2012).

Sturzangst (FES-I)

Der FES-I ist ein Fragebogen zu alltäglichen Aktivitäten und sozialen Aspekten, der ebenfalls nach dem Prinzip der „Likert Skala“ eine Aussage zur Sturzangst und Selbstwirksamkeit hochbetagter Menschen zulässt (Anhang 3). Die Probanden mussten 16 Fragen in einem vierfach gestuften System (1 = keinerlei Bedenken; 2 = einige Bedenken; 3 = ziemliche Bedenken und 4 = sehr große Bedenken) beantworten. Die Punkte der Antworten werden addiert und die Gesamtpunktzahl (minimal 16 Pkt.; maximal 64 Pkt.) ermöglicht die Beurteilung der individuellen Sturzangst (16 - 19 Pkt. = geringe Sturzangst; 20 - 27 Pkt. = moderate Sturzangst; 28 - 64 Pkt. = hohe Sturzangst) (Dias et al. 2006; Delbaere et al. 2010).

3.2.3 Fahrradergometrie

Bei diesem Ausdauerbelastungstest wurden folgende Parameter erhoben:

- Herzfrequenz (Schläge pro min, kontinuierlich)
- Blutdruck nach Riva Rocci (systolisch/diastolisch in mmHg, pro Belastungsstufe)
- Serumlaktat- und Glukosewert (in mmol/l, pro Belastungsstufe)
- Borg-Skala (subjektives Empfinden, pro Belastungsstufe)

Die in den letzten 30 Sekunden einer Stufe bestimmten Werte für Blutdruck, Herzfrequenz, Serumkonzentration von Laktat- und Glukose sowie die Borg-Skala gingen in die Auswertung ein, da innerhalb der ersten zweieinhalb Minuten eine Anpassung des Kreislaufs an die jeweilige Belastungsstufe stattfindet.

Während der gesamten Ergometrie wurde die Herzfrequenz der Probanden mit einem Sensor (Brustgurt) aufgezeichnet und per Funk an ein geeignetes Programm übermittelt (*Acentas, Germany*). Der Sensor hat die Herzfrequenz

sekündlich zur Speicherung der Software übermittelt und die Daten konnten zur weiteren Analyse in eine Excel-Datei übertragen werden.

Für eine bessere Leistungsbewertung wurde zusätzlich der *Serumlaktat- und Glukosewert* bestimmt. Dafür wurde nach Desinfektion (30 Sekunden) mit einer Lanzette am Ohrläppchen eingestochen, wobei der erste Blutstropfen mit einem wassergetränkten Tupfer verworfen wurde, um eine Kontamination mit z.B. Schweiß und eine dadurch bedingte Zunahme der Serumlaktatkonzentration zu vermeiden. Das folgende Blut wurde mithilfe eines 20 µl Kapillarröhrchens aufgenommen und dieses in ein mit 2 ml Heparinlösung gefülltes Probengefäß (*Eppendorf AG*) geworfen. Nach Verschluss des Röhrchens wurde durch leichtes schwenken das Blut aus dem Kapillarröhrchen gewaschen.

In diesen Blutproben wurden die Serumlaktat- und Glukosekonzentrationen mit automatisierten Tests ermittelt (*Biosen C-Line, Firma: EKF Diagnostics, Magdeburg Germany*).

Die Borg-Skala der RPE-Werte (**R**eceived **P**erception of **E**xertion) diente der Beurteilung des subjektiven Empfindens der Belastung auf dem Fahrradergometer. Zahlenwerte von 10 („leicht“) bis 20 („sehr schwerem“) Belastungsempfinden und dienten der subjektive Einschätzung der Belastung (Löllgen 2004).

3.2.3.1 Aufbau des Stufentests

Nach Anpassung des Fahrradergometers an den Probanden (*Firma: daum electronic GmbH*) begann der Stufentest zur Bestimmung der individuellen Leistungsfähigkeit.

Bei Planung der Studie wurde ein Stufentest, bestehend aus einer Vorbelastungs-, fünf Hauptbelastungs- und einer Nachbelastungsphase, vorgegeben. Aufgrund der mit 5 Stufen zu geringen Leistungsanforderung wurde die Stufenanzahl nach den ersten Untersuchungen auf 7 erweitert, um eine adäquate Ausbelastung zu ermöglichen.

Name, Vorname	Sex	Geb.datum	Testdatum	Testzeit (hh:mm)	Testalter	Körperhöhe (cm)	Körpermasse (kg)	Raumtemp. (°C)	Luftfeuchtigkeit (rel %)	Code
	weiblich		18.03.2013	10:40	71	164	70	20	50	ADONIS 01
Messzeitpunkt	Stufe	Dauer mm:ss	Leistung Watt	HF 1/min	Laktat mmol/l	Glukose mmol/l	BPs mmHg	BPd mmHg	Borg-Skala 06-20	Trittfrequenz (U/min)
nach Messen und Wiegen, vor dem Besteigen des Ergometers	Ruhe		0	97	2,50	6,23	140	80		
alles Stufenende, BP Mitte der Stufe	Vorbelastung	00:03:00	20	124	3,08	6,16	140	80	11	95
	Belastungsstufe 1	00:03:00	30	123	4,27	5,97	145	80	11	100
	Belastungsstufe 2	00:03:00	45	128	5,18	6,01	150	80	11	100
	Belastungsstufe 3	00:03:00	60	127	4,61	4,83	160	80	11	100
	Belastungsstufe 4	00:03:00	75	129	4,22	3,99	160	75	13	90
	Belastungsstufe 5	00:03:00	90	134	4,45	3,67	160	75	13	97
1 min nach Belastungsende	Nachbelastung	00:05:00	20	130	3,86	2,94	150	70	11	75
3 min nach Belastungsende				120	3,90	3,59	150	70	11	65
5 min nach Belastungsende				111	3,35	3,44	145	70	11	55

Abb. 14: Messprotokoll für den 5-stufigen Fahrradergometertest

Parameter: Herzfrequenz (HF in Schläge/min), Serumlaktat in mmol/l, Glukose in mmol/l, Blutdruck systolisch in mmHg, Blutdruck diastolisch in mmHg, Borg-Skala, Trittfrequenz in U/min)

Um zu vermeiden, dass sich die Probanden aus falschem Ehrgeiz überlasten, führten die Kriterien Trittfrequenz unter 50 U/min oder systolischer Blutdruck über 180 mmHg zum Abbruch des Tests. Allerdings beendeten die Probanden meistens aus eigener Initiative den Test, bevor sie die ermittelte Leistungsgrenze erreichten.

Nach Ausschluss einer Hypoglykämie in der zuletzt entnommenen Blutprobe, war die Untersuchung beendet. Sofern eine Hypoglykämie vorgelegen hätte, wären die Probanden mit Traubenzucker versorgt worden.

3.3 Posturographie

Am Institut für Sportwissenschaft der Universität Rostock erfolgte die Kraft- und Gleichgewichtsmessung frühestens 24 Stunden nach der Fahrradergometrie bzw. einer Trainingseinheit. Pro Proband wurden zwei Stunden Untersuchungszeit benötigt.

Die Analyse des Gleichgewichts (Posturographie) erfolgte mit einer Messplattform (*GKS 1000®*, IMM Holding GmbH, Mittweida, Deutschland), die den Kraftangriffspunkt des Körperschwerpunktes auf der Untersuchungsfläche ermittelt. Entsprechende Bewegungen des Körperschwerpunktes, also Schwankungen, konnten als Auslenkungen in Millimetern (mm) und Geschwindigkeit in Millimeter pro Sekunde ($\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$) aufgezeichnet werden.

Die Probanden wurden angewiesen, 30 Sekunden möglichst still zu stehen. Der Oberkörper sollte aufgerichtet, die Hände auf den Beckenkamm gelegt und die Knie leicht gebeugt sein, um eine standardisierte Wiederholung zu ermöglichen. War ein sicherer Stand gewährleistet, wurden Messungen zur Auslenkung (medio-lateral und anterior-posterior) und Geschwindigkeit (medio-lateral und anterior-posterior) zu 4 verschiedenen Bedingungen (*stabiler Untergrund, Augen geöffnet / stabiler Untergrund, Augen geschlossen / instabiler Untergrund, Augen geöffnet / instabiler Untergrund, Augen geschlossen*) durchgeführt. Die unterschiedlichen Bedingungen bedeuten eine schrittweise Ausschaltung des visuellen Systems und der Propriozeption bis letztendlich (*instabiler Untergrund, Augen geschlossen*) nur noch das Gleichgewichtsorgan aktiv war. Ein Haltegestell um die Messplattform sollte Stürze und Verletzungen vermeiden.

Pro Bedingung wurden 5 Messungen à 30 Sekunden durchgeführt, wobei die ersten beiden Durchgänge durch die Anpassung des Probanden an die Untersuchungsbedingung als nicht-repräsentativ verworfen wurden. Die Ergebnisse der folgenden 3 Messungen wurden zur Auswertung herangezogen.

Zu den ermittelten Parametern gehörten:

- die vom Körperschwerpunkt umschriebene Fläche
- Auslenkung (medio-lateral, anterior-posterior) [in mm]
- Geschwindigkeit der Auslenkung [in $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]
- Schwingungsfrequenz (FFT)

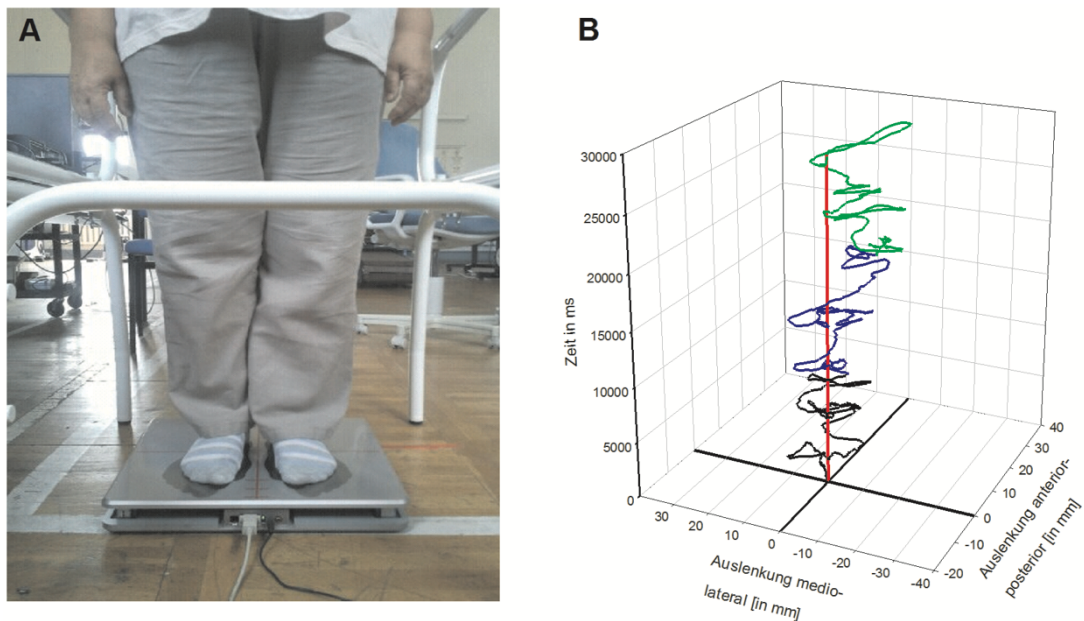


Abb. 15: Versuchsaufbau der Posturographie

A – Messplattform mit Proband zur Messung der posturalen Kontrolle

B – Schwankungen des Körperschwerpunktes [in mm] (anterior-posterior, medio-lateral), um den Kraftangriffspunkt (Z-Achse - rot) über die Zeit [in ms] innerhalb eines Untersuchungsintervalls (30 s (schwarz bis 10 s, blau 10 - 20 s, grün 20 - 30 s))

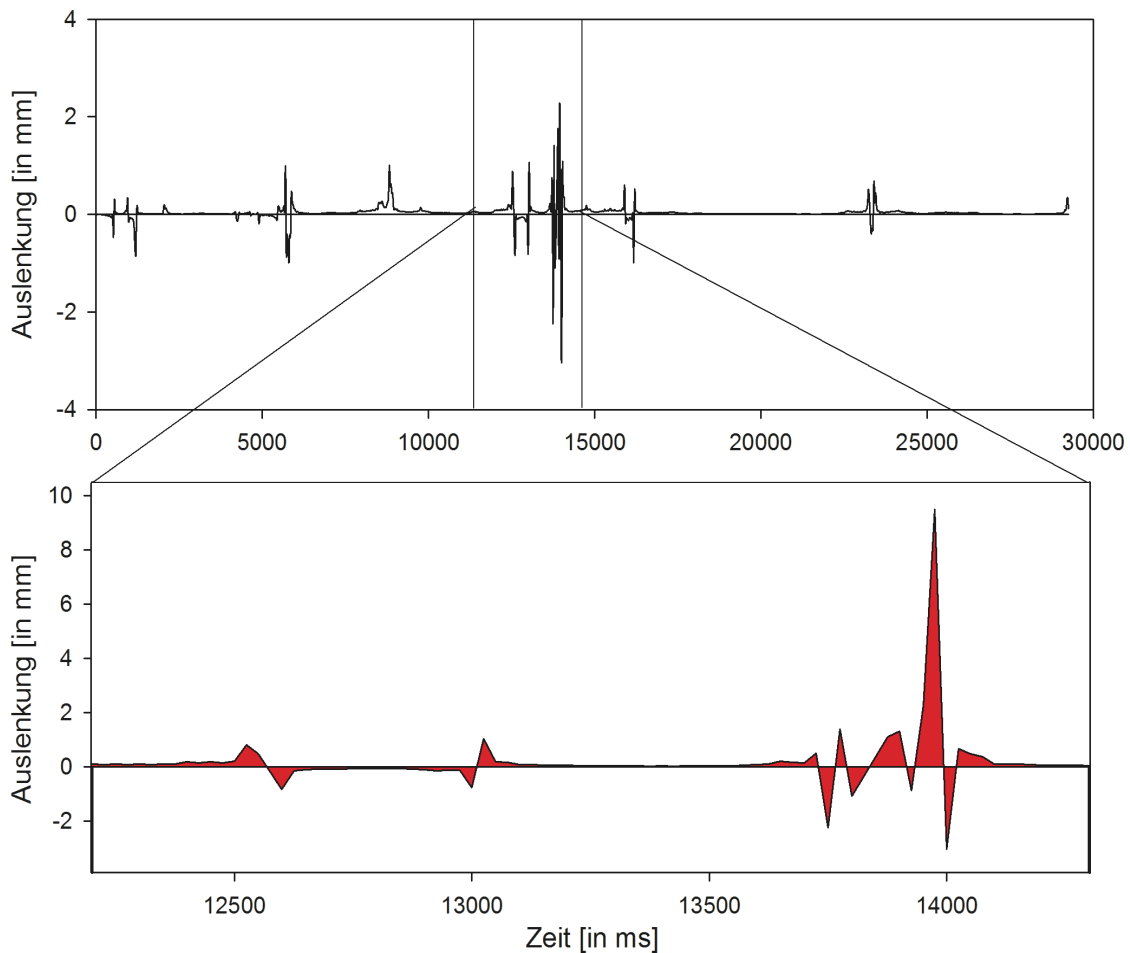


Abb. 16: Prinzip der Datenverarbeitung der Posturographie

Schematische Darstellung der Auslenkung des Schwerpunktes als Funktion der Zeit und der vom Körper umschriebenen Fläche (rot markiert) um den Kraftangriffspunkt auf der Untersuchungsfläche

3.4 Dynamometrie

Die dynamische Kraftmessung wurde im Anschluss durchgeführt und ist Thema der Dissertation von Fr. K. Müller.

3.5 Randomisierung

Die Randomisierung in die Trainings- und Kontrollgruppe erfolgte nach Alter und Geschlecht (*Prof. Dr. G. Kundt, Medizinische Informatik und Biometrie, Universität Rostock*).

Die *Trainingsgruppe* sollte in den nächsten 6 Monaten ein 2x wöchentlich stattfindendes, standardisiertes Kraft- und Ausdauertraining absolvieren.

Währenddessen musste der bisherige Lebensstil (Ernährungsgewohnheiten, Freizeitaktivitäten etc.) und die osteoporose-spezifische Dauermedikation (Calcium, Vitamin D, ggf. Bisphosphonate) beibehalten werden.

Die zuletzt genannten Rahmenbedingungen galten auch für die Kontrollgruppe, die zusätzlich einen Schrittzähler mit zugehörigem Tagebuch erhielt, um die tägliche körperliche Belastung aufzuzeichnen.

3.6 Das Training

Ab dem 04.12.2012 trafen sich die Probanden zweimal in der Woche zu einem rund einstündigen modifizierten Step-Aerobic-Training in einem Trainingsraum (*Fitness First Company Germany, Kröpelin Str. 53, 18055 Rostock*).

