

**Aus der Orthopädischen Klinik, König-Ludwig-Haus**

**Lehrstuhl für Orthopädie der Universität Würzburg**

**Orthopädisches Zentrum für Muskuloskeletale Forschung**

Direktor: Professor Dr. med. Maximilian Rudert

**Evaluation von Analysemethoden zur Validierung der  
Effektivität alltagstauglicher Trainingsmethoden bei älteren  
Männern mit osteoporotischen Veränderungen**

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Sarah Ingrid Lindström

aus Luxemburg

Würzburg, September 2022



**Referentenblatt:**

**Referentin:** Univ.-Prof. Dr. med. Maximilian Rudert

**Korreferent:** Univ.-Prof. Dr. med. Franziska Jundt

**Dekan:** Prof. Dr. med. Matthias Frosch

**Tag der mündlichen Prüfung: 12.05.2023**

**Die Promovendin ist Ärztin.**

## **Vorwort**

In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers (m/w/d) verzichtet. Soweit es für die Aussage erforderlich ist, werden weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten mitgemeint.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Der Knochen im Alter.....	1
1.2	Osteoporose des Mannes .....	1
1.3	Bedeutung der Rumpfmuskulatur .....	2
1.4	Interaktion von Knochen und Muskel .....	3
1.5	Sarkopenie.....	4
1.5.1	Definition.....	4
1.5.2	Gesundheitliche Konsequenzen .....	6
1.5.3	Entstehung der Sarkopenie .....	6
1.5.4	Veränderungen der Rumpfmuskulatur im Alter.....	8
1.5.5	Diagnostik der Sarkopenie.....	9
1.5.6	Messung der Muskelmasse .....	12
1.5.7	Messung der Muskelkraft.....	14
1.5.8	Muskuläre Leistungsdiagnostik .....	15
1.5.9	Therapie der Sarkopenie .....	17
1.6	Hypothesen und primärer Endpunkt .....	22
<b>2</b>	<b>Methoden.....</b>	<b>23</b>
2.1	Studiendesign .....	23
2.2	Probandenkollektiv.....	23
2.3	Ein- und Ausschlusskriterien .....	26
2.4	Trainingsgruppen.....	28
2.4.1	Krafttraining .....	28
2.4.2	Ganzkörpervibrationstraining / Whole-body-Vibration (WBV) .....	30
2.4.3	Tragen einer Rückenorthese – Spinomed® active men.....	31
2.4.4	Qi Gong.....	31
2.5	Visitenschema .....	32
2.6	Körperliche Untersuchung .....	34
2.7	Messung der Muskelkraft, der Muskelmasse und der Muskelfunktion.....	35
2.7.1	Messung der Maximalkraft der Rumpfmuskulatur .....	35

2.7.2	Bioimpedanzanalyse (BIA) .....	36
2.7.3	Handkraftmessung .....	37
2.7.4	Short Physical Performance Battery (SPPB) .....	38
2.7.5	Six-Minute-Walk Test (6MW) .....	42
2.7.6	Timed Up and Go Test (TUG).....	42
<b>2.8</b>	<b>Statistik .....</b>	<b>43</b>
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>44</b>
<b>3.1</b>	<b>Probandenkollektiv.....</b>	<b>44</b>
3.1.1	Begleiterkrankungen .....	44
3.1.2	Medikamentenanamnese .....	45
<b>3.2</b>	<b>Anthropometrische Daten .....</b>	<b>46</b>
3.2.1	Alter.....	46
3.2.2	Entwicklung der Körpergröße.....	47
3.2.3	Entwicklung des Körpergewichts.....	47
3.2.4	Entwicklung des BMI .....	48
3.2.5	Entwicklung des SMI.....	50
<b>3.3</b>	<b>Rumpfmessungen .....</b>	<b>53</b>
3.3.1	Entwicklung der Extensionskraft .....	53
3.3.2	Entwicklung der Flexionskraft .....	55
3.3.3	Entwicklung des Bewegungsumfangs des Rumpfes.....	57
3.3.4	Entwicklung der Handkraft im Gruppenvergleich .....	59
<b>3.4</b>	<b>Messungen der Muskelfunktion.....</b>	<b>61</b>
3.4.1	Entwicklung der Gehgeschwindigkeit im Gruppenvergleich .....	61
3.4.2	Entwicklung des CRT im Gruppenvergleich .....	63
3.4.3	Gleichgewichtstests.....	65
3.4.4	SPPB Punkte .....	71
3.4.5	Entwicklung des TUG im Gruppenvergleich .....	73
3.4.6	Entwicklung des 6MW im Gruppenvergleich .....	75
<b>3.5</b>	<b>Vergleich der Entwicklung aller Trainingsgruppen .....</b>	<b>77</b>
<b>3.6</b>	<b>Probanden mit erhöhtem Risiko für muskuläre Defizite .....</b>	<b>79</b>
3.6.1	Alter der Probanden in den Subgruppen.....	81
3.6.2	Körpergröße der Probanden in den Subgruppen .....	81
3.6.3	Entwicklung des Körpergewichts in den Subgruppen .....	81

3.6.4	Entwicklung des BMI in den Subgruppen .....	82
3.6.5	Entwicklung des SMI in den Subgruppen .....	83
3.6.6	Entwicklung der Extensionskraft in den Subgruppen .....	85
3.6.7	Entwicklung der Flexionskraft in den Subgruppen .....	87
3.6.8	Entwicklung des Bewegungsumfangs des Rumpfes in den Subgruppen.....	89
3.6.9	Entwicklung der Handkraft in den Subgruppen .....	90
3.6.10	Entwicklung der Gehgeschwindigkeit in den Subgruppen .....	92
3.6.11	Entwicklung des CRT in den Subgruppen .....	93
3.6.12	Entwicklung der Gleichgewichtstests in den Subgruppen.....	95
3.6.13	Entwicklung der SPPB in den Subgruppen.....	98
3.6.14	Entwicklung des TUG in den Subgruppen.....	100
3.6.15	Entwicklung des 6MW in den Subgruppen.....	101
3.6.16	Übersicht der Entwicklung in den Subgruppen .....	103
<b>4</b>	<b><i>Diskussion</i></b> .....	<b>105</b>
<b>4.1</b>	<b>Entwicklung der Rumpfkraft und Rumpfbeweglichkeit</b> .....	<b>105</b>
<b>4.2</b>	<b>Entwicklung der sekundären Endpunkte</b> .....	<b>109</b>
<b>4.3</b>	<b>Veränderungen anthropometrischer Messgrößen im Studienverlauf</b> .....	<b>114</b>
<b>4.4</b>	<b>Adhärenz</b> .....	<b>116</b>
<b>4.5</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse der Subgruppen mit erhöhtem Risiko für muskuläre Defizite</b>	<b>118</b>
4.5.1	Probanden in höherem Alter $\geq 80$ Jahre .....	118
4.5.2	Probanden mit erniedrigtem SMI $\leq 10,75$ kg/m <sup>2</sup> .....	119
4.5.3	Multimorbide Probanden.....	120
<b>4.6</b>	<b>Diskussion der Limitationen der Studie</b> .....	<b>121</b>
4.6.1	Studiendesign .....	121
4.6.2	Studienpopulation .....	122
4.6.3	Messverfahren .....	123
<b>5</b>	<b><i>Zusammenfassung</i></b> .....	<b>125</b>
<b>6</b>	<b><i>Literaturverzeichnis</i></b> .....	<b>127</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 *Der Knochen im Alter*

Der Knochen als Organ unterliegt ständigen Umbauprozessen. Hierbei besteht ein physiologisches Gleichgewicht zwischen Auf- und Abbau der Knochensubstanz an dem eine Vielzahl an Zellen beteiligt sind (1, 2). Laufen diese Vorgänge in einem physiologischen Gleichgewicht ab, kommt es zu einem gesunden und stabilen Knochen, der dem Organismus Form und Stabilität verleiht, innere Organe schützt und maßgebliche Voraussetzung für Mobilität und Aktivität ist (3). Mit zunehmendem Alter jedoch verändern und verlangsamen sich diese Stoffwechselprozesse, so dass sich ein Ungleichgewicht meist zu Gunsten einer gesteigerten Knochenresorption einstellt (2). Im weiteren Verlauf kommt es zu einem teils nicht unerheblichen Substanzverlust an Knochen, der sich wiederum in einer erniedrigten Knochendichte manifestiert (4, 5). Erreicht dieser Substanzverlust ein kritisches Maß, kommt es zu einer mechanischen Schwächung des Knochens, wodurch dieser weniger belastbar wird (3). Wird dabei ein kritischer Schwellenwert unterschritten liegt eine Osteoporose vor und es kommt in diesem Zuge zu einem gesteigerten Frakturrisiko (2).

## 1.2 *Osteoporose des Mannes*

Galt die Osteoporose früher durch ihre zeitlich eng an die Wechseljahre der Frau gebundene Prävalenz noch als eine vornehmlich das weibliche Geschlecht betreffende Erkrankung, so weiß man heutzutage, dass Männer in gleichem Maße hiervon betroffen sein können (6). Inzwischen gibt es aussagekräftige wissenschaftliche Untersuchungen zur Prävalenz der Osteoporose bei Männern. So geht man davon aus, dass einer von fünf Männern über 50 Jahren bereits eine Osteoporose bedingte Fraktur erlitten hat (6). Die Inzidenz dieser Frakturen nimmt jenseits des 65. Lebensjahres noch einmal erheblich zu. Dies legt nahe, dass Männer in höherem Alter ein gesteigertes Frakturrisiko analog dem der Frauen haben (7, 8). Inzwischen gibt es für den Mann ähnlich wie für die Frau gut wissenschaftlich belegte medikamentöse Therapieoptionen zur Behandlung einer vorliegenden Osteoporose, dennoch ist wohl davon auszugehen, dass die Dunkelziffer an bisher undiagnostizierten erkrankten Männern noch recht hoch ist und dementsprechend längst nicht alle Betroffenen eine Therapie erhalten. Demnach

besteht ein nicht unerheblicher Bedarf an weiteren diagnostischen Modalitäten und Strategien, um die Patienten, für die ein erhöhtes Frakturrisiko besteht frühzeitig zu identifizieren und einer entsprechenden Therapie zuzuführen.

### 1.3 Bedeutung der Rumpfmuskulatur

Die Osteoporose kann teils zu gravierenden Spätfolgen führen, da das Erleiden von Frakturen ein einschneidendes Erlebnis für den Körper darstellt, von dem er sich nur schwer erholt, was im Weiteren zu einer gesteigerten Morbidität und Mortalität führen kann (2, 9, 10). Zunächst bewirkt das Erleiden von Frakturen jedoch immer zumindest eine teilweise Immobilisation des Betroffenen, wodurch wiederum Muskel- wie auch weitere Knochenmasse abgebaut wird, wodurch sich ein Circulus Vitiosus für den Patienten einstellt (2). Gerade aber die Muskulatur selbst hat eine enorme Bedeutung für die Prävention weiterer Frakturen und die Vermeidung von Sturzereignissen selbst (2, 11-13).

Allen voran ist die Rumpfmuskulatur zu nennen, die die Körpermitte stützt und den Oberkörper aufrechthält. Die Rumpfmuskulatur kann grob in zwei Funktionssysteme eingeteilt werden. Zum einen gibt es die Muskulatur der Extremitäten, welche vom Rumpf entspringen und Kräfte auf Schultergürtel, Arme, Hüfte und Beine ausüben. Zum anderen gibt es die Binnenmuskulatur, welche direkt auf den Rumpf wirkt. Diese kann man nach Lage und Funktion weiter in vier große Gruppen unterteilen: Die autochthone Rückenmuskulatur, die Muskeln der seitlichen und vorderen Rumpfwand, das Zwerchfell und die Muskeln des Beckenbodens. Die autochthone Rückenmuskulatur wird in ihrer Gesamtheit auch als *M. erector spinae* bezeichnet. Sie besteht aus vielen Einzelmuskeln, die beidseits an der Wirbelsäule vom Hinterkopf über Nacken, Thorax und Lende bis zum Beckengürtel ziehen. Ihre Hauptfunktion liegt in der Aufrichtung der Wirbelsäule und des Kopfes. Die Muskeln der seitlichen Bauchwand werden von den *Mm. obliqui* und vom *M. transversus* gebildet. Diese seitlichen Bauchwandmuskeln verschmelzen vorne zu derben Sehnenplatten (*Aponeurosen*) und bilden dort die vordere Bauchwand. In diese Sehnenplatten ist ein längsverlaufender, gerader Bauchmuskel eingebettet, der *M. rectus abdominis*. Die Bauchwandmuskeln stabilisieren den Körper von der Seite und von vorne und können durch ihr Zusammenspiel den Rumpf beugen und drehen (14).