Jede Einheit wurde von mindestens einer ausgebildeten Trainerin geleitet, die auf die richtigen Abfolgen und die korrekte Ausführung der Übungen achtete. Des Weiteren überwachte mindestens ein Doktorand jede Trainingseinheit.

Während des Trainings wurde die Herzfrequenz über Sensoren erfasst, an ein geeignetes Programm gesendet (*Ascentas, Germany*) und für spätere Auswertungen gespeichert.

3.6.1 Aufbau einer Trainingseinheit

Das Training begann mit einer „*Warm-up*“-Phase in der bei passender Musik ohne Step-Brett die Schrittfolgen der letzten Stunden wiederholt und ggf. neue Elemente hinzugefügt wurden. Außerdem gehörte die Streckung, Beugung, das An- und Abwinkeln sowie Rotationen von Armen, Beinen und Füßen zu jeder Einheit. Diese Phase zielte darauf, den Kreislauf an die nachfolgende Belastung anzupassen und den Bewegungsapparat aufzuwärmen.

In der Hauptbelastungsphase (*Workout*) wurden die in der „*Warm-up*“-Phase durchgeführten Schrittfolgen, im Sinne eines Intervalltrainings über 30 Minuten, mit dem Step-Brett absolviert.

Im vorletzten Abschnitt stand die Balance im Vordergrund. In 10 Minuten wurde gezielt mit speziellen Übungen das Gleichgewicht geschult. Dazu zählten u.a. der Einbeinstand mit geöffneten oder geschlossenen Augen und gegenseitiger Hilfestellung oder eine Standwaage.

Die abschließende „Cool-Down“-Phase diente zur Normalisierung des Pulses und der Herzfrequenz. In weiteren 10 Minuten wurde mithilfe von Atem- und Dehnübungen der Kreislauf stabilisiert und Muskeln gelockert.

3.7 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS 20.0 (*SPSS Inc., Chicago, IL, USA*). Von den erhobenen Messgrößen wurde der Mittelwert, die Standardabweichung, der Median, das Maximum und Minimum zu den Zeitpunkten t_0 bis t_2 berechnet.

Die Normalverteilung wurde mit dem Shapiro-Wilk Test geprüft. Änderungen der messbaren Zielgrößen (Auslenkung und Geschwindigkeit der Schwankungen) und durch das Training möglicherweise beeinflussbare Messgrößen wurden mit einer Kovarianzanalyse (ANCOVA) nach Baselineadjustierung beurteilt. Ggf. wurde das Geschlecht als Kovariante berücksichtigt. Alle Signifikanztests sind zweiseitig und dem Niveau nach auf $p \leq 0,05$ festgelegt (Vickers and Altman 2001).

Die Erstellung der Graphen erfolgte mit Sigma Plot 11.0 (*SYSTAT Software*).

4 Ergebnisse

Die Probanden (n=32) wurden nach der Eingangsuntersuchung (t_0) in eine Interventionsgruppe (n=16 (2 Männer, 14 Frauen)) und eine Kontrollgruppe (n=16 (1 Mann, 15 Frauen)) randomisiert. Aufgrund persönlicher Gründe oder körperlicher Probleme konnten nur 28 Probanden in die Auswertung eingeschlossen werden.

Die anthropometrischen Daten der Interventions- und Kontrollgruppe sind in Tab. 3 aufgeführt und zeigen eine gute Übereinstimmung der Gruppen.

Tab. 3: Anthropometrische Charakteristiken der Probanden

	Interventionsgruppe (n=14)	Kontrollgruppe (n=14)
Alter [in Jahren]	74 ± 3	76 ± 5
Größe [in cm]	160 ± 7	160 ± 6
Gewicht [in kg]	67 ± 14	68 ± 11
BMI [in kg/m ²]	26 ± 5	26 ± 4
Aktivität [h/Woche]	0.8 ± 0.7	0.9 ± 0.6

4.1 Lebensqualität (QoL)

Bei Betrachtung des „Total Qualeffo Score“ zeichnete sich ein Abwärtstrend beider Gruppen über die 6 Monate ab. Signifikanzen innerhalb oder zwischen den Gruppen konnten nicht festgestellt werden (Abb. 17 A). Die kompletten Daten sind im Anhang 4, 5 und 6 aufgeführt.

Allerdings fielen bei der detaillierten Analyse der verschiedenen Themenkomplexe signifikante Veränderungen in den Abschnitten „Freizeit und soziale Aktivität“ sowie „Wahrnehmung der allgemeinen Gesundheit“ auf.

Im Abschnitt „Freizeit und soziale Aktivität“ zeigte sich eine Signifikanz von $p = 0,002$ zwischen den Gruppen nach 3 Monaten. Nach 6 Monaten stellte sich immerhin noch eine Tendenz ($p = 0,079$) dar (Abb. 17 B).

Bei der „Wahrnehmung der allgemeinen Gesundheit“ kristallisierte sich nach 6 Monaten ein Gruppenunterschied mit einer Signifikanz ($p = 0,022$) heraus (Abb.17 C).

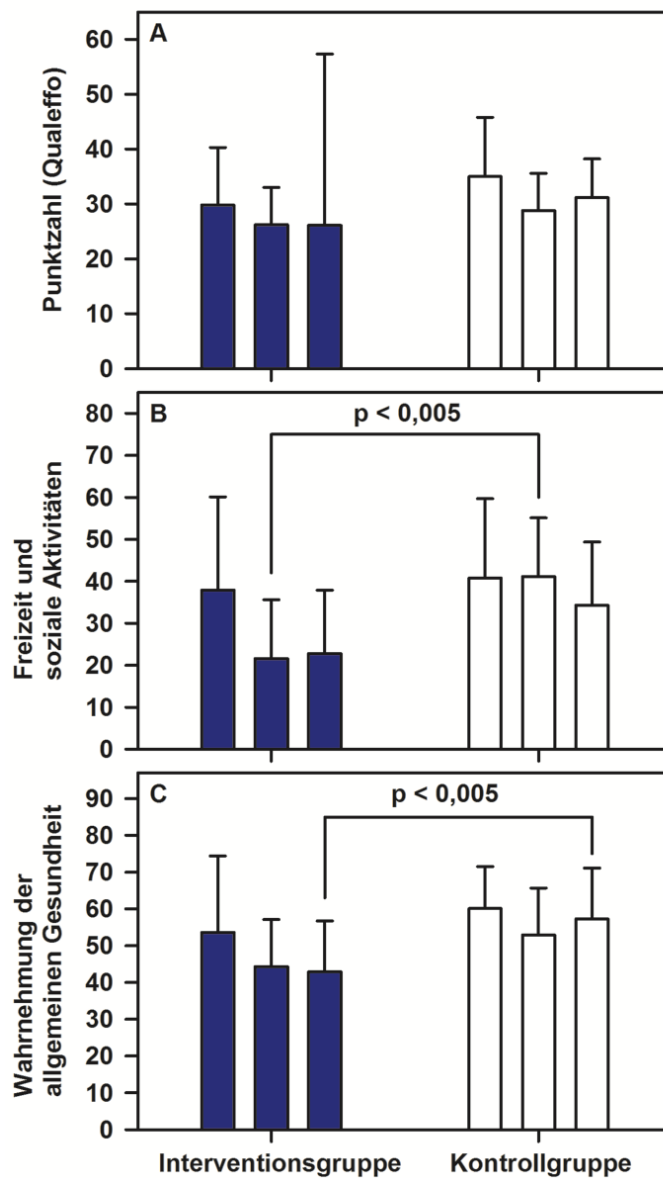


Abb. 17: Auswertung des QoL Fragbogens

Grafische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Interventionsgruppe (blau) und der Kontrollgruppe (weiß) zu den Zeitpunkten t₀ (0 Monate), t₁ (3 Monate) und t₂ (6 Monate) für:

A – Total QoL Score

B – Freizeit und soziale Aktivitäten

C – Wahrnehmung der allgemeinen Gesundheit

4.2 Sturzangst (FES-I)

Der FES-I wurde bei allen Probanden ebenfalls zu allen 3 Untersuchungsphasen durchgeführt. Die Ergebnisse der Fragebögen wurden zusammengefasst und in einem Balkendiagramm dargestellt (Abb. 18). Die detaillierten Befunde sind im Anhang 4, 5 und 6 aufgeführt.

Die Interventions- und Kontrollgruppe starteten jeweils mit einer moderaten Sturzangst. Die Interventionsgruppe blieb im gesamten Verlauf im Bereich der moderaten Sturzangst. Wohingegen die Kontrollgruppe nach 3 Monaten zuerst in die Kategorie der geringen Sturzangst fiel, um sich schließlich wieder dem Ausgangswert (moderate Sturzangst) anzunähern.

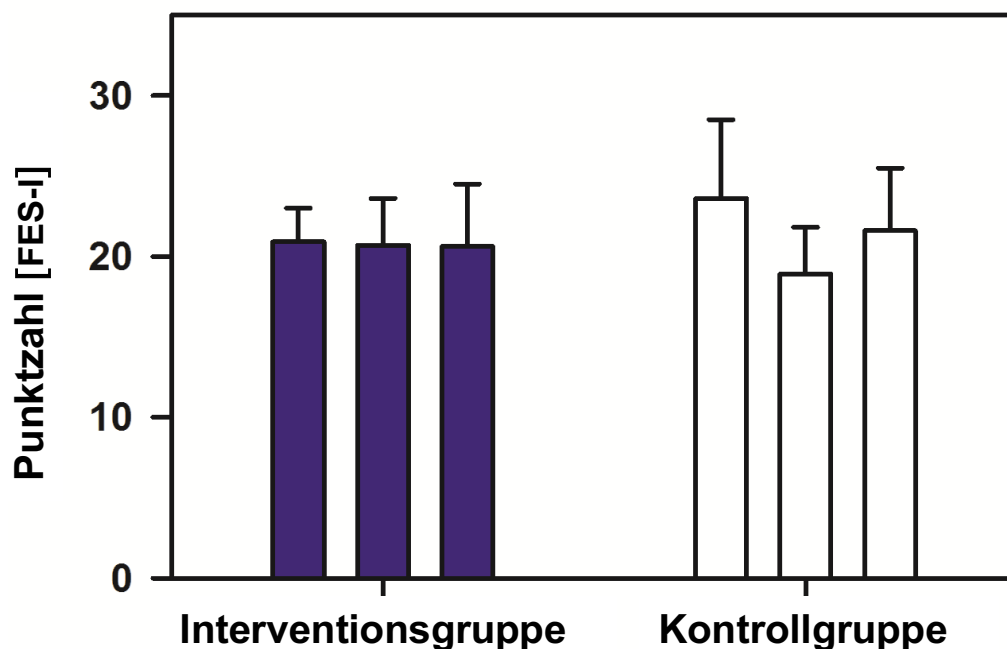


Abb. 18: Ergebnisse des FES-I Fragebogens

Grafische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen für die Interventionsgruppe (blau) und die Kontrollgruppe (weiß) für t₀ (0 Monate), t₁ (3 Monate) und t₂ (6 Monate)

4.3 Posturographie

Die Ergebnisse der Posturographie sind in Abb. 19 - 22 dargestellt. Eine detaillierte Darstellung der Befunde ist im Anhang 7, 8 und 9 aufgeführt.

Sowohl bei Messbedingung 1 (Abb. 19) als auch bei Messbedingung 2 (Abb. 20) zeigte sich ein ähnlicher Verlauf bei der Auslenkung und der Geschwindigkeit über die 6 Monate. Eine Ausnahme ergab sich bei der Messbedingung 2 (*stabiler Untergrund, geschlossene Augen*) nach 6 Monaten, bei der wir eine signifikant geringere medio-laterale Auslenkung nachweisen konnten (Abb. 20).

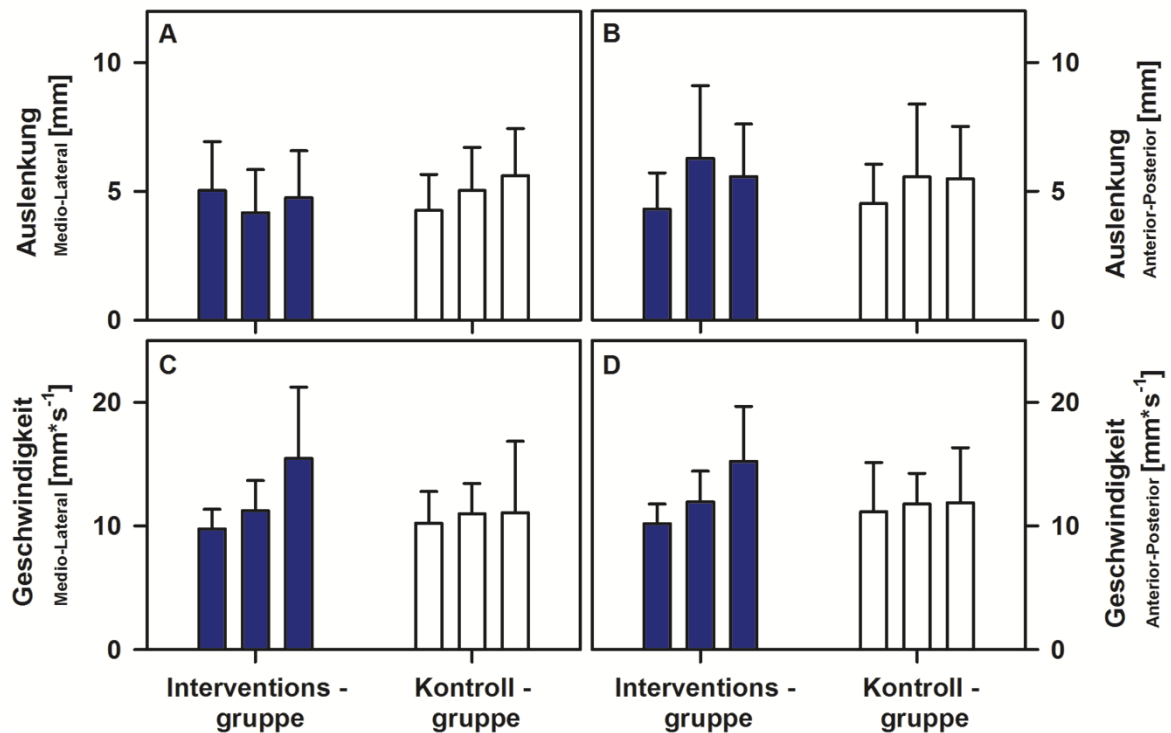


Abb. 19: Ergebnisse der Posturographie zu den Bedingungen - stabiler Untergrund und Augen geöffnet

Grafische Darstellung der Mittel und Standardabweichungen der Interventionsgruppe (blau) und Kontrollgruppe (weiß) zu den Messzeitpunkten $t_{0,1,2}$ (0, 3 und 6 Monate)

- A – Auslenkung nach medio-lateral [in mm]
- B – Auslenkung nach anterior-posterior [in mm]
- C – Geschwindigkeit medio-lateral [in $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]
- D – Geschwindigkeit anterior-posterior [in $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]

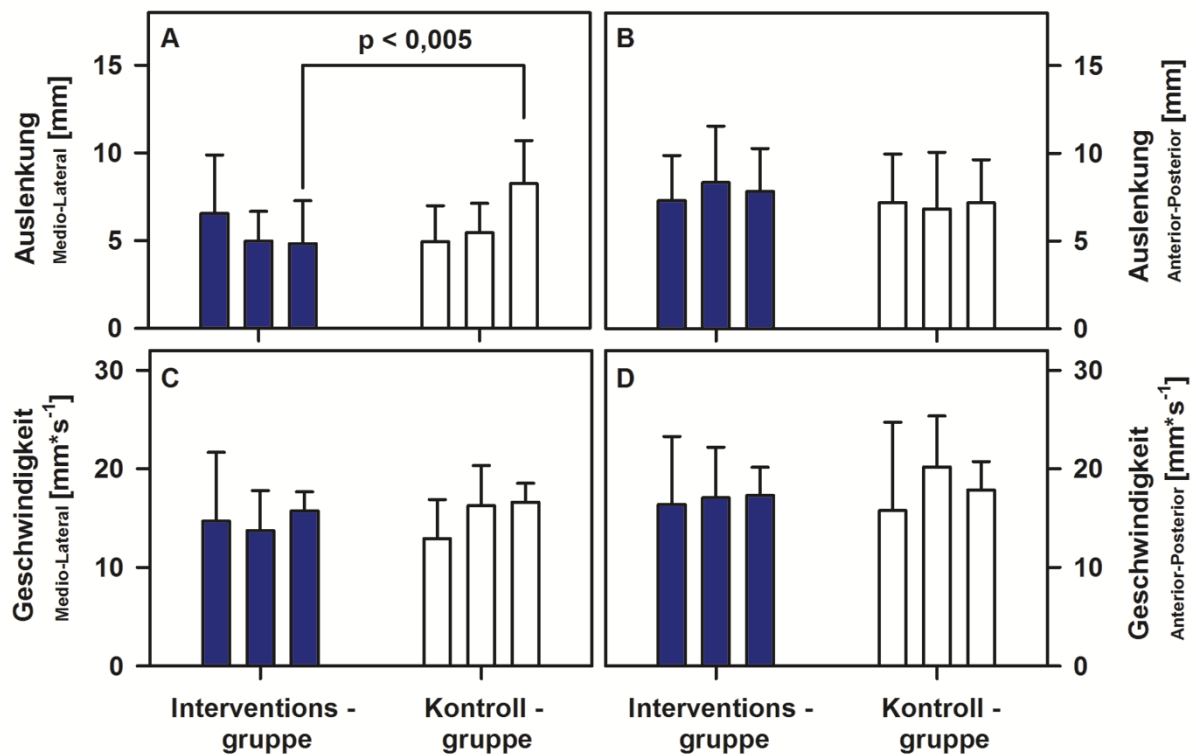


Abb. 20: Ergebnisse der Posturographie zu den Bedingungen - stabiler Untergrund und Augen geschlossen

Grafische Darstellung der Mittel und Standardabweichungen der Interventionsgruppe (blau) und Kontrollgruppe (weiß) zu den Messzeitpunkten t_{0,1,2} (0, 3 und 6 Monate)

- A – Auslenkung nach medio-lateral [in mm]
- B – Auslenkung nach anterior-posterior [in mm]
- C – Geschwindigkeit medio-lateral [in $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]
- D – Geschwindigkeit anterior-posterior [in $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]

Bei der Messbedingung 3 (Abb. 21) gab es lediglich tendenzielle Unterschiede hinsichtlich der medio-lateralen Geschwindigkeit zwischen der Kontroll- und Interventionsgruppe. Die Werte der Interventionsgruppe stiegen stetig an, wohingegen die der Kontrollgruppe über den gesamten Zeitraum konstant blieben.

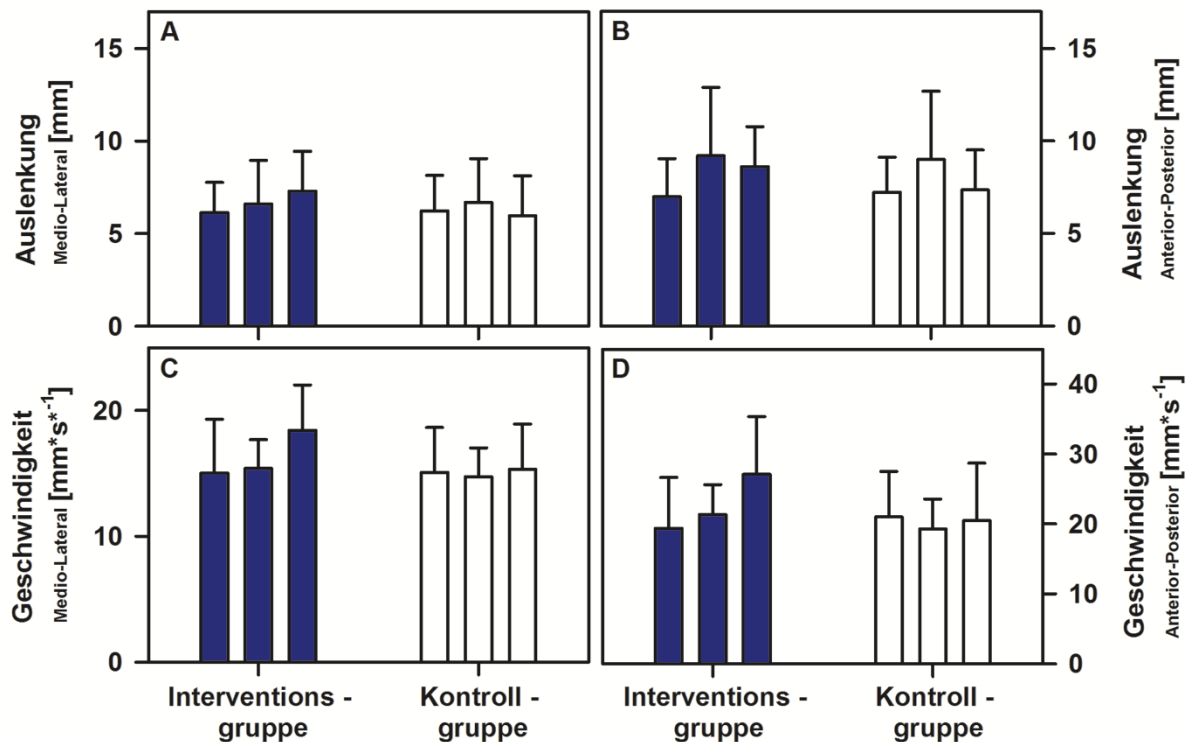


Abb. 21: Ergebnisse der Posturographie zu den Bedingungen - instabiler Untergrund und Augen geöffnet

Grafische Darstellung der Mittel und Standardabweichungen der Interventionsgruppe (blau) und Kontrollgruppe (weiß) zu den Messzeitpunkten $t_{0,1,2}$ (0, 3 und 6 Monate)

A – Auslenkung nach medio-lateral [in mm]

B – Auslenkung nach anterior-posterior [in mm]

C – Geschwindigkeit medio-lateral [in $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]

D – Geschwindigkeit anterior-posterior [in $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]

Bei der letzten Bedingung (Abb. 22) verhielten sich die Auslenkungen in medio-lateraler und anterior-posteriorer Richtung beider Gruppen gegensätzlich. Dabei verringerte sich die Auslenkung des Körperschwerpunktes in der Interventionsgruppe kontinuierlich, während dieser Parameter in der Kontrollgruppe zunahm.

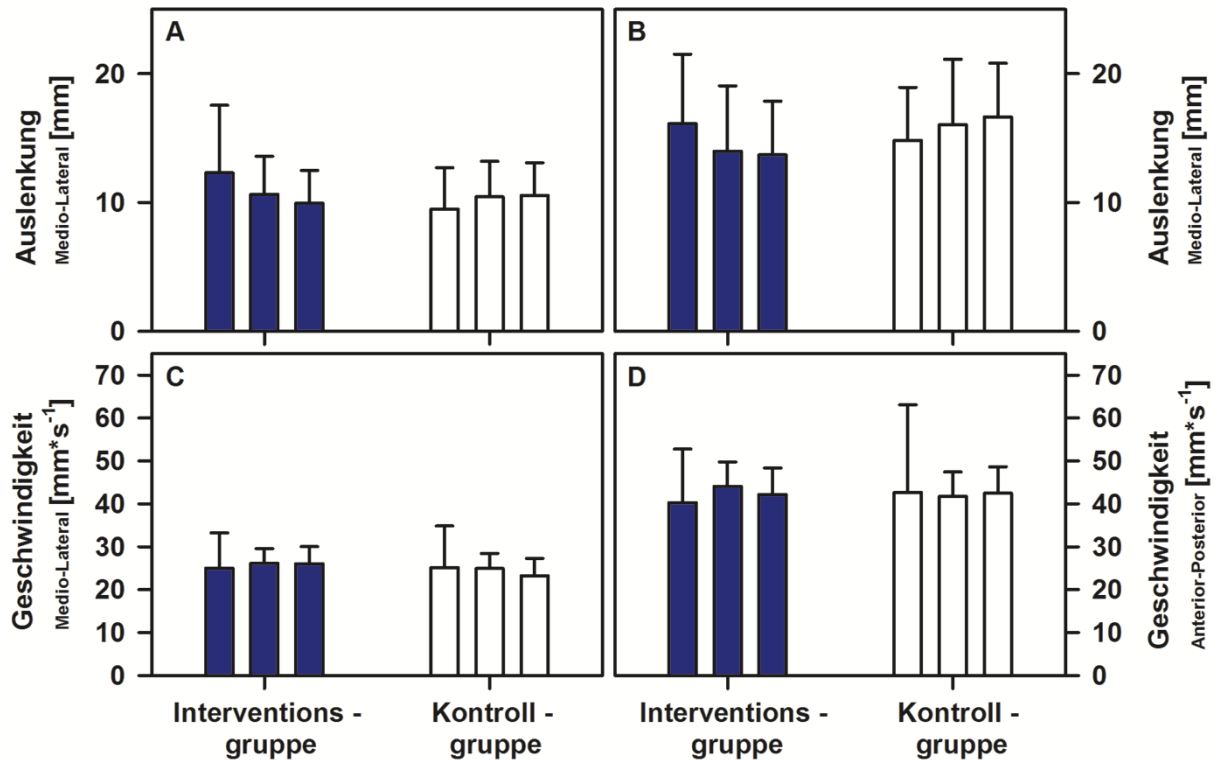


Abb. 22: Ergebnisse der Posturographie zu den Bedingungen - instabiler Untergrund und Augen geschlossen

Grafische Darstellung der Mittel und Standardabweichungen der Interventionsgruppe (blau) und Kontrollgruppe (weiß) zu den Messzeitpunkten $t_{0,1,2}$ (0, 3 und 6 Monate)

- A – Auslenkung nach medio-lateral [in mm]
- B – Auslenkung nach anterior-posterior [in mm]
- C – Geschwindigkeit medio-lateral [in $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]
- D – Geschwindigkeit anterior-posterior [in $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$]

4.4 Schrittzählertagebücher

Die Kontrollgruppe hat die Zahl der Schritte pro Tag über 6 Monate im Zeitraum (Dezember 2012 bis Mai 2013) protokolliert. Die Ergebnisse sind in Abb. 23 in einem Streudiagramm dargestellt. Es stellte sich eine stetig steigende Schrittzahl bis zum 4. Monat (März) dar, bevor sich die Schrittzahl wieder rückläufig zeigte.

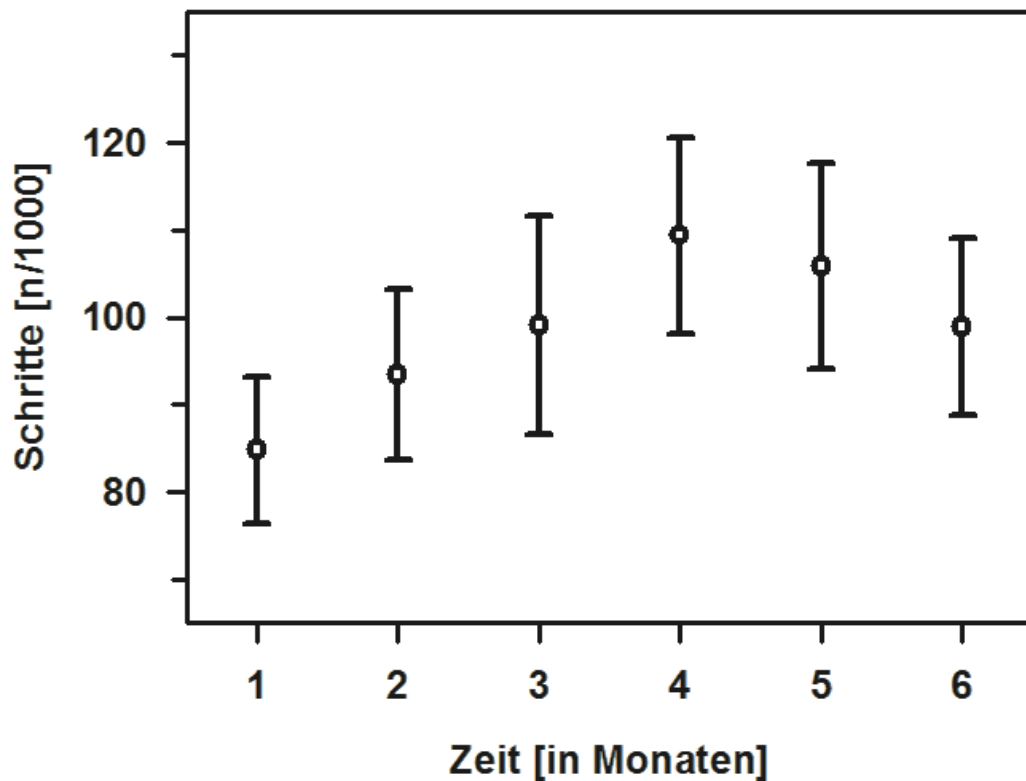


Abb. 23: Auswertung der Schrittzählertagebücher der Kontrollgruppe

Grafische Darstellung der monatlichen mittleren kumulierten Schrittzahl \pm Standardabweichung in Abhängigkeit vom Studienmonat

4.5 Time up and go-Test (TUG)

Der TUG-Test diente zur Bestimmung der mittleren Ganggeschwindigkeit. Da die Bestimmung der Zeit erst ab der Zwischenuntersuchung (t_1) durchgeführt wurde, war nur ein 3-monatiger Vergleich möglich. Dabei ergab der Gruppenvergleich keine signifikanten Unterschiede. Auffällig war lediglich die leichte Abnahme der mittleren Ganggeschwindigkeit nach 3 Monaten in beiden Gruppen (Tab. 4).

Tab. 4: Auswertung des TUG-Tests

Darstellung der mittleren Ganggeschwindigkeit mit den Standardabweichungen sowie des Medians mit der Spannweite (min.-max.) zu den Zeitpunkten t_1 (3 Monate) und t_2 (6 Monate) für die Interventionsgruppe (INT) und Kontrollgruppe (CON)

	TUG t_1		TUG t_2	
	INT	CON	INT	CON
Mittlere Geschwindigkeit in [cm/s]	71,7 ± 13,3	57,3 ± 12,4	67,8 ± 16,2	54 ± 11,5
Median (min.-max.) in [cm/s]	68,7 (51,4-98,9)	57,1 (37,5-74,3)	69,2 (40,3-92,3)	56,6 (32,8-75)

5 Diskussion

Bei unserer Studie handelt es sich um eine kontrolliert randomisierte Pilotstudie, bei der wir die Akzeptanz und Effektivität eines 6-monatigen Step-Aerobic-Trainings für Hochbetagte mit einer nachgewiesenen Osteoporose untersuchten.

Von anfangs 14 rekrutierten Probanden der Interventionsgruppe haben vier Probanden aufgrund gesundheitlicher oder persönlicher Gründe das Sportprogramm vorzeitig beendet. Die verbliebenen 10 Probanden konnten das halbjährige Trainingsprogramm ohne Trainingsunfälle abschließen.

Die gute Akzeptanz des Sports hinsichtlich der Intensität und Frequenz wurde durch eine regelmäßige Beteiligung, der sichtbaren Freude und dem steigenden Ehrgeiz der Probanden an diesem Programm schnell bestätigt.

Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht die posturale Kontrolle, wobei die Ergebnisse der Fragebögen zur Lebensqualität und Sturzangst in die Auswertung mit einbezogen wurden. Außerdem wurden laborchemische Parameter und Daten zur neuromuskulären Funktion erhoben, die allerdings in anderen Dissertationen (Frau Dr. med. J.-I. Kilb, Frau cand. med. Karoline Müller) detailliert thematisiert werden.

In den Themenkomplexen „Freizeit und soziale Aktivität“ und „Wahrnehmung der allgemeinen Gesundheit“ des QoL-Fragenbogens stellten sich Signifikanzen im Gruppenvergleich dar. Der FES-I Fragebogen ergab keine auffälligen Veränderungen.

Die Untersuchungen der posturalen Kontrolle zeigten lediglich eine signifikante Veränderung in der Interventionsgruppe nach 6 Monaten bei der medio-lateralen Auslenkung auf stabilen Untergrund mit geschlossenen Augen.

5.1 Auswertung der Fragebögen zur Lebensqualität und Sturzangst

Der QoL Fragebogen konnte im Gruppenvergleich signifikante Auffälligkeiten in zwei Themenkomplexen aufzeigen. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Schröder et al. in ihrer Studie, in der die Auswirkungen körperlichen Trainings mit einem Schlingentraining, also einem Seil- und Schlingensystem, an dem die Osteoporosepatienten mit ihrem eigenen Körpergewicht als Widerstand trainierten, auf die Lebensqualität untersucht wurden. Nach einem 3-monatigen

Training (2 x wöchentlich) stellten sich signifikante Verbesserung in der Lebensqualität dar (Schröder et al. 2012). Sowohl Schröder et al. als auch Sinaki et al. konnten neben einer verbesserten körperlichen Leistungsfähigkeit und einer gesteigerten täglichen Aktivität einen signifikanten Rückgang der Schmerzen feststellen. Im Themenkomplex „Schmerzen“ des QoL- Fragebogens fanden sich bei den Probanden Unterschiede. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, bei einer Studierenerweiterung ein Schmerztagebuch einzuführen, um die Auswirkung des Programms auf die Lebensqualität besser einschätzen zu können.