Die Rumpfmuskulatur ist das stabilisierende Zentrum des Körpers und stellt die Verbindung zwischen den oberen und unteren Extremitäten dar. Sie ermöglicht Bewegungen, die den gesamten Körper miteinbeziehen, ob bei alltäglichen Aktivitäten oder beim Sport. Auch beim kurzzeitigen Verlust des Gleichgewichts, ist die Rumpfmuskulatur unerlässlich zur Wiedererlangung eines sicheren Standes (13, 15). Zusätzlich übt die Rumpfmuskulatur große Kräfte auf die Wirbelsäule selbst aus. Durch diese Muskel-Knochen-Interaktion adaptieren sich die Wirbelkörper an die mechanische Beanspruchung und werden selbst belastbarer (13). Umgekehrt konnten Studien bei denen die Patienten mehrere Wochen strikte Bettruhe einhielten zeigen, dass bereits nach kurzer Zeit die Knochenmasse abnahm (16, 17).

Aktuelle Studien beschreiben einen Zusammenhang zwischen einer defizitären Rumpfmuskulatur und der Prävalenz von Wirbelkörperfrakturen. Es konnte ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Wirbelkörperfrakturen und einer schwachen Rückenmuskulatur nachgewiesen werden (18, 19). Umgekehrt kann eine starke und gut trainierte Rückenmuskulatur auch vertebrale Knochenbrüche teilweise vorbeugen (19-21). Eine schwache Rumpfmuskulatur führt zudem zu einer erhöhten Sturzgefahr (22). Im Jahr 2012 zeigten *Katzman et al.* in ihrer Studie, dass eine verminderte Kraft der Rückenextensoren zusammen mit bereits bestehenden Wirbelkörperfrakturen zu einer Hyperkyphose insbesondere der Brustwirbelsäule führen. Diese Fehlhaltung des Rumpfes bewirkt eine Verlagerung des Körperschwerpunktes nach vorne (23, 24). Verringerte Gehgeschwindigkeit, Einschränkungen beim Treppensteigen, ein vermindertes Gleichgewicht und ein erhöhtes Sturzrisiko sind die Folgen (25-27).

Eine intakte Rumpfmuskulatur hat somit eine zentrale Rolle für die Mobilität und damit für die Selbstständigkeit des älteren Menschen, außerdem trägt sie in erheblichem Maße zur Verminderung des Sturzrisikos bei.

#### *1.4 Interaktion von Knochen und Muskel*

Knochen und Muskel sind eng miteinander verbunden. *Frost et al.* erläuterten bereits 1960 im Rahmen des „*Utah Paradigm*“ den Einfluss des Muskels auf die Umbauprozesse im Knochen (28, 29). Der Knochen adaptiert sich ein Leben lang an die mechanischen Ansprüche und Belastungen, denen er kontinuierlich ausgesetzt ist. Die Muskeln können durch Zug-, Druck-, sowie Scherkräfte die knochenbildenden Zellen

stimulieren und somit den Aufbau des Knochens beeinflussen (30, 31). Unter kontinuierlicher Belastung kommt es zu einer Zunahme der Knochenmasse und Knochendichte und somit zu einer Verbesserung der Stabilität des Knochens. Bei geringer Belastung, z.B. im Rahmen von Immobilisationsphasen, kommt es hingegen zu einem vermehrten Abbau der Knochensubstanz und somit zu einer fragileren Knochenarchitektur (32). Eine reduzierte Belastung von Knochen und Muskel führt außerdem zu einem Ungleichgewicht von molekularen Signalkaskaden. Hieran sind Sexualhormone, wie Östrogen und Testosteron, beteiligt. Weitere Hormone des Stoffwechsels, wie Schilddrüsenhormone, Wachstumshormone, Insulin oder Entzündungsmediatoren haben ebenso einen Einfluss auf den Knochen- und Muskelstoffwechsel (33-41).

Muskel und Knochen beeinflussen sich permanent gegenseitig. Ein starker und trainierter Muskel trägt zu einem stabilen und festen Knochen bei. Im Alter kommt es nun regelhaft sowohl zu Beeinträchtigungen des Knochen- wie aber auch des Muskelstoffwechsels, so dass sich diese beiden muskuloskelettalen Größen negativ beeinflussen können. Einen besonderen Stellenwert in diesem Kontext kommt dementsprechend der Sarkopenie zu (42).

## 1.5 Sarkopenie

### 1.5.1 Definition

Der Begriff „Sarkopenie“, wurde erstmals von Irwin H. Rosenberg im Jahre 1989 beschrieben. Er leitet sich aus den beiden griechischen Wörtern „sarx“ („Fleisch“) und „penia“ („Mangel“) ab. Damals war der Begriff Sarkopenie lediglich gleichbedeutend mit einem reinen Verlust an Muskelmasse im Alter (43).

Der Verlust an Muskelmasse und Muskelkraft im Laufe des Lebens ist zu einem gewissen Teil physiologisch. So weiß man, dass ab dem 50. Lebensjahr die Muskelmasse jährlich um ca. 1-2% abnimmt. Inzwischen weiß man aber auch, dass nicht nur die Masse selbst abnimmt, sondern auch konkret die Muskelkraft jährlich bis zu 1,5% verliert. Bei über 60-Jährigen steigt der Verlust an Kraft sogar auf bis zu 3% pro Jahr an (44). *Goodpaster et al.* konnten in ihrer 2006 veröffentlichten *Health, Aging, and Body Composition* - Studie zeigen, dass der Verlust an Muskelkraft größer ist, als der an Muskelmasse und, dass hauptsächlich sog. Typ-2-Muskelfasern verloren gehen, die

vornehmlich für die Schnellkraft verantwortlich und notwendig sind. In einem Zeitraum von 3 Jahren konnte diese Studie zeigen, dass es bei n=1880 Probanden im Alter von 70 bis 79 Jahren zu einer Verminderung der Beinkraft von 3,4% pro Jahr bei den Männern und von 2,6% pro Jahr bei den Frauen gekommen ist. Zugleich nahm die Muskelmasse der Beine aber nur um 1% pro Jahr ab (45). Die Ergebnisse dieser Studie führten mitunter zur Anpassung der Definition der Sarkopenie, da man nun nicht mehr den rein quantitativen Verlust an Muskelmasse, sondern auch den qualitativen Aspekt des Muskels berücksichtigte (46).

Im Jahre 2009 wurde erstmals eine Expertenkommission einberufen, die „IWGS-*International Working Group on Sarcopenia*“, die Sarkopenie als „alters-assoziierten Verlust von Muskelmasse und Muskelfunktion“ definierte (47). Im Jahr 2010 bildete sich dann die „Europäische Arbeitsgruppe für Sarkopenie beim älteren Menschen („EWGSOP - *European Working Group on Sarcopenia in Older People*“) und legte ihre Definition in Anlehnung an die „IWGS“ fest. Diese definierte die Sarkopenie als einen „progressiven und generalisierten Verlust an Muskelmasse und Muskelkraft, der zu körperlicher Behinderung, reduzierter Lebensqualität und gesteigerter Mortalität führen kann“ (48). Eine größere Anzahl an Beobachtungsstudien der letzten Jahrzehnte zeigte interindividuelle Schwankungen im Hinblick auf den Schweregrad und das Manifestationsalter, so dass man die Sarkopenie heute eher als einen über die Altersnorm hinausgehenden Verlust an Muskelmasse, Muskelkraft und/oder Muskelfunktion definiert, dem ein eigenständiger Krankheitswert zukommt (48). Das Vorliegen einer Sarkopenie hat folgenschwere gesundheitliche Konsequenzen und führt bei Betroffenen zu erheblichen Einschränkungen im Alltag (46). Inzwischen wurde 2019 eine erneute Änderung der diagnostischen Parameter einer Sarkopenie von der EWGSOP verabschiedet. Jedoch wird in der folgenden Arbeit, welche zwischen 2015 und 2016 durchgeführt wurde, nur auf die 2010 etablierten diagnostischen Kriterien eingegangen, anhand derer das Studienprotokoll maßgeblich verfasst wurde (49).

Am 1. Oktober 2016 erhielt die Sarkopenie eine Klassifizierung im *International Classification of Disease, Tenth Revision, Clinical Modification Code (ICD-10-CM)* mit dem Code (M62.84). Seitdem gilt sie als eigenständige Erkrankung (50).

### 1.5.2 Gesundheitliche Konsequenzen

Die Muskulatur ist Grundvoraussetzung jeglicher Bewegung und Mobilität und somit unerlässlich für ein selbstständiges Leben. So wirkt sich ein Verlust an Muskelmasse, Muskelkraft und -Funktion gravierend auf das Leben des Einzelnen aus. In ihrer Metaanalyse fassen *Beaudart et al. 2017* die aktuelle Datenlage bzgl. der gesundheitlichen Folgen der Sarkopenie zusammen. Es besteht laut ihrer Untersuchung ein hochsignifikanter Zusammenhang zwischen dem Vorliegen einer Sarkopenie und einem gesteigerten Sturzrisiko (51). In der Studie von *Landi et al. 2012* erlitten 27,3% der Probanden mit Sarkopenie mindestens einmal pro Jahr einen Sturz (52). *Cawthon et al.* erfassten 2015 in ihrer Studie ein 2,38-mal höheres Sturzrisiko für Probanden mit einer bestehenden Sarkopenie (53). Zudem zeigten Studien eine vermehrte Hospitalisierung bei Patienten mit einer bestehenden Sarkopenie. Der Krankenhausaufenthalt selbst führt dann wiederum zu einem weiteren Abbau und Verlust an Muskelmasse - und -funktion (54, 55). Letzten Endes kommt es hierdurch zu einem gravierenden Verlust an Lebensqualität, wie aber auch zu einem alarmierenden Anstieg der Morbidität und Mortalität der Betroffenen (56, 57). Die Sarkopenie rückt deshalb zunehmend in den Interessensmittelpunkt aktueller Forschungsvorhaben (51, 58-60).

### 1.5.3 Entstehung der Sarkopenie

Der Sarkopenie liegt grundsätzlich eine multifaktorielle Genese zugrunde. Neben genetischen Faktoren, spielen sowohl intrinsische wie auch extrinsische Faktoren eine entscheidende Rolle bei ihrer Entstehung (vgl. Abbildung 1).

Über die Zeitspanne vom zwanzigsten bis zum achtzigsten Lebensjahr verliert der Mensch fast 50% seiner Muskelfasern. Der größte Verlust erfolgt ab dem 60. Lebensjahr (61). Alters-assozierte Veränderungen betreffen das Nervensystem, die Zusammensetzung des Muskels und die Funktion der Sehnen selbst (62). Auf Rückenmarksebene kommt es zum Verlust der Motoneuronen in den Vorderhornzellen, zusätzlich nimmt die Leitfähigkeit der Nerven infolge von Demyelinisierungs- und Remyelinisierungsprozessen ab, so dass mutmaßlich der neurale Stimulus auf die Muskulatur reduziert wird (63). Durch eine verminderte neuronale Ansteuerung, sowie durch das Absterben von Muskelzellkernen kommt es zum Verlust an Muskelfasern und

somit zu einer Reduktion der Muskelmasse. Vor allem sind die schnell kontrahierenden Typ-2-Fasern betroffen (64). Weiterhin kommt es zu vermehrten Fetteinlagerungen innerhalb des Muskels.