Die Mehrheit der Osteoporosepatienten leidet an chronischen Rückenschmerzen, die das Potenzial haben die Lebensqualität deutlich einzuschränken. Menschen, die dauerhaft Schmerzen empfinden, neigen häufig zu Depressionen, woraus ein gesellschaftlicher Rückzug mit einer schrittweisen Reduktion der täglichen Aktivität resultiert (Liu-Ambrose et al. 2003; Osnes et al. 2004; Verschueren et al. 2011; Sinaki and Lynn 2002). Neben der Schmerzreduktion kann eine Gruppenintervention einer sozialen Isolation entgegenwirken. Der Spaß am Sportprogramm, eine positive Entwicklung der Leistungsfähigkeit und regelmäßige soziale Kontakte können auch bei älteren Menschen die Lebensfreude wecken und den Wunsch nach einer Teilnahme am gesellschaftlichen Leben fördern. In diesem Sinne ist die signifikante Veränderung in der Interventionsgruppe im Themenkomplex „Freizeit und soziale Aktivitäten“ als ein Hinweis auf den positiven Effekt des Gruppentrainings zu werten. Fujita et al. konnten mit einem vergleichbaren Programm gleiche Effekte bei gruppenbasiertem Training beobachten. Dabei ermöglichte er fragilen Menschen einen späteren Einstieg in die Gruppenintervention durch ein initial videobasiertes Programm. Über ein ähnliches Vorgehen sollte auch bei einer flächendeckenderen Ausweitung unseres Studienprogramms nachgedacht werden. Dabei könnten wir fragileren Probanden, die aufgrund ihrer ländlicheren Wohnlage nur eingeschränkt mobil sind, einen videobasierten Zugang zu unserem Step-Aerobic-Training ermöglichen (Fujita et al. 2016).

Neben der Freude am Sportprogramm haben laut Sherrington et al. Herausforderungen zum Erreichen neuer Fähigkeiten (z.B. neue Bewegungselemente / Figuren), die das Gleichgewicht fördern, den größten Effekt auf die Senkung des Sturzrisikos. (Sherrington et al. 2011).

Mit zunehmender Kurslänge und dem neu erarbeiteten Selbstbewusstsein unserer Sportler beobachteten wir ein vergleichbares Verhalten. Der Reiz mit

neuen schwierigeren Übungen an die physische Grenze zu gelangen, war Inhalt jeder Trainingseinheit und führte zur sukzessiven Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit.

Beim Vergleich anderer Studien mit einem ähnlichen Sportprogramm zeigten sich erhebliche Schwankungen der Ergebnisse der Falls Efficiency Scale - International Version (FES-I). Einige Autoren konnten nach nur 3 Monaten signifikante Verbesserung des FES-I feststellen, wohingegen sich bei anderen Autoren keine Verbesserung im gleichen Zeitraum nachweisen ließ. Dabei scheint die Art des Sportes sowie die Anteile der Trainingsinhalte (Balance-, Kraft-, Ausdauertraining) das Ergebnis entscheidend zu beeinflussen.

So konnten die Ergebnisse des FES-I von Katrancha et al. in einem 12-wöchigen Tai-Chi-Programm (3 x wöchentlich, 36 Einheiten) ebenfalls keine signifikanten Auffälligkeiten hinsichtlich der Sturzangst aufweisen. Es stellten sich lediglich dezente Unterschiede zwischen den absolvierten Einheiten und der Punktzahl des FES-I dar, d.h. je höher die Trainingsbeteiligung war, desto geringer war die Sturzangst (Katrancha et al. 2015). Andere Tai-Chi-Studien erreichten dagegen Sturzangstreduktionen von bis 10 % innerhalb weniger Monate (Gusi et al. 2012; Lin et al. 2006).

Gusi et al. integrierte zusätzlich noch Gleichgewichtsübungen in ihrer Studie. Dabei trainierten die Probanden lediglich einmal wöchentlich 30 min auf dem „Biodex Balance System“, einer runden Plattform, die durch Veränderungen der Lage das dynamische Gleichgewicht aktiviert und es konnte eine signifikante Verringerungen der Sturzangst bei der Interventionsgruppe innerhalb von 12 Wochen festgestellt werden (Gusi et al. 2012).

Andere Studien, die Balancetraining mit kardiopulmonalen Anteilen erweiterten, ähnlich unserem modifizierten Step-Aerobic-Training, konnten z.B. in einem 3-monatigen Training (2 x wöchentlich, 1 Stunde) kombiniert mit Schulungen zur Vermeidung von Stürzen eine Verringerung der Sturzangst nachweisen (Olsen and Bergland 2014). Schulungen zur Aufklärung möglicher Gefahrenquellen von Stürzen wurden in unserer Studie nicht durchgeführt, könnte aber eine durchaus sinnvolle Erweiterung der Studie sein.

Paradoxerweise fiel die Kontrollgruppe nach den ersten 3 Monaten mit einer geringeren Sturzangst auf. Es ist zu vermuten, dass dieser Effekt durch die Jahreszeiten bedingt ist, da die Schrittzahl der Kontrollgruppe in den Wochen vor der zweiten Untersuchung (Februar und März) stetig stieg. Das moderate Wetter

und die länger werdenden Tage könnten zu einer längeren Gehstrecke und indirekt zu einer Verringerung der Sturzangst geführt haben, da „Glatteis“ als gefürchtete Ursache für Stürze eine geringere Rolle spielt.

Die Verringerung der Sturzangst war jedoch nur ein kleiner Teil unserer Studienziele. Vor allem wollten wir altersbedingte Defizite, wie die Schwächung der muskuloskelettalen Einheit und der posturalen Kontrolle gleichermaßen verbessern. Gesellschaftliche Isolation, Depressionen oder Erkrankungen, wie ein Apoplex, Demenz oder M. Parkinson, sind mögliche Faktoren sinkender alltäglicher physischer und kognitiver Anforderungen, die zu einer Schwächung der körperlichen Leistungsfähigkeit führen können (Liu-Ambrose et al. 2003; Fischer et al. 2014; Grobe et al. 2017). Je mehr Aufgaben der Mensch gleichzeitig absolviert, desto langsamer werden Bewegungen wie u.a. das Gehen ausgeführt („Stop walking when talking“), wobei dieses Phänomen unabhängig vom Alter ist. Junge Menschen können aufgrund noch besser funktionierender Feedbackmechanismen z.B. einen drohenden Sturz effektiver kompensieren. Ab dem 50. Lebensjahr zeigt sich allerdings ein erhöhtes Sturzrisiko, dass mit jeder weiteren Lebensdekade nahezu exponentiell steigt (Fischer et al. 2014; Granacher, Bridenbaugh, et al. 2011).

Grobe et al. konnten einen Zusammenhang von kognitiver Müdigkeit und Schwankungen herstellen. Je nach Tageszeit und -form wiesen die Probanden Veränderungen des Schwankungsverhaltens auf, sodass bei länger andauernden Tätigkeiten v.a. in der zweiten Tageshälfte zunehmende Schwankungen beobachtet wurden (Grobe et al. 2017). Ritzmann et al. konnten dies mit Hilfe des Pedar® Novel Systems, einer druckempfindlichen Matte, bei länger andauernden Gleichgewichtsübungen aufgrund steigender Müdigkeit nachweisen (Ritzmann et al. 2016). Ähnliche Zusammenhänge wurden auch von Liu-Ambrose et al., Granacher, Muehlbauer et al. und Hall et al. beschrieben, die in ihren Studien kognitive Defizite oder mögliche Grunderkrankungen, wie z.B. Demenz mit Hilfe des Mini-Mental-Tests schon vor Beginn der Intervention detektierten. Daher ist die Aufnahme des Tests in die Einschlusskriterien bei einer möglichen Fortführung der Studie sinnvoll (Liu-Ambrose et al. 2003; Granacher, Muehlbauer, et al. 2011; Hall et al. 2011).

5.2 Auswirkungen des Trainingsprogramms auf die posturale Kontrolle

Zur Auswertung der posturalen Kontrolle wurden mit der Auslenkung des Körperschwerpunktes und der Schwankungsgeschwindigkeit in anterior-posteriorer und medio-lateraler Richtung zwei Parameter des Schwankungsverhaltens untersucht.

Unsere Ergebnisse bei der Auslenkung decken sich dabei mit denen von Shigematsu et al. Der Autor konnte mit seiner Studiengruppe nach einem 3-monatigen Tanz-Aerobik-Kurs mit Hochbetagten Gleichgewichtsverbesserungen mit geschlossenen Augen nachweisen. Der Einbeinstand, als Teil unseres Sportprogramms, wurde allerdings mit geöffneten Augen durchgeführt und nicht gesondert in den drei Untersuchungen getestet. Es stellt aber bei einer Studienfortführung eine leicht umzusetzende Erweiterung des Untersuchungsprotokolls dar, um einen schnellen Überblick über die Gleichgewichtsfähigkeiten der Probanden zu erhalten (Shigematsu et al. 2002).

Bis auf die medio-laterale Auslenkung der Interventionsgruppe nach 6 Monaten ergaben sich bei der Posturographie keine weiteren Signifikanzen. Häufig stellten sich jedoch Tendenzen einer Verringerung der Auslenkung in der Interventionsgruppe dar. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Granacher et al., der nach einem 8-wöchigen Salsatanzkurs mit älteren Menschen ebenfalls lediglich Tendenzen einer verminderten anterior-posterioren Auslenkung bei der Posturographie beobachtete. Allerdings konnten in dieser Studie signifikante Verbesserungen hinsichtlich der dynamischen posturalen Kontrolle mit einem auf Druck empfindlichen Laufweg nachgewiesen werden (Tab. 5). Im Gegensatz zu dem dynamischen Step-Aerobic-Programm sind die eher statischen Untersuchungen der Posturographie möglicherweise ein Grund für die eher geringere Aussagekraft unserer Ergebnisse. Bei einer möglichen Erweiterung der Studie sollte auf ein System zur Erfassung der dynamischen posturalen Kontrolle zurückgegriffen werden (Granacher et al. 2012).

Tab. 5: Übersicht von Messgeräten zur Bestimmung der dynamischen posturalen Kontrolle

Sortiert nach dem Umfang und Aufwand der verwendeten Messgeräte mit Beispielsystem und Autoren, die die Systeme bereits klinisch verwenden.

Autoren	System	Merkmale
Germano, Schlee, and Milani 2012; Sattlecker et al. 2014	Einlegesohle (z.B. The pedar® system (Pedar, Novel Germany))	Druckempfindliche Einlegesohle zur individuelle Aufzeichnung (24h / 7d), u.a. zur Bestimmung der dynamischen posturalen Kontrolle, der Schrittlänge, 3 D Darstellung der Druckverteilung des Fußes beim Gehen
Ritzmann et al. 2016	Unterlage (z.B. posturo footpat® sensor mats , Pedar Novel Germany)	Druckempfindliche Unterlage / Matte z.B. zur Messung der dynamischen posturalen Kontrolle, 3 D Druckverteilung des Fußes
Granacher, Muehlbauer Bridenbaugh et al. 2012	GAIT Rite © System (Havertown, Pa., USA)	2 - 10 m langer, druckempfindlicher Laufweg mit Möglichkeit zur Erfassung der Schrittlänge, -geschwindigkeit
Granacher, Muehlbauer & Gruber 2012	OptoGait (Microgate Corporation)	Laufweg zur Analyse von Gang- oder Laufbewegungen mit z.B. der Möglichkeit der Messung von Geschwindigkeit und Beschleunigung für jeden Fuß, Parameter für Asymmetrien im Gangbild und der dynamischen posturalen Kontrolle
Kizony et al. 2010; El Makssoud et al. 2009	CAREN (Computer Assisted Rehabilitation Environment, MOTEK Medical (Amsterdam, Netherlands))	Multisensorisches virtuelles Realitätssystem (hydraulische Basis, Projektion einer virtuellen Umgebung zur Bestimmung u.a. der statischen und dynamischen posturalen Kontrolle, Ganganalyse, kognitiven Anpassung)

Insbesondere die posturale Kontrolle als Beispiel der höheren neuronalen Verarbeitung ist von einer geringeren kognitiven Fähigkeit beeinflusst und kann zu veränderten Bewegungsabläufen (Armschwung und Gangsymmetrie) führen. Verschiedene Autoren konnten nachweisen, dass sich der Gang bei Probanden aller Altersgruppen mit zunehmender kognitiver Beanspruchung, wie z.B. Rechnen, Sprechen oder Buchstabieren, verlangsamt (Hall et al. 2011; Granacher, Muehlbauer, and Gruber 2012). Neben der Gangvariabilität führen bei Hochbetagten auch anatomisch bedingte Haltungsfehler (Kyphose) durch die Verlagerung des Körperschwerpunktes zu einer erhöhten Sturzgefahr. Zur Kompensation greifen ältere Menschen häufig auf die „Hüft-Strategie“ zurück, die ihnen durch eine erhöhte Aktivität der Hüft- und unteren Lumbalmuskulatur zu einer vermeintlichen Haltungsstabilisierung verhilft. Ganz ähnliche Muster ließen sich bei der Posturographie unserer Probanden beobachten. Vor allem körperlich fragilere Probanden schwankten zu Beginn eines Untersuchungsdurchlaufes vom Zentrum des anfänglichen Kraftangriffspunktes zu einem neuen Kraftangriffspunkt auf der Untersuchungsfläche um deren Zentrum sich dann die weiteren Auslenkungen häufig darstellten.

Das Problem dieser Strategie ist allerdings, dass das System der posturalen Kontrolle in dieser Position meist schon ausgereizt ist und schon geringe extrinsische Faktoren oder Impulse (Hindernisse, Anrempeln) zu einem Sturz führen. Deutlich effektiver und anpassungsfähiger zur Vermeidung von Stürzen ist die Haltungsstabilisierung über die Sprunggelenke, wie sie von jüngeren Menschen verwendet wird (Liu-Ambrose et al. 2003; Granacher, Muehlbauer, et al. 2011). Granacher, Muehlbauer et al. fassten zusammen, dass die meisten Stürze Hochbetagter nicht bei der Kompensation eines Hindernisses (reaktiv), sondern während der Aufrechterhaltung einer stabilen Sitz-, Stand- oder Gangposition („Steady-State“) geschehen. Hinweise auf die Beeinträchtigung dieser Komponenten des Gleichgewichts können die Geschwindigkeiten der Schwankungen und des Ganges geben.

Betrachtet man die Geschwindigkeit der Auslenkung unserer Probanden, zeigten sich in der Interventionsgruppe bei fast allen 4 Messbedingungen eine Steigerung der Auslenkungsgeschwindigkeit über die 6 Monate. Lediglich bei der anspruchsvollsten aller 4 Bedingungen, dem Stand auf einem instabilen Untergrund mit geschlossenen Augen, konnte dieses Phänomen nicht beobachtet werden. Eine solche Entwicklung wurde auch bei der Kontrollgruppe nachgewiesen, allerdings nur beim Stand auf stabilem Untergrund mit geöffneten

und geschlossenen Augen. Eine mögliche Erklärung für die Verbesserung der Kontrollgruppe könnte erneut der Jahreszeitenwechsel sein (Studienzeitraum: Dezember bis Mai). Bei Betrachtung der Schrittzählertagebücher konnten wir ab Februar eine Steigerung der Schrittzahl beobachten. Aufgrund der alltagsähnlichen Bedingungen konnte diese Verbesserung allerdings nur auf stabilem Untergrund beobachtet werden. Einen instabilen Untergrund (z.B. nasses Laub etc.) versuchen alte Menschen aufgrund des Sturzrisikos vermutlich zu vermeiden.

Über einen Zeitraum von 10 Jahren wurden in Schweden ebenfalls jahreszeitliche Schwankungen in der täglichen Aktivität festgestellt. Dabei zeigte sich dieser Effekt sowohl bei der Kontroll- als auch der Interventionsgruppe, was sich letztendlich erst durch die Anpassung des Schuhwerks mit „Spikes“ änderte (Grahn Kronhed and Salminen 2017).

Wir werten die gesteigerte Auslenkungsgeschwindigkeit der Interventionsgruppe als Zeichen der positiven Anpassung der kognitiven und neuromuskulären Leistungsfähigkeit. Zu ähnlichen Schlussfolgerungen kamen Uusi-Rasi et al., die in einem 12-wöchigen Interventionsprogramm (3 x wöchentlich, 1 Stunde) mit einem vergleichbaren Anforderungsprofil Erhöhungen der Schwankungsgeschwindigkeiten beobachteten (Uusi-Rasi et al. 2017). Weitere Autoren (Nagy et al. 2007; Sherrington et al. 2011) bestätigen diese Ansicht, wobei häufig nur auffällige Tendenzen hinsichtlich einer Erhöhung der Auslenkungsgeschwindigkeit festgestellt wurden.