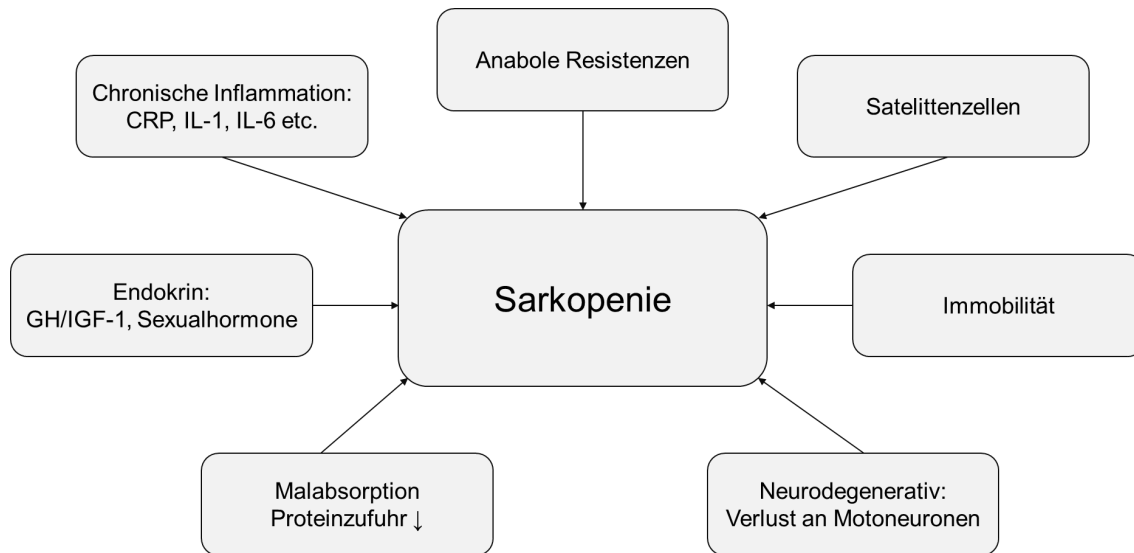


Abbildung 1: Ursachen der Sarkopenie anlehndend an Cruz-Jenthoft 2010 – EWGSOP (48)  
Abkürzungen: CRP (C-reaktives Protein), IL-1 (Interleukin-1), IL-6 (Interleukin-6), GH (Growth Hormone/ Wachstumshormon), IGF-1 (Insulin-like growth factor 1)

Eine weitere Ursache ist eine reduzierte Regenerationsfähigkeit des Muskels selbst durch die verminderte Anzahl und Funktion der Satellitenzellen des Muskels. Satellitenzellen sind die Stammzellen des Muskels und entscheidend für Regenerationsvorgänge im Muskel, vor allem nach Verletzungen. Auf molekularer Ebene können dauerhaft erhöhte Entzündungsfaktoren oder verminderte Sexual- oder Wachstumshormone zu einer Degeneration führen. Häufig führt auch eine defiziente Ernährung, vor allem ein Proteinmangel, zu einem gesteigerten Abbau an Muskelmasse. Ferner tragen verschiedene andere Faktoren zur Entstehung der Sarkopenie bei, wie z.B. Multimorbidität, Polypharmazie und verschiedene Umwelteinflüsse im weitesten Sinne. Auch Beeinträchtigungen des Gleichgewichts, der kognitiven Fähigkeiten, und anderer Sinnesorgane wirken sich negativ auf die Mobilität im Alter aus und beschleunigen so den Abbau an Muskelsubstanz zusätzlich (65, 66). Umwelteinflüsse, wie die direkte häusliche Umgebung, die familiäre und soziale Fürsorge spielen weiterhin eine Rolle bei der Entstehung einer Sarkopenie (57). Letzten Endes führen diese Veränderungen zu einem nicht unerheblichen Verlust an körperlicher Leistungsfähigkeit

beim alternden Menschen. Bewegungen, die essenziell zur Bewältigung alltagsrelevanter Aufgaben sind, wie Treppensteigen, vom einem Stuhl-Aufstehen, oder sich bei einem Sturz durch einen Ausfallschritt abfangen, werden dadurch zunehmend unmöglich für den einzelnen (62). Grundsätzlich handelt es sich bei der Genese einer Sarkopenie um ein komplexes multifaktorielles Geschehen, welches über einen längeren Zeitraum abläuft und dementsprechend eine diagnostische, wie therapeutische Herausforderung für die behandelnden Disziplinen darstellt.

#### *1.5.4 Veränderungen der Rumpfmuskulatur im Alter*

Lange Zeit spielte der altersassoziierte Verlust an Muskelmasse und speziell der Muskelfunktion der Rumpfmuskulatur im Sinne einer Sarkopenie wissenschaftlich gesehen eher eine untergeordnete Rolle. Erst in den letzten Jahren fokussierten sich einige Studie auf die altersbedingten Veränderungen der Rumpfmuskulatur (13, 25, 67). Auch die paravertebrale Muskulatur bleibt von degenerativen Veränderungen im Rahmen des physiologischen Alterungsprozesses nicht unberührt. In kernspintomographischen Untersuchungen (MRT) der Rückenmuskulatur konnte eine vermehrte Fettinfiltration der Muskulatur mit zunehmendem Alter nachgewiesen werden (68, 69). Diese Fettinfiltration war im Vergleich zum Muskelmasseverlust von höherer Bedeutung. Eine Erklärung dafür sehen aktuelle Untersuchungen in der Zusammensetzung der Muskelfasern der paravertebralen Muskulatur. Diese besteht vornehmend aus langsam kontrahierenden Typ I Muskelfasern, welche für langanhaltende, mäßige Belastung (Haltemuskulatur) spezialisiert sind (70). Typ I Muskelfasern lagern mit zunehmendem Alter vermehrt Fettdepots ein. Im Gegensatz dazu sind Muskeln mit vornehmend schnell kontrahierenden Typ II Muskelfasern mehr von einer Atrophie im Alter betroffen (69, 71, 72).

Ursächlich für die Degeneration der paravertebralen Muskulatur sind nach aktuellem Stand eher die zunehmenden Fetteinlagerungen als die Atrophie der Muskeln selbst (69).

### 1.5.5 Diagnostik der Sarkopenie

Da es bis heute keine weltweit einheitliche Definition der Sarkopenie gibt, ist die Datenlage zu deren Prävalenz je in verschiedenen Studien je nach verwendeter Definition immer noch sehr heterogen (73, 74). Eine Standardisierung der Untersuchungsverfahren stellt daher eine der großen zukünftigen Herausforderung im Feld dar. Aus diesen Gründen schwanken die Angaben der Prävalenz weltweit enorm. Eine aktuelle Metaanalyse von *Papadopoulou et al.* aus dem Jahr 2020 gibt bei selbständig lebenden Männern eine Prävalenz von 11% an, bei Frauen lag diese bei 9%. Bei hospitalisierten älteren Männern und Frauen geht man sogar von 23% bzw. 24% aus. Bei in Pflegeheimen lebenden Männern und Frauen vermutet man sogar eine noch höhere Prävalenz von 51% bzw. 31%. In diese Metaanalyse wurden allerdings Studien eingeschlossen, welche unterschiedliche Algorithmen zur Diagnose einer Sarkopenie nutzen (73). Genauere Aussagen mit einem einheitlichen Algorithmus zur Diagnose werden von Messergebnissen mit kleineren Studienpopulationen angegeben. So wurde in der *Hertfordshire Cohort Study* in England, anhand der *EWGSOP* Definition, eine Prävalenz von 4,6% bei Männern und von 7,9% bei Frauen mit einem Durchschnittsalter von 67 Jahren festgestellt (55). In einer Erhebung der Universität Erlangen im Kontext des *FORMOsA* Projekts (*Forschungsverbund Muskelschwund (Sarkopenie) und Osteoporose – Folgen eingeschränkter Regeneration im Alter*) wurde anhand der *EWGSOP*-Kriterien, eine Prävalenz von 4,5% bei über 70-Jährigen und 9,9% bei den über 80-Jährigen Frauen gemessen (75). Betrachtet man nun diese deutlich variierenden Angaben ist es von entscheidender Bedeutung einem konkreten, definierten diagnostischen Algorithmus zu folgen und dessen Kernkriterien vorab zu definieren. Ein solcher, in der Literatur häufig angewandter Algorithmus ist der der *EWGSOP* (48).

Die 2010 durch die *EWGSOP* festgelegten Kernkriterien der Sarkopenie beinhalten sowohl den Nachweis einer reduzierten Muskelmasse wie auch einer reduzierten Muskelfunktion. Dementsprechend fließen beide Merkmale in den Diagnosealgorithmus ein und werden anhand definierter Schwellenwerte ermittelt (48). Zunächst wird die Gehgeschwindigkeit erfasst und sollte diese  $\leq 0,8\text{m/s}$  liegen, so erfolgt die Messung der Muskelmasse, welche einen nach Geschlecht festgelegten kritischen Schwellenwert unterschreiten muss, um dann letztendlich eine Sarkopenie festzustellen. Liegt die Gehgeschwindigkeit  $> 0,8\text{m/s}$  erfolgt zunächst die Messung der Handkraft. Ist die Handkraft bei Frauen  $< 20\text{kg}$ , oder bei Männern  $< 30\text{kg}$ , erfolgt dann die Bestimmung der

Muskelmasse. Je nach ermitteltem Wert wird dann eine Sarkopenie festgestellt (Abbildung 2). Alternativ kann zur Bestimmung der reduzierten Muskelleistung auch die *Short Physical Performance Battery (SPPB)* herangezogen werden (76). Diese setzt sich aus 3 Tests zusammen, die das Gleichgewicht, die Gehgeschwindigkeit und indirekt die Beinkraft messen. Liegt die erreichte Maximalpunktzahl bei  $\leq 8/12$  Punkten, ist von einer eingeschränkten muskulären Leistungsfähigkeit auszugehen. Im nachfolgenden Kapitel werden die diagnostischen Untersuchungsmöglichkeiten genauer dargestellt.

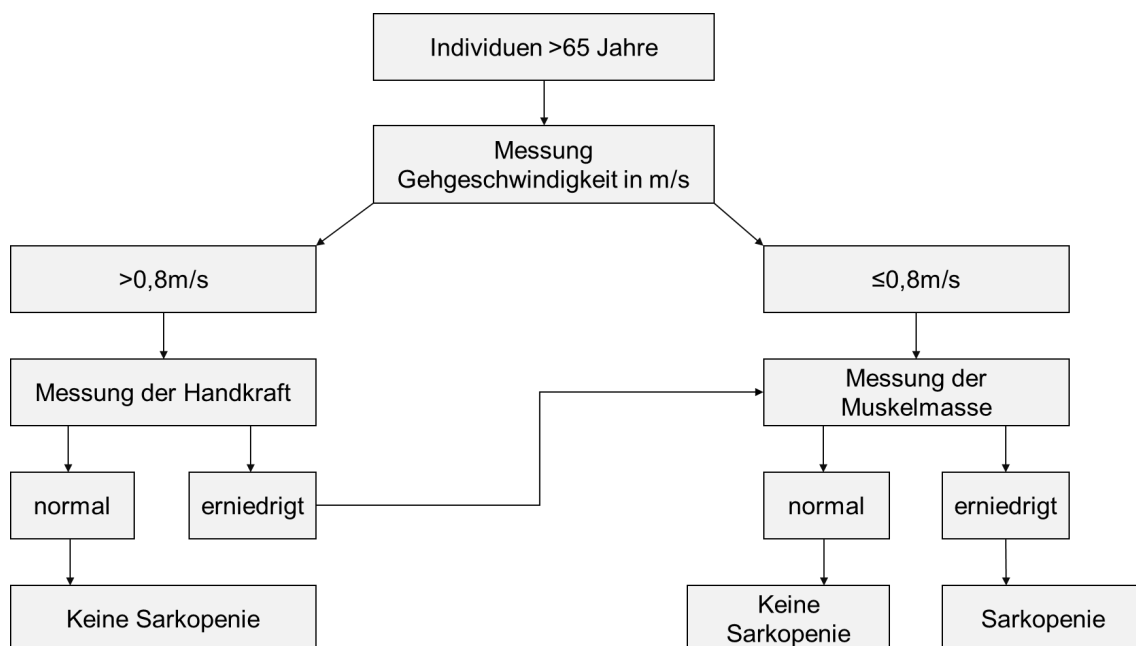


Abbildung 2: Algorithmus EWGSOP angelehnt an Cruz-Jenthoft 2010 Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. (48)

Die *EWGSOP* unterteilt die Diagnose Sarkopenie weiterhin in unterschiedliche Schweregrade. Die „Prä-Sarkopenie“ beschreibt eine erniedrigte Muskelmasse bei normaler Muskelkraft und –Leistung, die „Sarkopenie“ eine erniedrigte Muskelmasse in Kombination mit erniedrigter Muskelkraft oder erniedrigter Muskelleistung. Eine „Schwere Sarkopenie“ beschreibt das Stadium, in welchem alle drei Parameter: Masse, Kraft und Leistung die Grenzwerte unterschreiten (48). Für eine genauere Definition der Grenzwerte siehe Tabelle 1.