Hoxie et al. fanden in ihrer Studie heraus, dass die mittlere Ganggeschwindigkeit zur Überquerung einer Straße während einer grünen Ampelphase mindestens 120 cm/s betragen sollte. In ihrer Studie fielen allerdings 96 % der Fußgänger über 65 Jahren mit einer mittleren Ganggeschwindigkeit unter 120 cm/s auf (Hoxie et al. 1994; El Makssoud, Richards, and Comeau 2009; Kizony et al. 2010).

Bei Betrachtung der Phasen zur Überquerung einer Straße kann man eine Anlaufphase und die Gehstrecke zur anderen Straßenseite, mit z.T. Hindernissen wie z.B. Mittelinseln, Bordsteinkanten oder entgegenkommenden Menschen, unterteilen.

In unserer Studie diente der TUG-Test in erster Linie der Untersuchung des Sturzrisikos und der Funktionalität des Bewegungsapparates, wobei einige Probanden mit einer erhöhten Sturzgefahr auffielen. Allerdings weist der TUG-Test mit der Startphase (Aufstehen), einer vorgegebenen Strecke (6 m) mit einer Drehung und der Endphase (Hinsetzen) ein vergleichbares Anforderungsprofil auf, wie das Überqueren einer Straße. Dabei stellte sich heraus, dass keiner unserer Probanden eine mittlere Ganggeschwindigkeit von 120 cm/s erreichte. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Guralnik et al., deren Arbeitsgruppe bei 99 % seiner 5000 untersuchten über 70-Jährigen eine Ganggeschwindigkeit deutlich unter 120 cm/s nachwies. Seine Probanden waren im Mittel mit einer Geschwindigkeit von 93 cm/s unterwegs. Einige unserer Probanden erreichten diese Geschwindigkeit ebenfalls, wobei diese zu den körperlich Leistungsfähigsten gehörten. Aufgrund der kognitiven und visuellen Beanspruchung bei der Überquerung einer Straße oder den Anforderungen des TUG-Tests können jedoch nur wenige auf ihre Maximalgeschwindigkeit zurückgreifen, da durch die Verlangsamung des Ganges potentielle Gefahren besser kompensiert werden (Langlois et al.; Guralnik et al. 1994). Wahrscheinlich hätten unsere Probanden auf gerader Strecke und ohne Hindernisse auch Geschwindigkeiten über 120 cm/s erreicht. Bei Granacher et al. schafften die Hochbetagten Probanden einen 10 m-Laufweg mit einer Ganggeschwindigkeit von 133,8 cm/s zu überqueren, was zeigt, dass ältere Menschen durchaus in der Lage sind auch höhere Geschwindigkeiten zu erreichen, dies aber stark von den äußeren Einflüssen abhängig ist (Granacher, Bridenbaugh, et al. 2011).

Eine Erweiterung der Studienuntersuchungen um die Komplexitäten des Alltags besser simulieren zu können, kann der „Walk While Talk“-Test sein, der ähnlich wie der TUG-Test eine Gehstrecke (insgesamt 12,2 m) mit einer Drehung auf der Hälfte der Strecke und der Erweiterung einer kognitiven Aufgabe (Alphabet aufsagen) aufweist. Der „Functional Gait“-Test verwendet neben kognitiven Aufgaben (z.B. um 3 Rückwärtsrechnen) gleichzeitig motorische Aufgaben, wie das Halten von 2 Wasserbehältern auf einer Strecke von rund 6 m. Bei beiden Tests wird die Zeit gestoppt und es kann die Geschwindigkeit ermittelt werden (Hall et al. 2011). Die genannten Tests können jedoch lediglich für die Messung der Ganggeschwindigkeit genutzt werden. Um das Gleichgewicht während des Gehens bewerten zu können, kann der „Dynamic Gait Index“ (DGI) hinzugezogen werden (Abb. 24).

Probanden mit einer verminderten Punktzahl haben Defizite in der posturalen Kontrolle. Der Test dient als Erweiterung der Diagnostik und Verlaufskontrolle der Sturzangst und posturalen Kontrolle und wurde z.B. von Hall et al. oder Herman et al. ebenfalls zu den häufiger verwendeten Tests (Tandemstand, TUG-Test oder Einbeinstand) hinzugezogen (Hall et al. 2011; Herman et.al. 2009).

Dynamic Gait Index		Kasten 1	
A	Patientenname	Geb.:	
	Tester		
	Hilfsmittel	Datum:	
Item		Punktzahl	
1	Gehen auf ebener Strecke 20 m		
2	Gehen mit Tempowechsel 5m normal, 5m schnell, 5m langsam		
3	Gehen mit Kopfdrehung rechts und links		
4	Gehen und nach oben und nach unten schauen		
5	Gehen und Drehung um 180°		
6	Gehen über Hindernisse		
7	Gehen um Hindernisse links und rechts herum		
8	Treppensteigen		
Punkte insgesamt (max. 24 Punkte)			

DGI: Punkteverteilung		Kasten 2	
B	3	normal	
	2	leichte Einschränkung	
	1	mittlere Einschränkung	
	0	starke Einschränkung	

Abb. 24: Dynamic Gait Index

Anforderungen des alltäglichen Lebens werden in 8 Themenkomplexen bewertet (**A**). Die Bewertung der Antworten wird wie in **B** vorgenommen. Die maximale Punktzahl beträgt 24 (Schädler 2006)

5.3 Grenzen der vorliegenden Arbeit und Ausblick

Auch wenn unser Sportprogramm aus klinischer Sicht erfolgreich war, konnten in der statistischen Analyse nur wenige Parameter diesen Erfolg untermauern. Da auch andere Autoren mit ähnlichen Sportprogrammen nur geringe „statistische Erfolge“ erzielten, lässt sich daraus schließen, dass es schwierig ist aus einem komplexen Sportprogramm Parameter abzuleiten, die den Erfolg statistisch belegen. Hängen die erbrachten Leistungen der Untersuchten doch zu

sehr von eher schwer zu beeinflussenden Variablen wie z.B. der Tagesform ab. Dazu trägt die Stichprobengröße unserer Studie mit $n = 30$ Probanden unweigerlich bei.

Wenn man plant, diese Studie fort zu führen, dann sollten folgende Aspekte am Studienprotokoll ergänzt werden:

Die kognitive Leistungsfähigkeit ist für die richtige Ausführung vorgegebener Übungen wichtig und schon geringe Defizite können z.B. die Ergebnisse der Posturographie beeinflussen. Hinweis auf solche kognitiven Defizite kann der Mini-Mental-Test geben, der ab einer Punktzahl unter 29 (max. 30 Pkt.) als suspekt zu bewerten ist und bei niedrigeren Werten ggf. zum Ausschluss des Probanden aus der Studie führen sollte. Die Ergebnisse dieses Tests sollten in die Ein- und Ausschlusskriterien eingehen.

Bei der Zielgruppe unserer Teilnehmer handelt es sich um die Generation der Kriegs- und Nachkriegszeit, d.h. die Probanden wuchsen mit einer klaren gesellschaftlichen Rollenverteilung auf. Diese Erziehung und Prägung kann bei einer gemischten Sportgruppe durch Scham und Eitelkeit zu einer Leistungsminderung und zu Konzentrationsschwächen führen, die den Erfolg des Trainings mindern oder sogar Unfälle provozieren könnten. Auch wenn das deutliche Ungleichgewicht unserer Interventionsgruppe (2 Männer, 14 Frauen) keinen sichtbaren Einfluss auf die Leistung der Probanden hatte, sollte trotzdem auf eine homogenere Geschlechterverteilung geachtet werden. Dies sollte allerdings nicht den vollkommenen Ausschluss männlicher Probanden beinhalten, sondern es sollte vielmehr auf ein zu starkes Ungleichgewicht von Männern und Frauen in der Trainingsgruppe geachtet werden. Außerdem erschwert eine inhomogene Gruppe die statistische Auswertung und beeinflusst die Aussagekraft der Ergebnisse.

Des Weiteren stellt sich die Frage, ob eine Ergometrie für die Leistungsdiagnostik im OSP letzten Endes wirklich notwendig war. Zwar diente die Fahrradergometrie zur Einteilung der individuellen Leistungsfähigkeit, um in den Trainingseinheiten einen besseren Überblick über die persönlichen Leistungsgrenzen zu haben. Im Nachhinein betrachtet, sind die individuellen Leistungsgrenzen nicht erreicht worden, da die Probanden im Falle einer Grenzüberschreitung ihre Trainingsintensität immer selbstständig anpassten.

Statt der zeitaufwendigen apparativen und hochspezialisierten Untersuchungen ist die Integration "einfacher" Tests mit z.T. alltagsrelevante Situationen

sinnvoller. Neben den von uns verwendeten Tests (Tandem, TUG-Test, Chair-Raising-Test) könnte die Untersuchung um den Einbeinstand, den „Walk While Talk“ und „Functional Gait-Test“ erweitert werden, da insbesondere die letzten beiden aufgrund der komplexeren Aufgaben alltagsnäher sind. Außerdem können Aufgaben des täglichen Lebens, wie das Transportieren eines definierten Einkaufs über eine festgelegte Strecke (z.B. Straßenüberquerung innerhalb einer Ampelphase) oder das Zusammenlegen einer vorgegebenen Wäschemenge in die Untersuchung aufgenommen werden. Dabei handelt es sich weniger um valide Testungen, als um eine Einschätzung der Erfolge des Trainings mit Bezug auf alltagsrelevante Tätigkeiten.

Bisher musste lediglich die Kontrollgruppe ein Schrittzählertagebuch führen, um ihre tägliche Aktivität besser beurteilen zu können. Um beide Gruppen besser vergleichen zu können, sollte die Interventionsgruppe ebenfalls einen Schrittzähler erhalten. Zudem kann das tägliche Eintragen der Schritte in das Tagebuch genutzt werden, um die Intensität eventuell vorhandener Schmerzen zu erfassen (numeric rating scale (NRS 0 - 10)) und somit Änderungen der Lebensqualität im Verlauf besser nachweisen zu können.

Außerdem empfiehlt es sich die Posturographie um die Testung der dynamischen posturalen Kontrolle zu erweitern. Unser Sportprogramm besitzt mit der Hauptbelastungsphase überwiegend dynamische Komponenten, weshalb die Auswirkung der dynamischen im Gegensatz zur statischen posturalen Kontrolle überlegen sein könnte und die Ergebnisse eine größere Aussagekraft erhalten würden. Mögliche Systeme wurden in Tab. 5 aufgeführt, wobei das Insole Pedar® Novel System eine kontinuierliche Messung ermöglicht und diese unabhängig der Tageszeit und -form erfolgt. Dadurch können tageszeitenabhängige Schwankung aufgezeichnet und vielleicht sogar individuelle Sturzprophylaxeschemata erarbeitet werden, zu welchen Tageszeiten oder nach welchen Aktivitäten die Probanden sich besonders vorsichtig verhalten oder gar eine Pause einlegen sollten.

6 Zusammenfassung

Der durch den Alterungsprozess bedingte körperliche und kognitive Abbau der Leistungsfähigkeit wird durch mangelnde Beanspruchung beschleunigt. Die Folgen eines Sturzes gehen insbesondere bei Osteoporosepatienten mit einem erhöhten Frakturrisiko einher. Daher sollte das Aufrechterhalten oder gar Verbessern der Leistungsfähigkeit das zentrale Ziel eines Sportprogramms für Senioren sein, wobei sich die Frage nach dem „Wie“ stellt.

Nach umfangreichen Recherchen hat sich unser interdisziplinäres Team für ein modifiziertes Step-Aerobic-Programm zur Steigerung der posturalen Kontrolle und Kraft in den unteren Extremitäten entschieden und es in einer Pilotstudie unter verschiedenen Aspekten evaluiert. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die posturale Kontrolle unter vier Bedingungen (Augen offen / geschlossen, stabiler / instabiler Untergrund) gemessen und es konnte gezeigt werden, dass dieses Training einen positiven Effekt auf die posturale Kontrolle hat, wobei die medio-laterale Auslenkung des Körperschwerpunktes mit offenen Augen mit einer signifikanten Verbesserung auffiel. Bei den anderen Bedingungen zeigten sich positive Tendenzen, als Zeichen der Anpassung der muskuloskelettalen Einheit.

Dagegen waren diese Effekte bei der Kontrollgruppe nicht zu beobachten und die posturale Kontrolle wurde mit zunehmendem Alter im Laufe der Studie eher schlechter.

Wir konnten die Leistungsfähigkeit der Hochbetagten zumindest in der Sportgruppe auf dem vorhandenen Niveau stabilisieren, in einigen Fällen gelang sogar eine Verbesserung. Bei allen Probanden dieser Gruppe stieg im Laufe der Studie die Lebenszufriedenheit, Freude am Sport und der Ehrgeiz konnte geweckt werden. Dies ging so weit, dass die Probanden auch nach Studienende den Sport fortführten, da sie auf die positiven Effekte des Trainings nicht verzichten wollten.

7 Thesen

1. Mehr als 8 Millionen Menschen leiden in Deutschland an einer behandlungsbedürftigen Osteoporose.
2. 30 % der postmenopausalen Frauen erkranken an einer Osteoporose.
3. Die Stärkung der muskuloskelettalen Einheit senkt das Sturzrisiko.
4. Die körperliche Leistungsfähigkeit unterliegt jahreszeitlichen Schwankungen.
5. Ein an das Alter angepasster Sport hat das Potenzial, dem gesellschaftlichen Rückzug entgegen zu wirken.
6. Die Interventionsgruppe zeigt im Vergleich zur Kontrollgruppe nach 6 Monaten Training eine größere Lebenszufriedenheit.
7. In dieser Arbeit führt das modifizierte Step-Aerobic-Training zu einer Verbesserung der medio-lateralen Auslenkung bei geöffneten Augen bei der Posturographie.
8. Eine gesteigerte Auslenkungsgeschwindigkeit des Körperschwerpunktes der Interventionsgruppe bei der Posturographie ist ein Zeichen der positiven Auswirkung des Step-Aerobic-Trainings auf die posturale Kontrolle und neuromuskuläre Anpassung der Probanden.

8 Literatur

- Allum, J.H.J., B.R. Bloem, M.G. Carpenter, M. Hulliger, and M. Hadders-Algra. 1998. 'Proprioceptive Control of Posture: A Review of New Concepts'. *Gait & Posture* 8 (3): 214–42. doi:10.1016/S0966-6362(98)00027-7.
- Aumüller, Gerhard. 2010. *Duale Reihe: Anatomie*. Edited by Andreas Doll Gerhard Aumüller, Gabriela Aust. 2. Auflage. Thieme;
- Behrens, Martin, Karoline Müller, Jill-Isabel Kilb, Lennart Schleese, Philipp K. E. Herlyn, Sven Bruhn, Thomas Mittlmeier, Hans-Christof Schober, and Dagmar-C. Fischer. 2017. 'Modified Step Aerobics Training and Neuromuscular Function in Osteoporotic Patients: A Randomized Controlled Pilot Study'. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* 137 (2). Springer Berlin Heidelberg: 195–207. doi:10.1007/s00402-016-2607-5.
- Blain, H., F. Abecassis, P.A. Adnet, B. Alomène, M. Amouyal, B. Bardy, M.P. Battesti, et al. 2014. 'Living Lab Falls-MACVIA-LR: The Falls Prevention Initiative of the European Innovation Partnership on Active and Healthy Ageing (EIP on AHA) in Languedoc-Roussillon'. *European Geriatric Medicine* 5 (6): 416–25. doi:10.1016/j.eurger.2014.07.010.
- Bleibler, F, P Benzinger, T Lehnert, C Becker, and H-H König. 2014. '[Cost of fractures in German hospitals--what role does osteoporosis play?].' *Gesundheitswesen (Bundesverband der Ärzte des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (Germany))* 76 (3). © Georg Thieme Verlag KG: 163–68. doi:10.1055/s-0033-1343437.
- Brandi, M. L. 2009. 'Microarchitecture, the Key to Bone Quality'. *Rheumatology* 48 (suppl 4). Oxford University Press: iv3-iv8. doi:10.1093/rheumatology/kep273.
- Chiba, Ryosuke, Kaoru Takakusaki, Jun Ota, Arito Yozu, and Nobuhiko Haga. 2015. 'Human Upright Posture Control Models Based on Multisensory Inputs; in Fast and Slow Dynamics.' *Neuroscience Research*, December. doi:10.1016/j.neures.2015.12.002.
- Delbaere, K., J. C. T. Close, A. S. Mikolaizak, P. S. Sachdev, H. Brodaty, and S. R. Lord. 2010. 'The Falls Efficacy Scale International (FES-I). A Comprehensive Longitudinal Validation Study'. *Age and Ageing* 39 (2): 210–16. doi:10.1093/ageing/afp225.