Der Vollständigkeit halber sollte erwähnt werden, dass nach Abschluss der Untersuchungen ein revidierter Algorithmus der EWGSOP zur Diagnose der Sarkopenie herausgegeben wurde (Cruz-Jenthoft 2019). Grundkonzeption und die berücksichtigten Parameter sind gerade was das Vorgehen für wissenschaftliche Arbeiten anbelangt aber grundsätzlich unverändert.

Tabelle 1: Cut-Off Werte der *European Working Group on Sarcopenia in Older People* (48)  
 Abkürzungen: DXA (Dual-energy X-ray absorptiometry), BIA (Bioelektrische Impedanzanalyse), SMI (Skelettmuskelindex), SPPB (Short Physical Performance Battery), GS (Gehgeschwindigkeit), M (Männer), F (Frauen)

Kategorie	Klinischer Test	Parameter	Schwellenwert
Muskelmasse	DXA	SMI Appendikuläre Skelettmuskelmasse in kg/m <sup>2</sup>	M <7,26kg/m <sup>2</sup> W <5,50kg/m <sup>2</sup>
	BIA	SMI Appendikuläre Skelettmuskelmasse in kg/m <sup>2</sup>	M <8,87kg/m <sup>2</sup> W <6,42kg/m <sup>2</sup>
Muskelkraft	Isometrische Handkraftmessung	Handkraft (kg)	W <20kg M <30kg
Muskefunktion	SPPB	Balance, Gehgeschwindigkeit, Chair Rise Max. 12 Punkte	≤8Punkte
	Gehgeschwindigkeit (GS)	Gehgeschwindigkeit über 4m in m/s	≤0,8m/s

### 1.5.6 Messung der Muskelmasse

Es gibt verschiedene Methoden zur Messung der Muskelmasse. Hochauflösende Verfahren wie die Magnetresonanztomographie (MRT), oder Computertomographie (CT) ermöglichen sehr genaue Messungen. Jedoch benötigen diese Verfahren einen hohen Aufwand und können auch teils mit einer Strahlenbelastung einhergehen, so dass diese beiden Verfahren im klinischen Alltag eine nur untergeordnete Rolle spielen und daher eher von rein wissenschaftlicher Bedeutung sind (77, 78). Zurzeit wird jedoch vor allem die *Dual Energy X-ray Absorptiometry (DXA)* oder die *Bioimpedanzanalyse (BIA)* zur Bestimmung der Muskelmasse genutzt. Beide Messgeräte sind im Alltag leicht zugänglich und einfach zu handhaben. Im Vergleich zur CT kommt die DXA mit nur einem Bruchteil der Strahlenbelastung aus. Die BIA hat den Vorteil der Mobilität des Geräts und führt zu keinerlei Strahlenbelastung. Da die Muskelmasse selbst mit der Körpergröße des Individuums in Zusammenhang steht, ist es sinnvoll den Skelettmuskelmasseindex (SMI) zu berechnen um Körpergröße und Masse in Relation zueinander zu setzen (79).

#### 1.5.6.1 Dual Energy X-ray Absorptiometry (DXA)

Die Dual Energy X-ray Absorptiometry (DXA) ist der aktuelle Goldstandard zur Messung der Knochendichte. Mit ihr lässt sich aber auf dem gleichen Messprinzip beruhend, die Muskelmasse bestimmen. Die Messung basiert auf einem drei Kompartimentenmodell: Fettmasse, Knochenmasse und fettfreie Weichteilmasse können aufgrund der unterschiedlichen Absorptionseigenschaften des Gewebes differenziert und einzeln gemessen werden. So kann die Gesamtheit der fettfreien Körpermasse und dadurch wiederum die Gesamtmuskelmasse und die appendikuläre Muskelmasse bestimmt werden (80).

Die DXA hat heutzutage im wissenschaftlichen wie auch im klinischen Alltag einen bedeutenden Stellenwert. Die Vorteile der DXA sind die kurze Aufnahmedauer, die gute Reproduzierbarkeit und die geringe Strahlenbelastung (47, 48, 81-83). Jedoch ist die Messung standortgebunden, weswegen z.B. ein mobiler Einsatz bei institutionalisierten Patienten nicht möglich ist. Außerdem können Körperdicke, Hydratationsstatus und verschiedene Erkrankungen, oder Voroperationen die Messergebnisse beeinflussen. Weiterhin ist es nicht möglich intramuskuläre Fetteinlagerungen von reiner Muskelmasse

zu differenzieren, welche besonders bei übergewichtigen Personen 5-15% der gemessenen Muskelmasse ausmachen können und so eine normal hohe Muskelmasse vortäuschen können (84, 85).

In der Ganzkörpermessung wird bei der DXA die Muskelmasse in Gramm pro Extremität und für den Rumpfbereich erfasst. Diese kann man mittels einer Formel in den *appendicular skeletal muscle index (ASMI)* umrechnen (86).

#### 1.5.6.2 Bioimpedanzanalyse (BIA)

Bei der Bioimpedanzanalyse (BIA) wird ein schwacher Wechselstrom mithilfe von auf der Haut befestigten Elektroden durch den Körper geleitet und so der elektrische Widerstand (Impedanz  $Z$ ) des Körpers gemessen. Das Prinzip der Messung beruht auf der spezifischen Leitfähigkeit unterschiedlicher Gewebe. Das Fettgewebe stellt einen hohen Widerstand dar, die fettfreie Masse ist demgegenüber ein guter Leiter. Die Muskelmasse besteht mit nur geringen Schwankungen zu 74% aus Wasser und stellt damit das wasserreichste Gewebe im Körper dar. Der Strom fließt durch das Wasser und trifft in der Fettmasse auf einen Widerstand. Somit kann die Körperfettmasse und die fettfreie Masse ermittelt werden (87-89). Die BIA-Messung und ihre Ergebnisse sind schon geraume Zeit in der klinischen, wie auch wissenschaftlichen Routine im Einsatz, weswegen es sich hier um ein gut erprobtes und validiertes Messverfahren handelt. *Janssen et al.* konnten eine verlässliche Korrelation der Ergebnisse bei der Messung der Muskelmasse mit BIA und MRT nachweisen. Sie entwickelten eine Gleichung zur Bestimmung der Muskelmasse, die Körpergröße, Alter und Geschlecht mit einbezieht. Der Skelettmuskelmasseindex (SMI) wird dann aus der Gesamtmuskelmasse im Verhältnis zur Körpergröße zum Quadrat ermittelt und in  $\text{kg}/\text{m}^2$  angegeben (87).

Entsprechend der Kriterien nach EWGSOP wurde ab einem Wert von  $\leq 10,75 \text{ kg}/\text{m}^2$  von einer reduzierten Muskelmasse im Sinne einer Sarkopenie ausgegangen, bei Werten  $\leq 8,5 \text{ kg}/\text{m}^2$  von einer schweren Sarkopenie (48, 87) .

Die BIA ist eine zeiteffiziente Messmethode, welche einfach und kostengünstig im klinischen Alltag durchzuführen ist. Es kommt zu keiner Strahlenbelastung. Hierbei handelt es sich um ein kleines, portables Messgerät, welches nicht ortsgebunden ist. Nachteilig ist jedoch, dass sich Veränderungen des Flüssigkeitshaushaltes (z.B. durch Erkrankungen, Jahreszeit, Voroperationen) auch auf die Messergebnisse auswirken

können, weswegen unter standardisierten (Ort, Zeit, Temperatur) Bedingungen gemessen werden sollte (88).

### *1.5.6.3 Muskelumfangsmessungen*

Anthropometrische Verfahren, wie die Messung des Waden- oder Oberarmumfangs konnten in einzelnen Untersuchungen eine gute Korrelation zwischen Messergebnis und aktuellem Gesundheitszustand aufzeigen, sprich je geringer der Waden- oder Oberarmumfang war, desto reduzierter war auch die Gesundheit. Auch war es möglich aufgrund der Messergebnisse Rückschlüsse auf Leistungsfähigkeit und das Überleben älterer Menschen zu ziehen (84, 90, 91). Jedoch handelt es sich hierbei um ein vom Untersucher abhängiges Messverfahren, welches dementsprechend Schwankungen der Messergebnisse aufweist und nur unzureichend standardisiert ist.

## *1.5.7 Messung der Muskelkraft*

### *1.5.7.1 Messung der Rumpfkraft*

Die Rumpfmuskulatur stellt das stabilisierende Zentrum der Körpermitte dar. Sie ermöglicht die aufrechte Haltung und dient als Widerlager für die Bewegung der Extremitäten. Die Rumpfmuskulatur ist essentiell für das Gleichgewicht und spielt eine große Rolle bei alltäglichen Bewegungen wie Gehen, der Flexibilität des Oberkörpers oder bei aufrichtenden Bewegungen wie zum Beispiel von einem Stuhl aufstehen (13). Weiterhin kann man sie mit einem „Korsett“ für die Wirbelsäule vergleichen. Sie schützt zudem die Wirbelkörper vor Verletzungen. Da die Rumpfmuskulatur auch von der altersbedingten Degeneration betroffen ist, stellt ihre Beurteilung im Alter eine zentrale Komponente zur Beurteilung von Kraft und Muskelfunktion dar. Analog zur von der EWGSOP empfohlenen isometrischen Bein kraftmessung, kann die Rumpfkraft ebenso als isometrische Maximalkraft gemessen werden. Bei der isometrischen Kraftmessung drückt der Proband mit maximaler Anspannung gegen einen unbeweglichen Hebelarm. Der Proband wird in einer standardisierten Körperhaltung positioniert, um den Einfluss anderer Muskelgruppen zu umgehen und die isolierte Messung der Rumpfkraft zu gewährleisten. So kann eine objektive Messung der dorsalen Rumpfmuskulatur durch

die isometrische Extensionskraft und der ventralen Rumpfmuskulatur durch die isometrische Flexionskraft erfolgen.

#### 1.5.7.2 *Messung der Handkraft*

Zur Bestimmung der Muskelkraft wird nach EWGSOP die maximale isometrische Handkraft als repräsentativ für die gesamte Muskelkraft herangezogen (92). Diese ist wissenschaftlich gut belegt und inzwischen weitestgehend in der klinischen Routine etabliert. Hierbei gelten die Schwellenwerte für Männer <30kg und Frauen <20kg als alarmierend für eine Sarkopenie (48). Die Handkraft ist einfach zu erheben und mittels portablen Handkraftdynamometer leicht und an vielen Orten durchführbar. Zudem gibt es eine große Anzahl gut wissenschaftlich erfasster und belegter Referenzwerte. Die Handkraft selbst nimmt im Verlauf des Lebens ab, wobei Studien zeigen konnten, dass dieser Verlust bei Männern etwas akzentuierter als bei Frauen abläuft, die eher einen langsamen stetigen Verlust zeigen (93). Es fanden sich zudem gut belegte Zusammenhänge zwischen der Handkraft und dem Ernährungszustand, sowie dem Gesundheitszustand allgemein. Studien zeigten auch eine prädiktive Aussagekraft für eine erhöhte Mortalität bei einer reduzierten Handkraft (92, 94-96).

#### 1.5.8 *Muskuläre Leistungsdiagnostik*

##### 1.5.8.1 *Gehgeschwindigkeit*

Die Messung der Gehgeschwindigkeit ist ein wissenschaftlich gut beschriebenes Verfahren zur Beurteilung der allgemeinen Leistungsfähigkeit. Sie kann im Rahmen einer Testbatterie, z.B. der Short Physical Performance Battery, oder für sich allein genommen unter einfachen und für jeden zugänglichen Bedingungen über eine vorab definierte Gehstrecke gemessen werden (48, 97-99). In der Regel wird sie je nach Definition über eine 4m oder 6m Strecke ermittelt und in m/s angegeben. Ein kritischer Schwellenwert laut EWGSOP liegt bei einer Gehgeschwindigkeit <0,8m/s auf 4m, wobei es auch andere Definitionen je nach zu Grunde liegender Quelle gibt, wie z.B. laut IWGS-Definition liegt dieser Wert bei <1.0m/s (47, 48). *Buchner et al.* fanden einen nichtlinearen Zusammenhang zwischen Beinkraft und Gehgeschwindigkeit. Bereits kleine physiologische Veränderungen der Beinkraft haben substantielle Auswirkungen

auf die Leistung älterer, gebrechlicher Menschen (97). Die Gehgeschwindigkeit nimmt kontinuierlich mit zunehmendem Alter ab. *Guralnik et al.* konnten in ihrer Studie aufzeigen, dass die Gehgeschwindigkeit einen guten Vorhersagewert für das Auftreten von Einschränkungen im alltäglichen Leben hat (48, 99, 100). Andere Studien konnten sogar eine enge Korrelation zwischen langsamer Gehgeschwindigkeit und erhöhter Mortalität aufzeigen (80, 101).

#### *1.5.8.2 Short Physical Performance Battery (SPPB)*

Die SPPB ist eine Testbatterie bestehend aus 3 einzelnen Testverfahren. Sie beinhaltet die Messung des Gleichgewichts im Side-by-Side-/Semi-/sowie Tandem-Stand. Weiterhin wird die Gehgeschwindigkeit auf 4m in m/s gemessen. Als nächstes folgt der Chair Rise Test (CRT). Hier wird die Beinkraft durch fünfmaliges Aufstehen von einem Stuhl gemessen. Dies sollte ohne Zuhilfenahme der Hände erfolgen (76). Am Ende werden alle Punkte der Einzeltests addiert, wobei eine max. Punktzahl von 12 erreichbar ist. Umso höher das Ergebnis, umso besser hat der Patient abgeschnitten (80, 102). Der CRT eignet sich zur Beurteilung der Beinkraft, aber auch zur Beurteilung des Gleichgewichts des Probanden. Diese Tests sind gute Vorhersageparameter für das Sturzrisiko bei älteren Menschen (103). Für eine schematische Darstellung der Tests siehe Abbildung 12 im Kapitel 2 Methoden.

#### *1.5.8.3 Timed-up and go Test (TUG)*

Ein weiterer Test zur Beurteilung und Erfassung ist der Timed-up and go Test (TUG). Auch dieses Untersuchungsverfahren ist in der geriatrischen Routine bereits fest etabliert (104, 105). Der Proband sitzt hierbei zu Beginn auf einem Stuhl mit Armlehnen an der Wand und wird gebeten aufzustehen, 3m zu gehen, umzudrehen, zurückzugehen und sich wieder zu setzen, dabei wird die Zeit gestoppt. Bei diesem Test dürfen die Arme zur Unterstützung herangezogen werden. Die Messergebnisse lassen valide Rückschlüsse auf die Mobilität, sowie das Sturzrisiko zu (80).

#### *1.5.8.4 6 Minute Walk Test (6MW)*

Um die körperliche Leistungsfähigkeit über einen längeren Zeitraum einschätzen zu können, wird der 6 Minute Walk Test (6MW) durchgeführt. Dabei wird die Strecke in Meter (m) gemessen, welche ein Proband mit maximaler Gehgeschwindigkeit innerhalb von 6 Minuten zurücklegen kann. Auch dieser Test ist wissenschaftlich, wie in der klinischen Routine bereits gut etabliert und gibt einen Anhalt für die sogenannte aerobe Kapazität und stellt damit auch eine Art Ausdauer-Parameter dar (80, 106-108).

#### *1.5.9 Therapie der Sarkopenie*

Bislang existiert keine kausale medikamentöse Therapie zur Behandlung der Sarkopenie, weswegen besonders körperlichem Training und physischer Aktivität als Kontermaßnahmen der Sarkopenie ein besonderer Stellenwert zukommt. Aktuelle Untersuchungen zeigten hierbei besonders für die Kombination aus progressivem Krafttraining und einer gleichzeitig erhöhten Proteinaufnahme gute Ergebnisse, die nicht nur den Verlauf der Sarkopenie verlangsamen, sondern teils sogar revidieren können (109). Muskuläres Training steigert die Synthese von Proteinen im Muskel (110) und vergrößert den Durchmesser der Muskelfasern, vor allem der Typ-2 Fasern (111, 112), wodurch es zu einem Muskel- und Kraftzuwachs kommt (113-115). Weiterhin führt es zu einer verminderten Einlagerung von Fett in den Muskel und zu einer Senkung von Entzündungsfaktoren (116-118). Studien konnten sogar belegen, dass selbst Patienten jenseits des 90. Lebensjahres durch gezieltes Training ihre Muskelfunktion verbessern konnten (111). Da es noch keine konkreten standardisierten Trainingsempfehlungen gibt, was durchaus an der multifaktoriellen Genese der Sarkopenie selber liegt, werden immer mehr Studien und Untersuchungen zu verschiedenen Trainingsmodalitäten, sowie deren Effizienz und Alltagstauglichkeit durchgeführt. Bislang fehlen jedoch vergleichende Head-to-Head-Untersuchungen die gezielt Verfahren einander gegenüberstellen und bzgl. deren Effektivität und Alltagstauglichkeit vergleichen.

##### *1.5.9.1 Trainingstherapie beim alten Menschen*

Muskuläres Training ist eine essentielle präventive Maßnahme in der Therapie des geriatrischen Patienten, gerade unter Berücksichtigung zunehmender muskulärer

Defizite im Alter und deren Folgen, wie der Sarkopenie, Frailty oder Dynapenie welche letztlich zu einem erhöhten Morbiditäts- wie Mortalitätsrisiko führen (56, 57, 114, 115, 119-124). Die gezielte Kräftigung der Rumpf- und Beinmuskulatur zum Erhalt der Mobilität und Verminderung von Sturzereignissen hat dabei einen hohen Stellenwert. Aber auch die körperzentrale Stabilität sollte durch Stärkung der Rumpf- und vor allem Rückenmuskulatur erhöht werden, um eine bessere Körperhaltung zu gewährleisten und das Gleichgewichtsempfinden zu verbessern. Allerdings ist ein konventionelles körperliches Training auf Grund bestehender Komorbiditäten und damit einhergehenden physischen Einschränkungen, oder zu geringer funktioneller Reserven bei sehr alten Menschen teils nur bedingt durchführbar. Alternative körperlich weniger anspruchsvolle, aber immer noch effiziente Trainingsmethoden sind daher seit einiger Zeit Gegenstand aktueller wissenschaftlicher Untersuchungen. So konnten apparativ unterstützte Methoden, wie die Ganzkörpervibration, oder die Ganzkörperelektrostimulation bereits ermutigende Ergebnisse vorweisen, aber auch low-impact Sportarten, wie Tai-Chi und Yoga zeigen hierbei eine gute Wirksamkeit (125-127). Zur Stärkung der Rückenmuskulatur kann bei stark eingeschränkten Individuen auch das Tragen einer federnden Rückenorthese bereits zielführend sein (128). Sanftere Bewegungsmethoden aus der traditionellen chinesischen Medizin zeigen insbesondere Verbesserungen des Gleichgewichts (129).

#### *1.5.9.2 Konventionelles Krafttraining*

Das konventionelle Krafttraining an geführten Geräten, oder mit Hanteln ist ein sehr gut etabliertes und weit verbreitetes Training sowohl im Gesundheits- wie auch im Breitensport und für nahezu alle Altersklassen je nach Intensität zugänglich. Es gibt eine gute Evidenz, dass körperliches Training mit Gewichten einen positiven Effekt auf Muskulatur und Knochen hat (111, 130-133). Der einzig limitierende Faktor sind die bestehenden körperlichen Voraussetzungen zur Durchführbarkeit von konventionellem Krafttraining. Zwar gibt es inzwischen eine Reihe modernster Geräte hierfür, dennoch ist das Training häufig zu intensiv, je nach bestehenden Komorbiditäten und zeitlich unter Umständen auch zu aufwändig, um einen gebrechlichen älteren Menschen dauerhaft zuverlässig trainieren zu können.



### 1.5.9.3 Ganzkörpervibrationstraining (Whole Body Vibration = WBV)

Beim seitenalternierenden Ganzkörpervibrationstraining steht der Teilnehmer auf einer Platte, welche in einem Sinusrhythmus gleichmäßig seitenalternierend in einer bestimmten Frequenz schwingt (134) (siehe Abb. 3). Bei diesem Trainingskonzept bestehen nur geringfügige Anforderungen an den Durchführer. Außerdem handelt es sich um ein äußerst zeiteffizientes Verfahren. Verschiedene Untersuchungen konnten einen positiven Effekt sowohl für den Knochen wie auch die Muskulatur nachweisen (135, 136). *Rittweger et al.* führten eine Immobilisationsstudie durch, in welcher Probanden im Alter zwischen 20 bis 45 Jahren, eine 56 Tage lange strikte Bettruhe einhalten sollten. Die Probanden wurden in zwei verschiedene Studienarme randomisiert (16). In der Interventionsgruppe wurde ein tägliches Ganzkörpervibrationstraining durchgeführt. Die Probanden dieser Gruppe hatten nur 0,5% der Tibia-Knochendichte nach Abschluss der Studie trotz durchgehender Bettlägerigkeit verloren. Die Kontrollgruppe, welche eine reine Beobachtungsgruppe war, verlor jedoch am Ende ganze 4,0% an Knochendichte. Auch zeigten die Probanden der Interventionsgruppe nach Studienabschluss keinen Verlust in der Maximalkraft der Unterschenkelmuskulatur, während die Kontrollgruppe um die 20% der Kraft in der isometrische Kniestreckung und Fußbeugung verlor (16).

Das Prinzip des Ganzkörpervibrationstrainings beruht auf abwechselnden Muskellängenveränderungen, welche wiederum Dehnungsreflexe auslösen, wodurch es einer gesteigerten Muskelaktivität mit schnell aufeinander folgenden Kontraktionssequenzen sowohl von Agonist- als auch Antagonist kommt (137). Über diese Muskel-Knochen-Interaktion kommt es schlussendlich auch zur Stimulation der beanspruchten Skelettanteile, wodurch ein positiver Stimulus für den Knochen erzeugt wird.

Inzwischen gibt es eine beachtliche Menge an wissenschaftlichen Projekten und Studien, die sich mit dem Konzept des Ganzkörpervibrationstrainings bei älteren Menschen befassen und hierbei gute Ergebnisse für die Verbesserung von Muskelkraft und Muskelleistung der unteren Extremitäten aufzeigen konnten (138-140). Darüber hinaus besteht nur ein sehr geringes Nebenwirkungsprofil, so dass es ohne Bedenken auch bei fragilen und gebrechlichen Patienten zum Einsatz kommen kann. Schlussfolgernd könnte Ganzkörpervibrationstraining eine effektive Methode zur Prävention von Stürzen sein, Muskulatur und Knochen stärken und dadurch zur Reduktion des Frakturrisikos beim älteren Menschen beitragen (141).



Abb. 3: Ganzkörpervibrationstraining auf der Galileo Vibrationsplatte,

Foto: Josiane Lindström (Würzburg, 2019)

#### 1.5.9.4 Tragen einer Rumpforthese

Klassischerweise werden Rückenorthesen ursprünglich zur Behandlung von thorakalen und lumbalen Wirbelsäulenverletzungen, oder Deformitäten oder nach erfolgter chirurgischer Interventionen verwendet (128). Im Rahmen einer Osteoporose-Behandlung werden diese häufig nach frisch aufgetretenen Wirbelkörperfrakturen vor allem im Bereich der Brustwirbelsäule zur Prävention eines sagittalen Profilverlusts eingesetzt. Durch die Aufrichtung und Ruhigstellung heilt die Verletzung in physiologischerer Stellung aus und es kommt zu einem Rückgang der Schmerzsymptomatik (142). Bei starren Rückenorthesen, die primär zur Fixierung des Rückens nach Verletzungen und Operationen verwendet werden, hat man nach längerem Tragen Atrophien im Bereich der Rumpfmuskulatur feststellen können (128). Flexible Rückenorthesen aktivieren jedoch die Rücken- und Bauchmuskulatur, indem sie den Rumpf durch einen Federmechanismus in eine aufrechte Position quengeln, ohne dabei die Bewegungen zu sehr einzuschränken. *Pfeifer et al.* untersuchten in ihrer Studie das Tragen einer flexiblen Rückenorthese über sechs Monate bei postmenopausalen Frauen. Sie konnten eine Steigerung der Rückenextensionskraft um 72% messen. Die

Flexionskraft nahm um 44% zu. Der Kyphosewinkel konnte reduziert werden und das Gleichgewicht verbesserte sich. Weiterhin war ein Rückgang chronischer Rückenschmerzen zu verzeichnen und die Lebensqualität insbesondere im Alltag verbesserte sich dadurch (143). Auch bei sehr alten oder gebrechlichen Menschen, welche keine klassischen Krafttrainingsübungen mehr durchführen können, könnte daher zumindest das passive Tragen einer flexiblen Rückenorthese eine mögliche Trainingsalternative darstellen.