- DGHO. n.d. 'Deutsche Gesellschaft Für Hämatologie Und Medizinische Onkologie e.V.' <https://www.onkopedia.com/de/onkopedia/guidelines/multiples-myelom/@@view/html/index.html>.
- DGNP 'Deutsche Gesellschaft Für Nährstoffmedizin Und Prävention e. V.'
- Dias, N., G. I. J. M. Kempen, C. J. Todd, N. Beyer, E. Freiberger, C. Piot-Ziegler, L. Yardley, and K. Hauer. 2006. 'Die Deutsche Version Der Falls Efficacy Scale-International Version (FES-I)'. *Zeitschrift Für Gerontologie Und Geriatrie* 39 (4): 297–300. doi:10.1007/s00391-006-0400-8.
- Donath, L, R Roth, C Hürlimann, L Zahner, and O Faude. 2016. 'Pilates vs. Balance Training in Healthy Community- Dwelling Seniors: A 3-Arm, Randomized Controlled Trial'. *Balance Training ... Int J Sports Med* 37: 202–10. doi:10.1055/s-0035-1559695.
- DVO Leitlinien. 2014. 'Dachverband Osteologie Leitlinie'. *Dachverband Für Osteologie DVO-Leitlinien 2014 Zur Prophylaxe, Diagnose Und Therapie Der Osteoporose Bei Erwachsenen*. www.dv-osteologie.org.
- El Makssoud, H., C.L. Richards, and F. Comeau. 2009. 'Dynamic Control of a Moving Platform Using the CAREN System to Optimize Walking Invirtual Reality Environments'. In *2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2009*:2384–87. IEEE. doi:10.1109/IEMBS.2009.5334973.
- Felleman, D J, and D C Van Essen. 'Distributed Hierarchical Processing in the Primate Cerebral Cortex.' *Cerebral Cortex (New York, N.Y. : 1991)* 1 (1): 1–47.
- Ferrucci, L, M Baroni, A Ranchelli, F Lauretani, M Maggio, P Mecocci, and C Ruggiero. 2014. 'Interaction between Bone and Muscle in Older Persons with Mobility Limitations.' *Current Pharmaceutical Design* 20 (19). NIH Public Access: 3178–97.
- Fischer, B. L., C. E. Gleason, R. E. Gangnon, J. Janczewski, T. Shea, and J. E. Mahoney. 2014. 'Declining Cognition and Falls: Role of Risky Performance of Everyday Mobility Activities'. *Physical Therapy* 94 (3). Oxford University Press, New York, NY: 355–62. doi:10.2522/ptj.20130195.
- Fujita, Eiji, Nobuo Takeshima, Yoshiji Kato, Daisuke Koizumi, Makoto Narita, Hiroki Nakamoto, and Michael E. Rogers. 2016. 'Effects of Body-Weight Squat Training on Muscular Size, Strength and Balance Ability in Physically

- Frail Older Adults'. *International Journal of Sport and Health Science* 14 (0). Japan Society of Physical Education, Health and Sport Sciences: 21–30. doi:10.5432/ijshs.201504.
- Germano, Andresa M. C., Günther Schlee, and Thomas L. Milani. 2012. 'Balance Control and Muscle Activity in Various Unstable Shoes Compared to Barefoot during One-Leg Standing'. *Footwear Science* 4 (2): 145–51. doi:10.1080/19424280.2012.674063.
- Goodworth, A. D., P. Mellodge, and R. J. Peterka. 2014. 'Stance Width Changes How Sensory Feedback Is Used for Multisegmental Balance Control'. *Journal of Neurophysiology* 112 (3): 525–42. doi:10.1152/jn.00490.2013.
- Grahn Kronhed, Ann-Charlotte, and Helena Salminen. 2017. 'Long-Term Effects of a Ten-Year Osteoporosis Intervention Program in a Swedish Population—A Cross-Sectional Study'. *Preventive Medicine Reports* 5 (March): 295–300. doi:10.1016/j.pmedr.2016.12.024.
- Granacher, Urs, Stephanie A Bridenbaugh, Thomas Muehlbauer, Anja Wehrle, and Reto W Kressig. 2011a. 'Bridging the Gap between Clinical and Behavioural Gerontology Part I: Promoting Late-Life Mobility and Independence Age-Related Effects on Postural Control under Multi-Task Conditions'. *Gerontology* 57: 247–55. doi:10.1159/000322196.
- Granacher, Urs, Stephanie A Bridenbaugh, Thomas Muehlbauer, Anja Wehrle, and Reto W Kressig. 2011b. 'Bridging the Gap between Clinical and Behavioural Gerontology Part I: Promoting Late-Life Mobility and Independence Age-Related Effects on Postural Control under Multi-Task Conditions'. *Gerontology* 57: 247–55. doi:10.1159/000322196.
- Granacher, Urs, Thomas Muehlbauer, Stephanie A Bridenbaugh, Madeleine Wolf, Ralf Roth, Yves Gschwind, Irene Wolf, Rui Mata, and Reto W Kressig. 2012. 'Effects of a Salsa Dance Training on Balance and Strength Performance in Older Adults.' *Gerontology* 58 (4). Karger Publishers: 305–12. doi:10.1159/000334814.
- Granacher, Urs, Thomas Muehlbauer, Albert Gollhofer, Reto W. Kressig, and Lukas Zahner. 2011. 'Evidence-Based and Evidence-Inspired: An Intergenerational Approach in the Promotion of Balance and Strength for Fall Prevention'. *Gerontology* 57 (5): 424–26. doi:10.1159/000322149.
- Granacher, Urs, Thomas Muehlbauer, and Markus Gruber. 2012. 'A Qualitative

- Review of Balance and Strength Performance in Healthy Older Adults: Impact for Testing and Training.' *Journal of Aging Research* 2012. Hindawi Publishing Corporation: 708905. doi:10.1155/2012/708905.
- Greten, Heiner Greten Franz Rinninger Tim. 2010. *Innere Medizin*. Verlag: Thieme, Stuttgart 13. überarb. u. erw. Aufl.
- Grobe, Stephanie, Runit Singh Kakar, Matthew Lee Smith, Ranjana Mehta, Timothy Baghurst, and Ali Boolani. 2017. 'Impact of Cognitive Fatigue on Gait and Sway among Older Adults: A Literature Review'. *Preventive Medicine Reports* 6 (June): 88–93. doi:10.1016/j.pmedr.2017.02.016.
- Grossniklaus, Hans E, John M Nickerson, Henry F Edelhauser, Louise A M K Bergman, and Lennart Berglin. 2013. 'Anatomic Alterations in Aging and Age-Related Diseases of the Eye.' *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 54 (14): ORSF23-7. doi:10.1167/iovs.13-12711.
- Guralnik, J. M., E. M. Simonsick, L. Ferrucci, R. J. Glynn, L. F. Berkman, D. G. Blazer, P. A. Scherr, and R. B. Wallace. 1994. 'A Short Physical Performance Battery Assessing Lower Extremity Function: Association With Self-Reported Disability and Prediction of Mortality and Nursing Home Admission'. *Journal of Gerontology* 49 (2). Oxford University Press: M85–94. doi:10.1093/geronj/49.2.M85.
- Gusi, Narcis, Jose Carmelo Adsuar, Hector Corzo, Borja del Pozo-Cruz, Pedro R. Olivares, and Jose A. Parraca. 2012. 'Balance Training Reduces Fear of Falling and Improves Dynamic Balance and Isometric Strength in Institutionalised Older People: A Randomised Trial'. *Journal of Physiotherapy* 58 (2): 97–104. doi:10.1016/S1836-9553(12)70089-9.
- Hall, Courtney D., Katharina V. Echt, Steven L. Wolf, and Wendy A. Rogers. 2011. 'Cognitive and Motor Mechanisms Underlying Older Adults' Ability to Divide Attention While Walking'. *Physical Therapy* 91 (7). University of Miami, Coral Gables, FL: 1039–50. doi:10.2522/ptj.20100114.
- Häussler, B, H Gothe, D Göl, G Glaeske, L Pientka, and D Felsenberg. 2007. 'Epidemiology, Treatment and Costs of Osteoporosis in Germany--the BoneEVA Study.' *Osteoporosis International: A Journal Established as Result of Cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 18 (1): 77–84. doi:10.1007/s00198-006-0206-y.

- Hoxie, Russell E., Laurence Z. Rubenstein, Helen Hoenig, and Brian R. Gallagher. 1994. 'The Older Pedestrian'. *Journal of the American Geriatrics Society* 42 (4). Blackwell Publishing Ltd: 444–50. doi:10.1111/j.1532-5415.1994.tb07496.x.
- IOF 'International Osteoporosis Foundation'. WW.IOFBONEHEALTH.ORG.
- J. Huppelsberg, K. Walter. 2009. *Kurzlehrbuch Physiologie*. 3. Auflage. Georg Thieme Verlag KG Stuttgart.
- Kanis, John A., L. Joseph Melton, Claus Christiansen, Conrad C. Johnston, and Nikolai Khaltsev. 2009. 'The Diagnosis of Osteoporosis'. *Journal of Bone and Mineral Research* 9 (8). John Wiley and Sons and The American Society for Bone and Mineral Research (ASBMR): 1137–41. doi:10.1002/jbmr.5650090802.
- Katrancha, Elizabeth D., Leslie A. Hoffman, Thomas G. Zullo, Patricia K. Tuite, and Linda Garand. 2015. 'Effects of a Video Guided T'ai Chi Group Intervention on Center of Balance and Falls Efficacy: A Pilot Study'. *Geriatric Nursing* 36 (1): 9–14. doi:10.1016/j.gerinurse.2014.08.015.
- Kizony, R., M. F. Levin, L. Hughey, C. Perez, J. Fung, N Thesing, and K Kaufman. 2010. 'Cognitive Load and Dual-Task Performance During Locomotion Poststroke: A Feasibility Study Using a Functional Virtual Environment'. *Physical Therapy* 90 (2). BioMed Central: 252–60. doi:10.2522/ptj.20090061.
- Lange, A, J Zeidler, and S Braun. 2014. 'One-Year Disease-Related Health Care Costs of Incident Vertebral Fractures in Osteoporotic Patients.' *Osteoporosis International: A Journal Established as Result of Cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 25 (10): 2435–43. doi:10.1007/s00198-014-2776-4.
- Langlois, Jean A, Penelope M Ke, Jack M Guralnik, Daniel J Foley, Richard A Marottoli, and Robert B Wallace. 2017. 'Characteristics of Older Pedestrians Who Have Difficulty Crossing the Street'. Accessed April 7.
- Larry Squire, Floyd E. Bloom, Nicholas C. Spitzer, Darwin Berg, Sascha du Lac, Anirvan Ghosh. 2008. *Fundamental Neuroscience*. 3rd Edition. University of California, San Diego, La Jolla, CA, USA.
- Lin, M.-R., H.-F. Hwang, Y.-W. Wang, S.-H. Chang, and S. L Wolf. 2006. 'Community-Based Tai Chi and Its Effect on Injurious Falls, Balance, Gait, and Fear of Falling in Older People'. *Physical Therapy* 86 (9). John Wiley &

- Sons, Chichester, England: 1189–1201. doi:10.2522/ptj.20040408.
- Lips, P, C Cooper, D Agnusdei, F Caulin, P Egger, O Johnell, J A Kanis, et al. 1999. 'Quality of Life in Patients with Vertebral Fractures: Validation of the Quality of Life Questionnaire of the European Foundation for Osteoporosis (QUALEFFO). Working Party for Quality of Life of the European Foundation for Osteoporosis.' *Osteoporosis International: A Journal Established as Result of Cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 10 (2): 150–60.
- Lips, Paul, and Natasja M van Schoor. 2005. 'Quality of Life in Patients with Osteoporosis.' *Osteoporosis International: A Journal Established as Result of Cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 16 (5): 447–55. doi:10.1007/s00198-004-1762-7.
- Liu-Ambrose, T., J. J. Eng, K. M. Khan, N. D. Carter, and H. A. McKay. 2003. 'Older Women With Osteoporosis Have Increased Postural Sway and Weaker Quadriceps Strength Than Counterparts With Normal Bone Mass: Overlooked Determinants of Fracture Risk?' *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences* 58 (9). Oxford University Press: M862–66. doi:10.1093/gerona/58.9.M862.
- Löllgen, H. 2004. 'Das Anstrengungsempfinden (RPE, Borg-Skala)'. *Deutsche Zeitschrift Für Sportmedizin*.
- Lüllmann-Rauch, Renate. n.d. *Taschenlehrbuch Histologie*. Thieme, Leipzig.
- Madureira, M M, L Takayama, A L Gallinaro, V F Caparbo, R A Costa, and R M R Pereira. 2007. 'Balance Training Program Is Highly Effective in Improving Functional Status and Reducing the Risk of Falls in Elderly Women with Osteoporosis: A Randomized Controlled Trial.' *Osteoporosis International: A Journal Established as Result of Cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 18 (4). Springer: 419–25. doi:10.1007/s00198-006-0252-5.
- Mahboobin, Arash, Patrick J Loughlin, Mark S Redfern, and Patrick J Sparto. 2005. 'Sensory Re-Weighting in Human Postural Control during Moving-Scene Perturbations.' *Experimental Brain Research* 167 (2): 260–67. doi:10.1007/s00221-005-0053-7.
- Miyakoshi, N, Y Kasukawa, H Sasaki, K Kamo, and Y Shimada. 2009. 'Impact of

Spinal Kyphosis on Gastroesophageal Reflux Disease Symptoms in Patients with Osteoporosis.' *Osteoporosis International: A Journal Established as Result of Cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 20 (7): 1193–98. doi:10.1007/s00198-008-0777-x.

Nagy, Edit, Anna Feher-Kiss, Mária Barnai, Andrea Domján-Preszner, Lajos Angyan, and Gyöngyi Horvath. 2007. 'Postural Control in Elderly Subjects Participating in Balance Training'. *European Journal of Applied Physiology* 100 (1). Springer-Verlag: 97–104. doi:10.1007/s00421-007-0407-x.

Niedhart, C, A Preising, and C Eichhorn. 2013. '[Significant reduction of osteoporosis fracture-related hospitalisation rate due to intensified, multimodal treatment - results from the Integrated Health Care Network Osteoporosis North Rhine]'. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 151 (1). Georg Thieme Verlag KG: 20–24. doi:10.1055/s-0032-1328206.

Oberkircher, Ludwig, Steffen Ruchholtz, Pol Maria Rommens, Alexander Hofmann, Benjamin Bücking, and Antonio Krüger. 2018. 'Osteoporotic Pelvic Fractures.' *Deutsches Arzteblatt International* 115 (5). Deutscher Ärzte-Verlag GmbH: 70–80. doi:10.3238/arztebl.2018.0070.

Olsen, C. F., and A. Bergland. 2014. 'The Effect of Exercise and Education on Fear of Falling in Elderly Women with Osteoporosis and a History of Vertebral Fracture: Results of a Randomized Controlled Trial'. *Osteoporosis International* 25 (8). Springer London: 2017–25. doi:10.1007/s00198-014-2724-3.

Osnes, E K, C M Lofthus, H E Meyer, J A Falch, L Nordsletten, I Cappelen, and I S Kristiansen. 2004. 'Consequences of Hip Fracture on Activities of Daily Life and Residential Needs.' *Osteoporosis International: A Journal Established as Result of Cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 15 (7): 567–74. doi:10.1007/s00198-003-1583-0.

Osteoporose 'Fundierte Informationen Über Osteoporose'. *Univ.Prof. Dr. Heinrich Resch*. www.osteoporose.co.at.

Pietschmann, Peter, Martina Rauner, Wolfgang Sipos, and Katharina Kerschanschindl. 2009. 'Osteoporosis: An Age-Related and Gender-Specific Disease - a Mini-Review.' *Gerontology* 55 (1): 3–12. doi:10.1159/000166209.