#### *1.5.9.5 Low-Impact-Training am Beispiel von Tai-Chi und Qi Gong*

Inzwischen sind viele sogenannte Low-Impact-Sportarten wie Yoga, Tai-Chi und Qi Gong regulär im geriatrischen Setting etabliert. Durch die langsamen und kontrollierten Bewegungsabläufe besteht ein nur sehr geringes Verletzungspotenzial, außerdem stellen diese Bewegungskonzepte nur sehr geringe Anforderungen an die Durchführbarkeit, wodurch sie einem älteren und gebrechlichen Menschen lange Zeit noch zugänglich sind, wohingegen schnelle und anspruchsvolle Trainingskonzepte schnell überfordern. Wissenschaftliche Studien konnten einen guten Einfluss auf Beweglichkeit, Koordination und Gleichgewicht zeigen. Einzelne Studien konnten konkret auch positive Auswirkungen auf den Knochenstoffwechsel zeigen (144-149). Durch die Übungen kommt es zu einer ganzheitlichen Entspannung des Körpers, sowie zu einer verminderten Aktivität des sympathischen Nervensystems. Dadurch können Angst, Depression und Bluthochdruck verringert werden. Auch positive Effekte auf das Immunsystem sind beschrieben (150). Eine Meta-Analyse aus dem Jahr 2017 kam zu dem Ergebnis, dass Tai Chi die Inzidenz von Stürzen und sturzbedingten Verletzungen vermindern kann (151).

## 1.6 Hypothesen und primärer Endpunkt

Osteoporose und Sarkopenie sowie die damit einhergehenden funktionellen Einschränkungen sind charakteristische, altersassoziierte Veränderungen die sich nach aktuellem Kenntnisstand hinsichtlich ihrer klinischen Implikationen wechselseitig verstärken können (152).

Jedoch ist bis heute nicht eindeutig erforscht, welche konkreten Trainingsmodalitäten vor allem vor dem Hintergrund bereits bestehender Gebrechen und muskulärer Defizite sinnvoll und effektiv für den älteren Menschen sind.

Demensprechend wurden folgende Hypothesen angestellt:

- Durch muskuläres Training (Ganzkörpervibration, funktionelles Krafttraining, Trainingsorthese, Qi Gong) kann bei Männern mit einem erhöhten Frakturrisiko die Rumpfkraft verbessert werden und dadurch konsekutiv eine Reduktion der Sturz- und/oder Frakturhäufigkeit sowie eine Verbesserung von Aktivitäten des täglichen Lebens erzielt werden.
- Vibrationstraining führt bei Männern mit einem Osteoporose-Risiko zu einer Verbesserung der Muskelfunktionsparameter und der Muskelmasse.
- Das Tragen einer Trainingsorthese verbessert bei Männern mit Osteoporose-Risiko die Muskelmasse und -funktion.

Daher lauten die Endpunkte der Studie wie folgt:

Primärer Endpunkt der Studie war die Veränderung der isometrischen Maximalkraft der Rumpfmuskulatur nach 6 Monaten körperlichem Training.

Die sekundären Endpunkte beinhalteten die Handkraft, den Bewegungsumfang des Rumpfes, sowie verschiedene Tests zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit. Diese waren die Gehgeschwindigkeit, der CRT, der TUG, die SPPB und der 6MW. Zudem wurden die Veränderungen der körperlichen Konstitution und der Muskelmasse untersucht.

## 2 Methoden

### 2.1 Studiendesign

Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen des Forschungsverbunds „Muskelschwund (Sarkopenie) und Osteoporose Folgen eingeschränkter Regeneration im Alter – FORMOsA“ durchgeführt worden. Ziel dieses großangelegten und von der bayerischen Forschungsförderung geförderten (AZ-1044-12) Projekts war es, diagnostische Parameter muskulärer Defizite zu charakterisieren und zu erfassen, um auf diesen Ergebnissen aufbauend neue Therapiestrategien entwickeln zu können.

Das Studienprotokoll wurde der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Universität Würzburg zur Prüfung vorgelegt (Institut für Pharmakologie und Toxikologie, Versbacher Str. 9, 97078 Würzburg) und erhielt nach § 15 der Berufsordnung für Ärzte in Bayern am 28.04.2015 ein positives Votum (Aktenzeichen 111/14). Die Studie wurde außerdem im Deutschen Register für klinische Studien unter der Nummer DRKS00013262 registriert.

Bei dieser Studie handelt es sich um eine prospektive, randomisierte gegenüberstellende Head-to-Head-Studie zum Vergleich der Effektivität und Sicherheit 4 verschiedener Trainingsmodalitäten bei älteren Männern mit einem erhöhten Frakturrisiko gemäß der Leitlinie 2014 zur Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose bei postmenopausalen Frauen und bei Männern des Dachverbandes Osteologie (DVO)(153).

### 2.2 Probandenkollektiv

Das Probandenkollektiv umfasste Männer mit einem nach DVO-Leitlinien bestehenden 10-Jahres-Frakturrisiko >20% (153). Die Teilnahme wurde hierbei selbständig lebenden Männern >65 Jahren angeboten, die bereits 2014 an einer epidemiologischen Querschnittserhebung zur Erfassung muskulärer Defizite teilgenommen hatten und ein nachweisbar erhöhtes Frakturrisiko aufwiesen (154). In dieser Querschnitterhebung wurden n=268 Männer über 65 Jahre aus 2 definierten Postleitzahlbereichen in Würzburg postalisch kontaktiert und die Möglichkeit einer Präsenz-Untersuchung im König-Ludwig-Haus angeboten. Von diesen beantworteten n=1107 das Schreiben und n=787 wünschten eine Teilnahme an der angebotenen Präsenzuntersuchung. Letzten Endes konnten protokollgemäß n=507 Probanden für diese erste epidemiologische

Studie untersucht werden und davon wiesen n=268 Probanden ein gemäß den aktuellen DVO-Leitlinien erhöhtes Frakturrisiko auf. Diesen wurde eine freiwillige osteologische Basisdiagnostik gemäß DVO im Rahmen einer erneuten Vorstellung angeboten. Insgesamt nahmen n=113 Männer im Mai 2015 die angebotene Untersuchung wahr. Die osteologische Untersuchung beinhaltete eine Anamnese mit Prüfung einschlägiger osteologischer Risikofaktoren, der Medikamente und der Nebenerkrankungen gemäß der DVO-Leitlinie. Bestandteil dieser Basisdiagnostik war auch eine auf freiwilliger Basis angebotene Messung der Knochendichte mittels Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DXA). Im Rahmen der Untersuchung wurde zudem die Möglichkeit zur freiwilligen Teilnahme an der hier beschriebenen Trainingsstudie gegeben. Insgesamt erklärten sich n=57 Männer zu einer Studienteilnahme bereit, vgl. auch Abbildung 4.

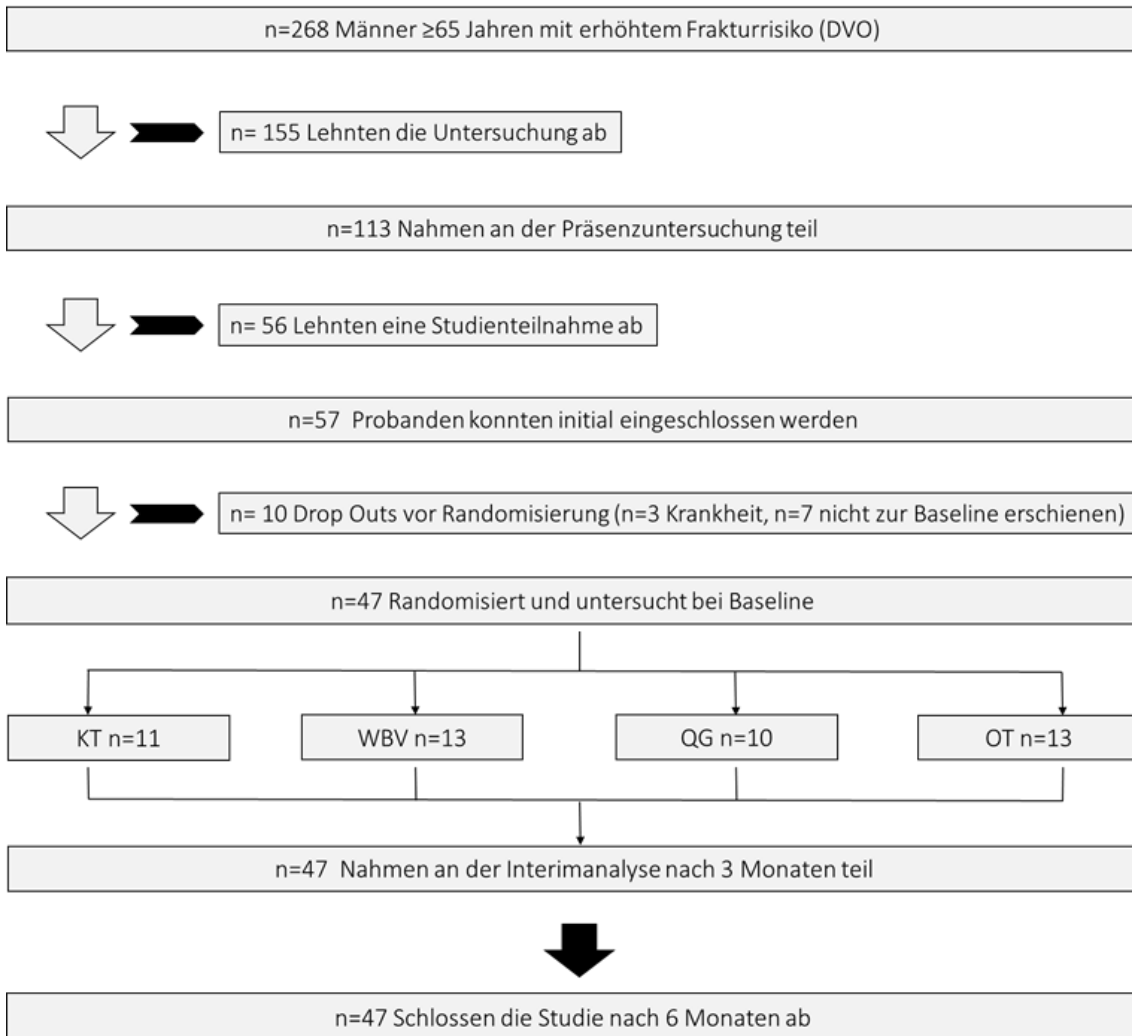


Abbildung 4: Schema der Probandenrekrutierung und Teilnehmer im Studienverlauf

Nachdem sich die Männer nach einer ausführlichen Aufklärung zu einer freiwilligen Teilnahme an der Studie schriftlich zur Teilnahme bereit erklärt hatten, erfolgte die Überprüfung der Ein- und Ausschlusskriterien, welche nachfolgend aufgelistet sind.

### 2.3 Ein- und Ausschlusskriterien

Bei der Auswahl des Probandenkollektivs wurden folgende Ein- und Ausschlusskriterien berücksichtigt (vgl. Tabelle 2 und Tabelle 3).

Tabelle 2: Einschlusskriterien

Einschlusskriterien:
<ul style="list-style-type: none"><li>• Mann <math>\geq 65</math> Jahre</li><li>• Dringender Verdacht bzw. nachweisliches Vorliegen einer Osteoporose</li><li>• Erniedrigte Knochendichte DXA T-Score <math>&lt; - 2,5</math> (Hüfte oder LWS)</li><li>• Gehfähigkeit</li><li>• Kriterien für ein erhöhtes 10-Jahres Frakturrisiko <math>&gt; 20\%</math> bei Männern über 65 Jahren sind nach der DVO-Leitlinie 2014 (153):<ul style="list-style-type: none"><li>• Niedrigtraumatische Wirbelkörperfrakturen <math>\geq 2</math>. Grades singular oder <math>\geq 1</math>. Grades multipel, sofern andere Ursachen für diese Frakturen nicht wahrscheinlicher sind</li><li>• Klinisch manifeste niedrigtraumatische singuläre Wirbelkörperfraktur 1. Grades mit Deckplattenimpression, sofern andere Ursachen für diese Fraktur nicht wahrscheinlicher sind</li><li>• Niedrigtraumatische Frakturen mit Ausnahme von Finger-, Gesichts-, Hand- und Knöchelfrakturen</li><li>• Bestehende oder geplante Therapie mit oralen Glukokortikoiden <math>\geq 2,5</math>mg täglich für mehr als 3 Monate im Jahr</li><li>• Billroth II Resektion oder Gastrektomie</li><li>• Cushing Syndrom oder subklinischer Hyperkortisolismus</li><li>• Primärer Hyperparathyreoidismus</li><li>• Diabetes mellitus Typ I</li><li>• Wachstumshormonmangel</li></ul></li></ul>



- Antiandrogene Therapie oder Hypogonadismus
- Spondylosis ankylosans Männer über 70 Jahre zusätzlich:
- Hüftfraktur bei Vater oder Mutter
- Untergewicht
- Rauchen und /oder COPD
- Multiple intrinsische Stürze
- Immobilität
- Herzinsuffizienz
- Chronische Hyponatriämie
- Protonenpumpeninhibitoren bei chronischer Einnahme
- Glukokortikoide inhalativ
- Chronische Entzündung des Dünndarmes bei Glutenunverträglichkeit: Zöliakie
- Blutzuckersenkende Medikamente: Glitazone
- Diabetes mellitus Typ II
- Störungen der Schilddrüsenfunktion: Hyperthyreose, auch subklinisch, sofern persistierend
- Antiandrogene Therapie oder Hypogonadismus
- Spondylitis ankylosans

Tabelle 3: Ausschlusskriterien

Ausschlusskriterien:
<ul style="list-style-type: none"><li>• Totalendoprothese an Hüfte/Knie/Sprunggelenk</li><li>• Bekannte Epilepsie</li><li>• Akute Thrombose (&lt;3 Monate)</li><li>• Akuter Bandscheibenvorfall (&lt;3 Monate)</li><li>• Implantierter Herzschrittmacher/ AICD</li><li>• Rheumatoide Arthritis</li><li>• Gallensteine</li><li>• Steine in den ableitenden Harnwegen</li><li>• Nicht verschlossene Hernien</li><li>• Operationen innerhalb der letzten drei Monate</li><li>• akute Kopfverletzungen</li><li>• unzumutbares Risiko für den Probanden aufgrund Begleiterkrankungen</li><li>• floride Infektion</li><li>• frische Frakturen (&lt;3 Monate)</li></ul>

## 2.4 Trainingsgruppen

### 2.4.1 Krafttraining

Das Krafttraining erfolgte im PREDIA – Sport & Gesundheitszentrum (Novum Medicum III. Stock, Schweinfurter Str. 7, 97080 Würzburg). Die Probanden trainierten zweimal in der Woche unter fachkundiger Anleitung an geführten Geräten. Das Training beinhaltete eine Aufwärmphase von 10 Minuten Radfahren auf dem Fahrradergometer bei geringem Widerstand (50 bis 100 Watt). Anschließend erfolgte ein Kraftaufbautraining für die Rückenmuskulatur an drei verschiedenen Geräten mit Fokus auf Stärkung der Rumpfextension und -beugung sowie der Rumpfrotation. Weiterhin wurden Übungen

für den dorsalen Anteil der Schultermuskulatur, für den M. Latissimus dorsi und die Beinstrecker an der Beinpresse durchgeführt. Die Anpassung des Schwierigkeitsgrades der Übungen erfolgte jeweils durch Steigerung der Gewichte je nach individuellem Fortschritt, vgl. hierzu siehe Abbildung 5.



Rumpfextension



Rumpfflexion



Rumpfrotation



Latissimuszug



Reverse Flys



Beinpresse

Abbildung 5: Übungen des Krafttrainings von links nach rechts: Rumpfextension, Rumpfflexion, Rumpfrotation, Latissimuszug, Reverse Flys und Beinpresse

Fotos: Josiane Lindström (Würzburg, 2019)

## 2.4.2 Ganzkörpervibrationstraining / Whole-body-Vibration (WBV)

Das Ganzkörpervibrationstraining (WBV) wurde mittels der seitenalternierenden *Galileo-Vibrationsplatte* der Firma *Novotec Medical GmbH Pforzheim* durchgeführt (155). Die Probanden dieser Gruppe trainierten zweimal wöchentlich auf der Galileo Vibrationsplatte unter Aufsicht von fachkundigem und eigens geschultem, medizinischem Personal anhand eines fest etablierten Trainingsplans. Es wurden jeweils 4 verschiedene Übungen durchgeführt: Einbeinstand, hohe Kniebeugen, Vorfußstand und tiefe Kniebeugen (siehe Abbildung 6). Die Probanden führten zunächst einen Einstiegstest durch. Je nach dessen Ergebnis wurden sie dann in Gruppen mit verschiedenen Schwierigkeitsgraden (leicht/mittel/schwer) eingeteilt. Je nach Schwierigkeitsstufe unterschieden sich die verschiedenen Pläne in ihren Anforderungen, was Frequenz, Amplitude und Haltungsdauer der Übungen, sowie die Wiederholungszahlen angingen. Alle 4 Wochen wurde der Schwierigkeitsgrad im Rahmen einer Trainingsprogression angepasst, wenn der Proband die nötigen Voraussetzungen hierfür erreicht hatte. Zwischen den einzelnen Übungen wurde jeweils eine Pause von mind. 1min eingehalten, vor Beginn des Trainings wurde eine Aufwärmphase durchgeführt. Der Einstiegstest und die vollständigen Trainingspläne des WBV sind im Anhang beigefügt.



Abbildung 6: Training auf der Galileo Vibrationsplatte von links nach rechts: Einbeinstand, Kniebeuge, Vorfußstand und Kniebeuge tief

Foto: Josiane Lindström (Würzburg, 2019)

### 2.4.3 Tragen einer Rückenorthese – Spinomed® active men

Die dritte Trainingsmodalität beinhaltete das Tragen einer Rumpforthese. Hierbei wurde die „Spinomed active men“ Orthese der Fa. Medi GmbH & Co. KG (Medicusstraße 1, 95448 Bayreuth) verwendet (156). Zunächst erfolgte die individualisierte Anpassung der Orthese an den jeweiligen Studienteilnehmer. Die Probanden wurden angehalten die Orthese mindestens 3 Stunden pro Tag zu tragen. Hierfür erhielten die Probanden ein Trageprotokoll und wurden gebeten, die Tragezeiten pro Tag zu notieren. Nach drei Monaten erfolgte protokollgemäß eine Zwischenevaluation und gegebenenfalls eine Neuanpassung der Orthese. Einmal pro Monat erfolgte eine telefonische Rückfrage zur Adhärenz. Abbildung 7 zeigt eine solche Orthese.

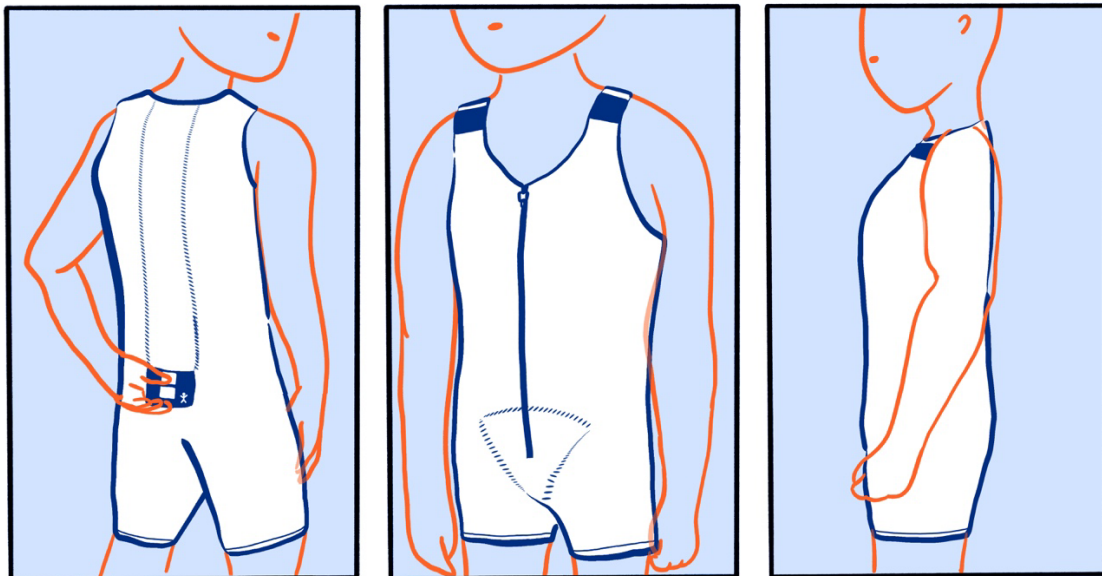


Abbildung 7: „Spinomed active men“ Rumpforthese der Fa. Medi GmbH & Co. KG

Illustration: © Mia Kinsch

### 2.4.4 Qi Gong

Die vierte mögliche Trainingsmodalität war ein gemeinsames Gruppentraining mittels Qi Gong. Die Probanden besuchten hierfür zweimal wöchentlich eine Gruppenstunde Qi Gong. Die Probanden führten nach einer kurzen Aufwärmphase, von Entspannungsmusik begleitet, 10 verschiedene Übungen des Qi Gong durch. Die einzelnen Übungen wurden jeweils mehrmals hintereinander durchgeführt. Eine

Darstellung der Übungen ist in Abbildung 8 zu sehen. Eine Steigerung des Schwierigkeitsgrads erfolgte kontinuierlich alle 4 Wochen, wobei die Übungen länger gehalten wurden, oder komplexere Variationen durchgeführt wurden. Im Anhang sind die Übungen des Qi Gongs detailliert beschrieben.

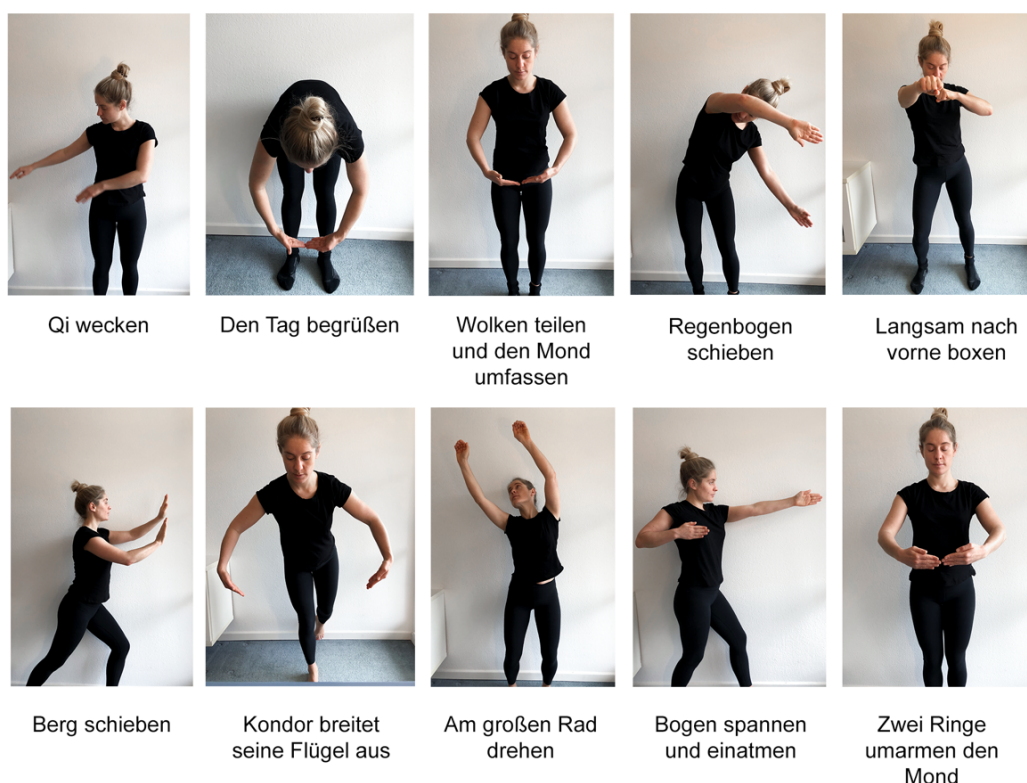


Abbildung 8: Übungen des Qi Gong Training

Fotos: Josiane Lindström (Würzburg, 2019)