- Qaseem, Amir, Mary Ann Forciea, Robert M. McLean, and Thomas D. Denberg. 2017. 'Treatment of Low Bone Density or Osteoporosis to Prevent Fractures in Men and Women: A Clinical Practice Guideline Update From the American College of Physicians'. *Annals of Internal Medicine* 166 (11). American College of Physicians: 818. doi:10.7326/M15-1361.
- Ringe, J.D. 1991. *Osteoporose: Pathogenese, Diagnostik Und Therapiemöglichkeiten*. Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- Ritzmann, Ramona, Kathrin Freyler, Amelie Werkhausen, and Albert Gollhofer. 2016. 'Changes in Balance Strategy and Neuromuscular Control during a Fatiguing Balance Task-A Study in Perturbed Unilateral Stance.' *Frontiers in Human Neuroscience* 10. Frontiers Media SA: 289. doi:10.3389/fnhum.2016.00289.
- Robson, E, B Schwander, and YF Zoellner. 2017. 'Cost-Utility Analysis of Physicians' Guideline Adherence for Osteoporosis In Germany'. *Value in Health* 20 (9). Elsevier: A536. doi:10.1016/j.jval.2017.08.776.
- Sattlecker, Gerold, Michael Buchecker, Erich Müller, and Stefan J. Lindinger. 2014. 'Postural Balance and Rifle Stability during Standing Shooting on an Indoor Gun Range without Physical Stress in Different Groups of Biathletes'. *International Journal of Sports Science & Coaching* 9 (1). SAGE Publications Sage UK: London, England: 171–84. doi:10.1260/1747-9541.9.1.171.
- Schädler, Stefan. n.d. 'Dynamic Gait Index'. *Physiotherapie*.
- Schröder, Guido, Andreas Knauerhase, Guenther Kundt, and Hans-Christof Schober. 2012. 'Effects of Physical Therapy on Quality of Life in Osteoporosis Patients - a Randomized Clinical Trial.' *Health and Quality of Life Outcomes* 10 (January): 101. doi:10.1186/1477-7525-10-101.
- Schünke, M. 2007. *PROMETHEUS Lernatlas Der Anatomie*. Allgemeine Anatomie und Bewegungsapparat, Edited by U. Schumacher M. Schünke, E. Schulte. 2. überarb. Georg Thieme Verlag KG Stuttgart.
- Schünke, M. 2009. *PROMETHEUS Lernatlas Der Anatomie*. Kopf, Hals und Neuroanatomie, Edited by U. Schumacher M. Schünke, E. Schulte. 2. überarb. Georg Thieme Verlag KG Stuttgart.
- Seeman, Ego, and Pierre D. Delmas. 2006. 'Bone Quality — The Material and Structural Basis of Bone Strength and Fragility'. *New England Journal of*

- Medicine* 354 (21). Massachusetts Medical Society : 2250–61. doi:10.1056/NEJMra053077.
- Shaffer, Scott W, and Anne L Harrison. 2007. 'Aging of the Somatosensory System: A Translational Perspective.' *Physical Therapy* 87 (2): 193–207. doi:10.2522/ptj.20060083.
- Sherrington, Catherine, Anne Tiedemann, Nicola Fairhall, Jacqueline C.T. Close, and Stephen R. Lord. 2011. 'Exercise to Prevent Falls in Older Adults: An Updated Meta-Analysis and Best Practice Recommendations'. *New South Wales Public Health Bulletin* 22 (4): 78. doi:10.1071/NB10056.
- Shigematsu, Ryosuke, Milan Chang, Noriko Yabushita, Tomoaki Sakai, Masaki Nakagaichi, Hosung Nho, and Kiyoji Tanaka. 2002. 'Dance-Based Aerobic Exercise May Improve Indices of Falling Risk in Older Women.' *Age and Ageing* 31 (4): 261–66.
- Sinaki, Mehrsheed, and Susan G Lynn. 2002. 'Reducing the Risk of Falls through Proprioceptive Dynamic Posture Training in Osteoporotic Women with Kyphotic Posturing: A Randomized Pilot Study.' *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* 81 (4). American journal of physical medicine & rehabilitation: 241–46.
- Song, Weiguo, and Mulugeta Semework. 2015. 'Tactile Representation in Somatosensory Thalamus (VPL) and Cortex (S1) of Awake Primate and the Plasticity Induced by VPL Neuroprosthetic Stimulation.' *Brain Research* 1625 (November): 301–13. doi:10.1016/j.brainres.2015.08.046.
- Stacoff, Alex, Christian Diezi, Gerhard Luder, Edgar Stüssi, and Inès A. Kramers-de Quervain. 2005. 'Ground Reaction Forces on Stairs: Effects of Stair Inclination and Age'. *Gait & Posture* 21 (1): 24–38. doi:10.1016/j.gaitpost.2003.11.003.
- Talia Herman, Noit Inbar-Borovsky. 2009. 'The Dynamic Gait Index in Healthy Older Adults: The Role of Stair Climbing, Fear of Falling and Gender'. *Gait & Posture* 29 (2). Elsevier: 237–41. doi:10.1016/J.GAITPOST.2008.08.013.
- Todd, Andrew J. 2010. 'Neuronal Circuitry for Pain Processing in the Dorsal Horn.' *Nature Reviews. Neuroscience* 11 (12): 823–36. doi:10.1038/nrn2947.
- Uusi-Rasi, Kirsti, Radhika Patil, Saija Karinkanta, Kari Tokola, Pekka Kannus, Harri Sievänen, and Harri nen. 2017. 'Exercise Training in Treatment and

- Rehabilitation of Hip Osteoarthritis: A 12-Week Pilot Trial'. *Journal of Osteoporosis* 2017 (January). Hindawi: 1–7. doi:10.1155/2017/3905492.
- Valentin, G, and T Maribo. 2014. 'Hand-Held Dynamometry Fixated with a Tripod Is Reliable for Assessment of Back Extensor Strength in Women with Osteoporosis.' *Osteoporosis International: A Journal Established as Result of Cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 25 (8): 2143–49. doi:10.1007/s00198-014-2743-0.
- Verbraucherzentrale Osteodensitometrie', *GKV Spitzenverband*. <https://www.verbraucherzentrale.de/knochendichtemessung-wann-zahlt-die-krankenkasse>.
- Verschueren, Sabine M P, An Bogaerts, Christophe Delecluse, Albrecht L Claessens, Patrick Haentjens, Dirk Vanderschueren, and Steven Boonen. 2011. 'The Effects of Whole-Body Vibration Training and Vitamin D Supplementation on Muscle Strength, Muscle Mass, and Bone Density in Institutionalized Elderly Women: A 6-Month Randomized, Controlled Trial.' *Journal of Bone and Mineral Research* 26 (1): 42–49. doi:10.1002/jbmr.181.
- Vickers, A J, and D G Altman. 2001. 'Statistics Notes: Analysing Controlled Trials with Baseline and Follow up Measurements.' *BMJ (Clinical Research Ed.)* 323 (7321): 1123–24.
- Villa, Jordan C, Arianna Gianakos, and Joseph M Lane. 2016. 'Bisphosphonate Treatment in Osteoporosis: Optimal Duration of Therapy and the Incorporation of a Drug Holiday.' *HSS Journal: The Musculoskeletal Journal of Hospital for Special Surgery* 12 (1): 66–73. doi:10.1007/s11420-015-9469-1.
- Wildner, M, O Sangha, D E Clark, A Döring, and A Manstetten. 2002. 'Independent Living after Fractures in the Elderly.' *Osteoporosis International: A Journal Established as Result of Cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 13 (7): 579–85. doi:10.1007/s001980200076.

9 Anhang

Anhang 1: Osteoporose-spezifische Anamnese

Name: _____ Vorname: _____ Geburtsdatum: _____

Jetzige Anamnese

Gehen Stehen Heben Tragen Liegen

Schmerzen:

Lokalisation:

Größenabnahme:

Frakturen:

OA Radius SH Andere

Operationen:

Magen	Pankreas	Dickdarm	CHE	APP	TE
Mamma	Auge	Herz	Lunge	Niere	
Meniskus	SD-OP	Nabelbruch	Varizen-Op	Leistenbruch	

Krankheiten:

KKH	SD-KH	NSD-KH	Durchfall
Asthma bronchiale	COPD	Gastrits	Ulcus
Art. Hypertonie	Diabetes mell.	Herzinfarkt	Schlaganfall
Pankreatitis	RA	Epilepsie	Anorexie
Nierenerkrankung	PN	Nierensteine	Pneumonie

Familienanamnese

Frakturen der Mutter

Soziale Anamnese

Sport

Gynäkologische Anamnese

Menarche	regelmäßig	länger	kürzer		
Zyklus	Pille	SW	Partus	Letzte Regel	Gyn-OP

Allgemeine Anamnese

Milch	Quark	Käse	Joghurt	Fleisch
Alkohol	Nikotin			

Medikamente

Glukokortikoide Neuroleptika Fosamax Actonel Protelos Evisla

Status praesens

Größe	Früher: _____ cm	Jetzt: _____ cm
Gewicht	Früher: _____ kg	Jetzt: _____ kg

Kopf/Hals

Thorax: symmetrisch asymmetrisch

Pulmo: reines VA KS sonor auffällig

Cor: HT rein Aktion regelmäßig RR_/_mmHG Puls _/_min auffällig

Abdomen Hepar und Lien nicht palpabel

Peristaltik regelrecht

NL bds. frei

Extremitäten: Aktiv und passiv frei beweglich Lasègue Knie Hüften

Fußpulse Reflexe o.B.

WS: kein KS kein DS Kein Stauchungsschmerz Kyphose Skoliose

FFB Abstand Tannebaumphänomen Rippenbogen-Becken-Abstand

Tandemstand

Chair-rising Test

Time up and go - Test

Anhang 2: Lebensqualität (QoL)

Quality of Life Questionnaire

Qualeffo-41 (10 December 1997)

Users of this questionnaire (and all authorized translations) must adhere to the user agreement. Please use the related Scoring Algorithm.

A Schmerzen	
<i>Die fünf Fragen dieses Bereiches betreffen die Situation in der letzten Woche.</i>	
Wie oft hatten Sie während der letzten Woche Rückenschmerzen?	nie 1 Tag pro Woche oder weniger 2-3 Tage pro Woche 4-6 Tage pro Woche jeden Tag
Wenn Sie Rückenschmerzen hatten, wie lange hielten die Rückenschmerzen während des Tages an?	nie 1-2 Stunden 3-5 Stunden 6-10 Stunden den ganzen Tag
Wie stark sind Ihre Rückenschmerzen, wenn Sie am Schlimmsten sind?	keine Rückenschmerzen leicht mäßig stark unerträglich
Wie sind Ihre Rückenschmerzen zu anderen Zeiten?	keine Rückenschmerzen leicht mäßig stark unerträglich
Haben die Rückenschmerzen in der letzten Woche Ihren Schlaf gestört?	weniger als einmal pro Woche einmal pro Woche zweimal pro Woche jede zweite Nacht jede Nacht

B Aktivitäten des täglichen Lebens

Die nächsten 4 Fragen beziehen sich auf die gegenwärtige Situation.

Haben Sie Probleme mit dem Anziehen?	keine Schwierigkeit ein wenig Schwierigkeit mäßige Schwierigkeit brauche möglicherweise etwas Hilfe ohne Hilfe unmöglich
Haben Sie Probleme mit dem Baden oder Duschen?	keine Schwierigkeit ein wenig Schwierigkeit mäßige Schwierigkeit brauche möglicherweise etwas Hilfe ohne Hilfe unmöglich
Haben Sie Probleme, zur Toilette zu gelangen oder auf die Toilette zu gehen?	keine Schwierigkeit ein wenig Schwierigkeit mäßige Schwierigkeit brauche möglicherweise etwas Hilfe ohne Hilfe unmöglich
Wie gut schlafen Sie?	schlafe ungestört wache manchmal auf wache oft auf manchmal liege ich stundenlang wach manchmal habe ich eine schlaflose Nacht

C Tätigkeiten im Haus

Die nächsten 5 Fragen beziehen sich auf die jetzige Situation. Wenn jemand anderes diese Dinge in Ihrem Haushalt erledigt, antworten Sie bitte, als ob Sie selbst dafür verantwortlich wären.

Können Sie sauber machen?	ohne Schwierigkeit mit ein wenig Schwierigkeit mit mäßige Schwierigkeit mit großer Schwierigkeit unmöglich
---------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Können Sie Mahlzeiten zubereiten?	ohne Schwierigkeit mit ein wenig Schwierigkeit mit mäßige Schwierigkeit mit großer Schwierigkeit unmöglich
Können Sie Geschirr spülen?	ohne Schwierigkeit mit ein wenig Schwierigkeit mit mäßige Schwierigkeit mit großer Schwierigkeit unmöglich
Können Sie Ihre täglichen Einkäufe erledigen?	ohne Schwierigkeit mit ein wenig Schwierigkeit mit mäßige Schwierigkeit mit großer Schwierigkeit unmöglich
Können Sie ein 10 kg schweres Objekt hochheben (z. B. eine Kiste mit 6 Flaschen Wasser oder ein 1 Jahr altes Kind) und es 10 Meter weit tragen?	ohne Schwierigkeit mit ein wenig Schwierigkeit mit mäßige Schwierigkeit mit großer Schwierigkeit unmöglich

D Bewegung

Die nächsten 8 Fragen beziehen sich auf die gegenwärtige Situation.

Können Sie vom Stuhl aufstehen?	ohne Schwierigkeit mit ein wenig Schwierigkeit mit mäßige Schwierigkeit mit großer Schwierigkeit nur mit Hilfe
Können Sie sich bücken?	leicht nicht ganz leicht mäßig sehr wenig unmöglich

Können Sie sich hinknien?	leicht nicht ganz leicht mäßig sehr wenig unmöglich
Können Sie die Treppe zum nächsten Stockwerk eines Hauses hinaufsteigen?	ohne Schwierigkeit mit etwas Schwierigkeit mit mindestens einer Ruhepause
	nur mit Hilfe unmöglich
Können Sie 100 Meter gehen?	schnell ohne stehenzubleiben langsam ohne stehenzubleiben langsam mit mindestens einmaligem Stehen bleiben nur mit Hilfe unmöglich
Wie oft waren Sie während der letzten Wochen draußen?	jeden Tag 5-6 Tage pro Woche 3-4 Tage pro Woche 1-2 Tage pro Woche weniger als einmal pro Woche
Können Sie öffentliche Verkehrsmittel benutzen?	ohne Mühe mit etwas Mühe mit mäßige Mühe mit großer Mühe nur mit Hilfe
Sind Sie durch Veränderungen Ihrer Figur infolge Osteoporose betroffen (z.B. Verlust an Körpergröße, Zunahme des Leibesumfangs, Form ihres Rückens)?	überhaupt nicht ein wenig mäßig ziemlich schwer sehr schwer

E Freizeit, soziale Aktivitäten

Sind Sie in der Lage, irgendeine Art Sport jetzt auszuüben?	ja ja mit Einschränkungen nein überhaupt nicht
Können Sie Ihren Gartenarbeiten nachgehen?	ja ja mit Einschränkungen nein überhaupt nicht trifft nicht zu
Betreiben Sie irgendeine Art Hobby jetzt?	ja ja mit Einschränkungen nein überhaupt nicht
Können Sie ein Kino, Theater etc. besuchen?	ja ja mit Einschränkungen nein überhaupt nicht kein Kino oder Theater innerhalb einer angemessenen Entfernung
Wie oft haben Sie während der letzten 3 Monate Freunde oder Verwandte besucht?	einmal in der Woche oder häufiger ein- oder zweimal im Monat weniger als einmal im Monat nie
Wie oft haben Sie während der letzten 3 Monate an sozialen Aktivitäten teilgenommen (Vereine, Versammlungen, kirchliche Aktivitäten, Wohltätigkeitsveranstaltungen etc.)?	einmal in der Woche oder häufiger ein- oder zweimal im Monat weniger als einmal im Monat nie
Beeinträchtigen Ihre Rückenschmerzen oder Ihre Behinderung Ihr Intimleben (einschließlich Geschlechtsverkehr)?	nein überhaupt nicht ein wenig mäßig schwer trifft nicht zu

F Wahrnehmung der allgemeinen Gesundheit

Würden Sie sagen, für Ihr Alter ist Ihr Gesundheitszustand allgemein:	ausgezeichnet gut zufriedenstellend nicht so gut schlecht
Wie würden Sie insgesamt Ihre Lebensqualität während der letzten Woche einschätzen?	ausgezeichnet gut zufriedenstellend nicht so gut schlecht
Wie würden Sie insgesamt Ihre Lebensqualität im Vergleich zu vor 10 Jahren einschätzen?	jetzt viel besser jetzt leicht besser unverändert jetzt leicht verschlechtert jetzt viel schlechter

G Stimmung

Die nächsten neun Fragen gelten für die Situation in der letzten Woche.

Neigen Sie dazu sich müde zu fühlen?	am Morgen am Nachmittag nur am Abend nach anstrengender Aktivität fast niemals
Fühlen Sie sich niedergeschlagen?	fast jeden Tag drei bis fünf Tage in der Woche ein bis zwei Tage in der Woche gelegentlich fast niemals
Fühlen Sie sich einsam?	fast jeden Tag drei bis fünf Tage in der Woche ein bis zwei Tage in der Woche gelegentlich fast niemals

Fühlen Sie sich voll von Energie?	fast jeden Tag drei bis fünf Tage in der Woche ein bis zwei Tage in der Woche gelegentlich fast niemals
Sind Sie zuversichtlich bezüglich Ihrer Zukunft?	niemals selten manchmal ziemlich oft immer
Regen Sie sich über Kleinigkeiten auf?	niemals selten manchmal ziemlich oft immer
Finden Sie leicht Kontakt zu anderen Leuten?	niemals selten manchmal ziemlich oft immer
Sind Sie den größten Teil des Tages heiter?	niemals selten manchmal ziemlich oft immer
Befürchten Sie völlig abhängig zu werden?	niemals selten manchmal ziemlich oft immer

Anhang 3: Sturzangst (FES-I)

Aktivitäten	Keinerlei Bedenken 1	Einige Bedenken 2	Ziemliche Bedenken 3	Sehr große Bedenken 4
1 Den Hausputz machen (z. B. kehren, staubsaugen oder Staub wischen)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
2 Sich an- oder ausziehen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
3 Einfache Mahlzeiten zubereiten	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
4 Ein Bad nehmen oder duschen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
5 In einem Laden einkaufen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
6 Von einem Stuhl aufstehen oder sich hinsetzen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
7 Eine Treppe hinauf- oder hinuntergehen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
8 In der Nähe der Wohnung draußen umhergehen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
9 Etwas erreichen, was sich oberhalb des Kopfes oder auf dem Boden befindet	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
10 Das Telefon erreichen, bevor es aufhört zu klingeln	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
11 Auf einer rutschigen Oberfläche gehen (z. B. wenn es nass oder vereist ist)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
12 Einen Freund oder Verwandten besuchen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
13 In einer Menschenmenge umhergehen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
14 Auf unebenem Boden gehen (z. B. Kopfsteinpflaster, ungepflegter Gehweg)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
15 Eine Steigung hinauf- oder hinunter gehen	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
16 Eine Veranstaltung besuchen (z. B. ein Familientreffen, eine Vereinsversammlung oder Gottesdienst)	1 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>

Anhang 4: Daten des QoL und FES-I zum Zeitpunkt t_0

Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Ergebnisse des FES-I und des QoL Fragebogens für die Interventions- (INT) und Kontrollgruppe (CON), sowie das Konfidenzintervall mit der Signifikanz zum Zeitpunkt t_0 .

Parameter	t_0		
	INT	CON	Δ INT - CON
FES - I	20.9 \pm 2.1	23.6 \pm 4.9	-2.7
QoL			
Total Qualeffo Score	29.8 \pm 10.5	35.0 \pm 10.8	-5.2
Schmerzen	51.1 \pm 23.7	47.1 \pm 22.2	4.0
Aktivitäten des alltäglichen Lebens	18.8 \pm 12.0	18.8 \pm 13.8	0.0
Tätigkeiten im Haus	20.4 \pm 20.9	29.3 \pm 23.4	-8.9
Bewegung	13.4 \pm 9.1	24.5 \pm 11.2	-11.1
Freizeit und soziale Aktivitäten	37.9 \pm 22.2	40.8 \pm 18.9	-2.9
Wahrnehmung der allgemeinen Gesundheit	53.6 \pm 20.8	60.1 \pm 11.4	-6.5
Stimmung	29.0 \pm 13.6	36.2 \pm 14.0	-7.2

Anhang 5: Daten des QoL und FES-I zum Zeitpunkt t₁

Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Ergebnisse des FES-I und des QoL Fragebogens für die Interventions- (INT) und Kontrollgruppe (CON), sowie das Konfidenzintervall mit der Signifikanz zum Zeitpunkt t₁.

Parameter	t ₁			
	INT	CON	Δ INT - CON	P
FES - I	20,7 ± 0,8	18,9 ± 2,9	1,8 (-0,7; 4,3)	0,157
QoL				
Total Qualeffo Score	26,2 ± 1,9	28,8 ± 1,8	-2,6 (-8,2; 2,9)	0,328
Schmerzen	35,8 ± 4,2	37,9 ± 4,1	-2,1 (-14,4; 10,2)	0,729
Aktivitäten des alltäglichen Lebens	13,0 ± 2,3	14,2 ± 2,2	-1,2 (-7,8; 5,4)	0,713
Tätigkeiten im Haus	23,5 ± 4,0	21,3 ± 3,8	2,1 (-9,3; 13,6)	0,707
Bewegung	16,1 ± 2,9	12,3 ± 2,7	3,8 (-5,0; 12,5)	0,381
Freizeit und soziale Aktivitäten	21,6 ± 3,9	41,1 ± 3,8	-19,5 (-30,8; -8,2)	0,002*
Wahrnehmung der allgemeinen Gesundheit	44,0 ± 3,6	52,9 ± 3,4	-8,6 (-18,9; 1,9)	0,104
Stimmung	32,4 ± 2,5	32,7 ± 2,4	-0,3 (-7,6; 6,9)	0,931

Anhang 6: Daten des QoL und FES-I zum Zeitpunkt t₂

Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen der Ergebnisse des FES-I und des QoL Fragebogens für die Interventions- (INT) und Kontrollgruppe (CON), sowie das Konfidenzintervall mit der Signifikanz zum Zeitpunkt t₂.

Parameter	t ₂			
	INT	CON	Δ INT - CON	P
FES - I	20.6 ± 3.9	21.6 ± 3.9	-1.0 (-4.5 to 2.4)	0.529
QoL				
Total Qualeffo Score	26.1 ± 7.0	31.2 ± 7.0	-5.1 (-11.3 to 1.2)	0.106
Schmerzen	38.8 ± 17.6	38.2 ± 17.6	0.6 (-14.9 to 16.1)	0.939
Aktivitäten des alltäglichen Lebens	13.7 ± 11.9	17.7 ± 11.9	-4.0 (-14.2 to 6.2)	0.422
Tätigkeiten im Haus	19.8 ± 18.1	30.2 ± 18.1	-10.4 (-26.0 to 5.3)	0.183
Bewegung	15.2 ± 10.4	20.1 ± 10.4	-4.9 (-14.3 to 4.6)	0.296
Freizeit und soziale Aktivitäten	22.8 ± 15.1	34.3 ± 15.1	-11.5 (-24.5 to 1.5)	0.079
Wahrnehmung der all- gemeinen Gesundheit	42.9 ± 13.8	57.3 ± 13.8	-14.4 (-26.5 to -2.3)	0.022*
Stimmung	32.9 ± 11.1	35.0 ± 11.1	-2.1 (-11.9 to 7.6)	0.655

Daten der Posturographie (t_0 , t_1 , t_2)

Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen für die Auslenkung und Geschwindigkeit in medio-lateraler und anterior-posteriorer Richtung für die 4 Bedingungen (Augen offen/ geschlossen und stabiler/ instabiler Untergrund) für die Interventions- (INT) und Kontrollgruppe (CON) zum Zeitpunkt t_0 , t_1 und t_2 sowie das Konfidenzintervall

Anhang 7: Daten der Posturographie zum Zeitpunkt t_0

Parameter	t_0		
	INT	CON	Δ INT - CON
<i>Stable, eyes open</i>			
Sway medio-lateral (mm)	5.03 \pm 1.90	4.26 \pm 1.39	0.77
Sway anterior-posterior (mm)	4.30 \pm 1.41	4.52 \pm 1.52	-0.22
Velocity medio-lateral (mm \cdot s ⁻¹)	9.76 \pm 1.59	10.21 \pm 2.57	-0.45
Velocity anterior-posterior (mm \cdot s ⁻¹)	10.18 \pm 1.59	11.14 \pm 3.98	-0.96
<i>Stable, eyes closed</i>			
Sway medio-lateral (mm)	6.54 \pm 3.35	4.93 \pm 2.06	1.61
Sway anterior-posterior (mm)	7.29 \pm 2.58	7.18 \pm 2.77	0.11
Velocity medio-lateral (mm \cdot s ⁻¹)	14.68 \pm 7.00	12.92 \pm 3.95	1.76
Velocity anterior-posterior (mm \cdot s ⁻¹)	16.37 \pm 6.91	15.75 \pm 8.96	0.62
<i>Unstable, eyes open</i>			
Sway medio-lateral (mm)	6.14 \pm 1.63	6.23 \pm 1.92	-0.09
Sway anterior-posterior (mm)	6.98 \pm 2.06	7.23 \pm 1.88	-0.25
Velocity medio-lateral (mm \cdot s ⁻¹)	15.01 \pm 4.29	15.08 \pm 3.56	-0.07
Velocity anterior-posterior (mm \cdot s ⁻¹)	19.38 \pm 7.28	21.00 \pm 6.51	-1.62
<i>Unstable, eyes closed</i>			
Sway medio-lateral (mm)	12.30 \pm 5.25	9.48 \pm 3.22	2.82
Sway anterior-posterior (mm)	16.12 \pm 5.40	14.82 \pm 4.12	1.3
Velocity medio-lateral (mm \cdot s ⁻¹)	24.95 \pm 8.30	25.15 \pm 9.68	-0.2
Velocity anterior-posterior (mm \cdot s ⁻¹)	40.28 \pm 12.50	42.67 \pm 20.43	-2.39

Anhang 8: Daten der Posturographie zum Zeitpunkt t_1

Parameter	t_1			
	INT	CON	Δ INT - CON	P
<i>Stable, eyes open</i>				
Sway medio-lateral (mm)	4.2 ± 1.7	5.0 ± 1.7	-0.9 (-2.3 to 0.6)	0.232
Sway anterior-posterior (mm)	6.3 ± 2.8	5.6 ± 2.8	0.7 (-1.7 to 3.1)	0.540
Velocity medio-lateral (mm · s ⁻¹)	11.2 ± 2.4	11,0 ± 2.4	0.2 (-1.9 to 2.3)	0.810
Velocity anterior-posterior (mm · s ⁻¹)	12,0 ± 2.5	11.8 ± 2.5	0.2 (-2,0 to 2.3)	0.865
<i>Stable, eyes closed</i>				
Sway medio-lateral (mm)	5,0 ± 1.7	5.4 ± 1.7	-0.5 (-1.9 to 1,0)	0.512
Sway anterior-posterior (mm)	8.3 ± 3.2	6.8 ± 3.2	1.5 (-1.3 to 4.3)	0.274
Velocity medio-lateral (mm · s ⁻¹)	13.7 ± 4.1	16.3 ± 4.1	-2.5 (-6.0 to 1,0)	0.146
Velocity anterior-posterior (mm · s ⁻¹)	17.1 ± 5.1	20.2 ± 5.1	-3.1 (-7.5 to 1.3)	0.152
<i>Unstable, eyes open</i>				
Sway medio-lateral (mm)	6.6 ± 2.4	6.7 ± 2.4	-0.1 (-2.1 to 1.9)	0.931
Sway anterior-posterior (mm)	9.2 ± 3.7	9.0 ± 3.7	0.2 (-3,0 to 3.4)	0.897
Velocity medio-lateral (mm · s ⁻¹)	15.4 ± 2.3	14.7 ± 2.3	0.7 (-1.3 to 2.6)	0.498
Velocity anterior-posterior (mm · s ⁻¹)	21.3 ± 4.3	19.3 ± 4.3	2.1 (-1.6 to 5.7)	0.261
<i>Unstable, eyes closed</i>				
Sway medio-lateral (mm)	10.6 ± 2.8	10.4 ± 2.8	0.2 (-2.2 to 2.6)	0.876
Sway anterior-posterior (mm)	14,0 ± 5.1	16.0 ± 5.1	-2.1 (-6.4 to 2.3)	0.336
Velocity medio-lateral (mm · s ⁻¹)	26.1 ± 3.5	24.9 ± 3.5	1.2 (-1.8 to 4.2)	0.426
Velocity anterior-posterior (mm · s ⁻¹)	44.1 ± 5.7	41.8 ± 5.7	2.3 (-2.6 to 7.2)	0.334

Anhang 9: Daten der Posturographie zum Zeitpunkt t_2

Parameter	t_2			
	INT	CON	Δ INT - CON	P
<i>Stable, eyes open</i>				
Sway medio-lateral (mm)	4.8 ± 1.8	5.6 ± 1.8	-0.9 (-2.5 to 0.8)	0.292
Sway anterior-posterior (mm)	5.6 ± 2.0	5.5 ± 2.0	0.1 (-1.7 to 1.9)	0.920
Velocity medio-lateral (mm · s ⁻¹)	15.5 ± 5.8	11.1 ± 5.8	4.4 (-0.8 to 9.6)	0.091
Velocity anterior-posterior (mm · s ⁻¹)	15.2 ± 4.4	11.9 ± 4.4	3.4 (-0.6 to 7.3)	0.094
<i>Stable, eyes closed</i>				
Sway medio-lateral (mm)	4.8 ± 2.5	8.2 ± 2.5	-3.4 (-5.7 to 1.5)	0.005*
Sway anterior-posterior (mm)	7.8 ± 2.5	7.2 ± 2.5	0.6 (-1.6 to 2.8)	0.555
Velocity medio-lateral (mm · s ⁻¹)	15.7 ± 1.9	16.6 ± 1.9	-0.9 (-2.7 to 1)	0.328
Velocity anterior-posterior (mm · s ⁻¹)	17.3 ± 2.9	17.9 ± 2.9	-0.6 (-3.3 to 2.1)	0.658
<i>Unstable, eyes open</i>				
Sway medio-lateral (mm)	7.3 ± 2.2	6.0 ± 2.2	1.3 (-0.6 to 3.3)	0.166
Sway anterior-posterior (mm)	8.6 ± 2.2	7.4 ± 2.2	1.3 (-0.7 to 3.2)	0.190
Velocity medio-lateral (mm · s ⁻¹)	18.4 ± 3.6	15.3 ± 3.6	3.1 (-0.2 to 6.4)	0.062
Velocity anterior-posterior (mm · s ⁻¹)	27.1 ± 8.2	20.5 ± 8.2	6.6 (-0.7 to 4.0)	0.075
<i>Unstable, eyes closed</i>				
Sway medio-lateral (mm)	10 ± 2.6	10.5 ± 2.6	-0.6 (-2.9 to 1.8)	0.601
Sway anterior-posterior (mm)	13.7 ± 4.2	16.6 ± 4.2	-3,0 (-6.7 to 0.8)	0.119
Velocity medio-lateral (mm · s ⁻¹)	26.0 ± 4.0	23.2 ± 4.0	2.8 (-0.9 to 6.4)	0.126
Velocity anterior-posterior (mm · s ⁻¹)	42.2 ± 6.2	42.4 ± 6.2	-0.3 (-5.8 to 5.3)	0.919

10 Danksagung

In erster Linie geht mein Dank an unsere Arbeitsgruppe „ADONIS“, die uns Doktoranden erfolgreich durch die Planung und bei der Umsetzung der Studie geholfen hat. In den zahlreichen monatlichen Treffen konnten wir viele wichtige Erkenntnisse über die Durchführung einer Studie lernen, vielen Dank für dieses Vertrauen.

Mein Dank geht insbesondere an Prof. Dr. med. Th. Mittlmeier für das Überlassen des Themas dieser Promotionsschrift.

Explizit möchte ich mich bei Frau Priv.-Doz. Dr. rer. nat. D.-C. Fischer für die intensive Betreuung mit den unzähligen Treffen, die stets mit einem guten Kaffee begannen und neuen Erkenntnissen endeten, bedanken. Ohne diese Hilfe wäre die Fertigstellung dieser Dissertation nur schwer vorstellbar.

Da ein Großteil der Daten dieser Arbeit aus dem Institut für Sportwissenschaften der Universität Rostock stammt, möchte ich neben Prof. Dr. habil. S. Bruhn, insbesondere Dr. rer. hum. Martin Behrens für die angenehme Zusammenarbeit und Unterstützung bei der Aufarbeitung der gewonnenen Daten und die guten Ratschläge danken.

Weiterhin bedanke ich mich bei den beiden Co-Doktorandinnen Dr. med. Jill Kilb und Karoline Müller für die hervorragende Zusammenarbeit und Organisation dieses Projektes.

Ein ebenso großes Dankeschön gilt meinen Eltern Uta und Uwe Schleese, meinen Großeltern Margot und Klaus Schleese, sowie meinem bereits verstorbenem Opa Dr. med. Klaus-Dieter Rambow und meiner Oma Gerlinde. Dank eurer bedingungslosen Unterstützung all die Jahre, gelang es mir meine Ziele zu erreichen.

Meine Studentenzeit in Rostock ist durch viele neue Freundschaften geprägt, von denen ein Großteil sicherlich noch viele Jahrzehnte zu unserem ganz engen Freundeskreis zählen. Dabei möchte ich mich insbesondere bei Nickolas und Franzi, Konrad, Felix und Niklas, um nur einige zu nennen, für die unvergessliche Zeit des Studiums mit euch in Rostock bedanken.

Zum Schluss möchte ich mich noch bei meiner wunderbaren Frau Svenja für die tolle Unterstützung all die Jahre bedanken. Dank dir gab es immer ein sicheres Fundament auf dem wir unsere gemeinsame Zukunft aufbauen konnten. Auch wenn unsere Tochter noch nicht so lange Teil unseres Lebens ist, gehört Lillie doch unweigerlich zu diesem sicheren Fundament dazu.

12 Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe angefertigt und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht. Die Promotionsordnung der Universität Rostock ist mir bekannt.

Rostock, im September 2018

Lennart Schleese