## 2.5 Visitenschema

Zunächst erfolgte ein ausführliches Aufklärungsgespräch über den Ablauf, sowie Risiken und Nutzen der Studie für den einzelnen Probanden. Nachdem er sich für die Teilnahme entschieden hatte, wurden Ein- und Ausschlusskriterien ausführlich geprüft. Es erfolgte eine Randomisierung mittels Block-Randomisierungs-Verfahren in 4 verschiedene Trainingsgruppen. Im Anschluss hieran erfolgte dann die Eingangsuntersuchung. Diese beinhaltete eine ausführliche Anamneseerhebung mit Erfassung der Vor- und Begleiterkrankungen sowie der Begleitmedikation. Es wurde eine orientierende

allgemeinmedizinische und orthopädische Untersuchung durchgeführt. Im Anschluss daran wurde ein muskuloskelettales Funktionsassessment durchgeführt. Im Rahmen dieses Assessments wurden folgende Parameter erhoben:

- Messung der isometrischen Maximalkraft der Rumpfflexoren und Rumpfflexoren, sowie des Bewegungsumfangs der Rumpfbeuge- und Streckmuskulatur.
- Messung des Skelettmuskelmassenindex (SMI) mit der BIA
- Short Physical Performance Battery
- Isometrische Handkraftmessung
- TUG
- 6MW

Nach Ablauf von 3 Monaten wurde eine Zwischenvisite durchgeführt. Die körperlichen und klinischen Untersuchungen waren hierbei identisch zur Eingangsuntersuchung. Es wurde noch einmal nach Änderungen in der Medikation oder neu aufgetretenen Begleiterkrankungen gefragt. Eine Übersicht der Messungen im Zeitverlauf ist in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Übersicht der Untersuchungen im Studienzeitraum

Studienzeitraum					
	Baseline 0 Monate	Training	Visite 2 3 Monate	Training	Visite 3 6 Monate
Information und Einwilligungserklärung	X				
Einschluss- und Ausschlusskriterien	X				
Anamnese	X				X
Klinische Untersuchung	X				X
Fragebögen	X		X		X
BIA Messung	X		X		X
Funktionelle Tests	X		X		X
Apparative Tests	X		X		X
Anpassung der Trainingsorthese	X		X		
Trainingsplanerstellung	X				

## 2.6 Körperliche Untersuchung

Im Anschluss an die Aufklärung und die Anamnese erfolgte eine orientierende körperliche Untersuchung zur Beurteilung der sicheren Trainingstauglichkeit. Diese beinhaltete eine allgemeinmedizinische Basisuntersuchung von Herz, Lunge und Abdomen, sowie die Erfassung von Temperatur, Blutdruck, Größe, Gewicht, Bauchumfang und Taillenumfang. Im Anschluss hieran wurde eine orientierende orthopädische Untersuchung aller großen Gelenke und der Wirbelsäule durchgeführt.



## *2.7 Messung der Muskelkraft, der Muskelmasse und der Muskelfunktion*

### *2.7.1 Messung der Maximalkraft der Rumpfmuskulatur*

Die Messung der isometrischen Maximalkraft der Rückenmuskulatur mittels Drehmoment erfolgte an hochwertigen Gewichtsmaschinen für Profisportler des *PREDIA Sport- und Gesundheitszentrums* in Würzburg (157). Gemessen wurden die Rückenextension und die Rückenflexion in Newtonmeter (Nm), sowie der Gesamtbewegungsumfang der Wirbelsäule aus der endständigen Flexion bis in die maximale Extension in Grad. Die Messungen erfolgten an den Geräten der *SCHNELL Trainingsgeräte GmbH Peutenhausen* (158).

Um verlässliche Analysen mit intra- und interindividuellen Datenvergleichen zu erzielen, wurde ein standardisiertes Messprotokoll berücksichtigt, welches im Folgenden beschrieben ist:

Jeder Teilnehmer wurde achsengerecht mit Hilfe von Stützpolster so positioniert, dass die Messung der Rumpfextension und Rumpfflexion als isolierte Messung vorgenommen werden konnte. Die Probanden führten erst einige Aufwärbewegungen durch, anschließend wurde die maximale Flexion und Extension in Nm gemessen. Gemessen wurden drei Versuche, wovon der beste zur Auswertung verwendet wurde.

Bei der Extensionskraft- und der Bewegungsumfangsmessung wurde das Becken durch eine vordere Stütze stabilisiert. Der sagittale Hüftwinkel (Winkel zwischen Kreuzbein und Femur) betrug 75-80°. Die Kraft der Rumpfextensoren wurde über ein rundes Rückenpolster auf den Bewegungsarm des Systems übertragen. Auch der Bewegungsumfang wurde über dieses Rückenpolster registriert (siehe Abbildung 9).

Die Messung der Rumpfflexion erfolgte ebenfalls in standardisierter sitzender Position mit einer Höheneinstellung von L3/L4 auf Höhe der Drehachse. Durch Kniefixation in Verbindung mit einem sagittalen Hüftwinkel von 75-80° wurde dabei die Aktivität der Hüftflexoren minimiert und gewährleistete eine bessere isolierte Aktivierung der Rumpfflexoren (siehe Abbildung 9).



Abbildung 9: (von links nach rechts) Messung der Extensionskraft und der Flexionskraft des Rumpfes , Fotos: Josiane Lindström (Würzburg, 2019)

### 2.7.2 Bioimpedanzanalyse (BIA)

Die Erfassung der körperlichen Konstitution erfolgte mittels Bioimpedanzanalyse (BIA). Die Vierpunkt Bioimpedanzanalyse erfolgte mit dem Gerät der Firma Akern (Florenz, Italien). Vor der Messung wurde jeweils eine fünfminütige Ruhephase im Liegen eingehalten. Die Elektroden wurden jeweils an der rechten dorsalen Fläche der Hand, bzw. am Fuß, proximal der Metacarpal/-tarsal –Gelenke, sowie zwischen Radius und Ulna am Handgelenk, bzw. zwischen medialem und lateralem Malleolus des oberen Sprunggelenks angebracht (159, 160). Nach Anlegen des Wechselstroms wurden dann die relevanten Parameter erfasst und mittels Software der Firma Akern ermittelt und digital dokumentiert. Berechnet wird der SMI mit der folgenden Gleichung (161, 162), siehe Abbildung 10.

$$\text{SMI (kg/m}^2\text{)} = \text{SM (kg)} / \text{Körpergröße}^2 \text{ (m}^2\text{)}$$

mit

$$\text{SM (kg)} = [(\text{H}^2 / \text{R} \times 0,401) + (\text{Geschlecht} \times 3,825) + (\text{Alter} \times 0,071)] + 5,102$$

wobei SM die Muskelmasse in kg, H die Höhe in Zentimeter ist, R ist die BIA Resistenz in Ohm. Beim Geschlecht erhalten männliche Messpersonen die Zahl 1 und Weibliche eine 0. Das Alter wird in Jahren angegeben.

Abbildung 10: BIA- Gleichung zur Ermittlung des Skelettmuskelindex nach Janssen(162)

Entsprechend der Kriterien nach EWGSOP wurde ab einem Wert von  $\leq 10,75 \text{ kg/m}^2$  von einer reduzierten Muskelmasse im Sinne einer Sarkopenie ausgegangen, bei Werten  $\leq 8,5 \text{ kg/m}^2$  von einer schweren Sarkopenie (48, 87).

### 2.7.3 Handkraftmessung

Die Handkraftmessung (Grip Strength) wurde mittels Handkraftdynamometer „DynEx1“ der Firma Akern/SMT Medical erfasst (siehe Abbildung 11). Der Proband wurde dabei im Sitzen positioniert, der Ellenbogen in jeweils  $90^\circ$  körpernah angewinkelt und das Handgelenk in Neutral-Null-Stellung gebracht. Anschließend wurde die maximale isometrische Handkraft wechselseitig in drei Versuchen gemessen, wobei immer mit der dominanten Hand begonnen wurde. Gewertet wurde jeweils der Beste von drei Versuchen, wobei vorab zu klären war ob Einschränkungen, oder Vorerkrankungen an den Händen oder Armen bestanden. Für die folgenden Auswertungen wurde unabhängig von der Seite und Dominanz der beste Versuch gewertet. Eine reduzierte Muskelkraft im Sinne einer Sarkopenie lag anhand der EWGSOP-Kriterien bei  $< 30 \text{ kg}$  vor (48).



Abbildung 11: Messung der Handkraft, Foto: Josiane Lindström (Würzburg, 2019)

#### *2.7.4 Short Physical Performance Battery (SPPB)*

Zur Messung der muskulären Funktion, bzw. Leistungsfähigkeit wurde die *Short Physical Performance Battery* durchgeführt. Eine Zusammenfassung der drei Tests ist schematisch in Abbildung 12 dargestellt. Tabelle 5 zeigt die Zusammensetzung der Punkte. Die Maximalpunktzahl liegt bei 12 Punkten. Bei  $\leq 8/12$  Punkten, ist von einer eingeschränkten muskulären Leistungsfähigkeit auszugehen.

##### *2.7.4.1 Messung der Balance*

Zuerst erfolgte der Side-by-Side Test, bei dem beide Füße geschlossen nebeneinanderstehen. Diese Position sollte vom Probanden für 10 Sekunden gehalten werden. Die Arme wurden hierbei gekreuzt vor der Brust verschränkt, die Füße durften sich nicht bewegen, die Augen waren dabei geöffnet. Die Zeit wurde nach Ablauf der 10 Sekunden gestoppt, oder sobald der Proband die korrekte Position nicht mehr halten konnte. Zum Beispiel, wenn er unterstützend nach einer Balancehilfe, wie zum Beispiel dem Arm des Untersuchers griff.

Als nächstes folgte der Semi-Tandem Test. Der Proband stellte den einen Fuß versetzt in Schrittstellung neben den anderen Fuß, wobei die Ferse des vorderen auf Höhe des Großzehenballens des hinteren Fußes stand. Beim Tandem Test stellte der Proband die Ferse des vorderen Fußes direkt anschließend an die Zehenspitzen des hinteren Fußes, ähnlich dem Seiltänzerengang. Nach Abschluss des Tests wurden dann die jeweiligen Punkte je nach erreichter Zeit vergeben. Maximal konnten 4 Punkte für den Balancetest in der SPPB erreicht werden. Konnte der Proband bereits die Ausgangsposition eines Balancetests nicht einnehmen, wurde der Test hier abgebrochen und die niedrigste Punktzahl (0) vergeben und direkt zum nächsten Test übergegangen.

#### *2.7.4.2 4m Gehstrecken Test*

Hierbei wurde die normale Alltags-Ganggeschwindigkeit des Probanden gemessen. Dies erfolgte über eine 6m Gehstrecke, wobei Start und Ende der Messtrecke nach jeweils 1 und 5 Meter markiert waren, um die Gehgeschwindigkeit über insgesamt 4m zu erfassen. Dadurch wurde eine Verzerrung der Zeitmessung durch das Anlaufen, sowie durch das Abbremsen am Ende verringert.

Gemessen wurde die Zeit zwischen markiertem Start und Ziel mittels Stoppuhr. Der Test wurde zweimal hintereinander wiederholt. Die Bestzeit wurde zur Berechnung der Gesamtpunktzahl genommen und für die weitere Auswertung herangezogen. Die für die 4m benötigte Zeit wurde in m/s umgerechnet, um die Alltags-Ganggeschwindigkeit zu ermitteln. Ein kritischer Schwellenwert im Sinne einer Sarkopenie lag hierbei ab  $<0,8\text{m/s}$  vor.

#### *2.7.4.3 Chair Rise Test (CRT)*

Der Proband wurde gebeten, sich auf einen an der Wand stehenden Stuhl ohne Armlehne zu setzen. Die Arme des Probanden wurden hierbei während des gesamten Tests vor der Brust verschränkt. Der Patient wurde dann gebeten ohne Zuhilfenahme der Arme 5-mal hintereinander so schnell wie möglich vollständig aufzustehen und sich wieder zu setzen. Gemessen wurde die Zeit von Beginn des ersten Aufstehens bis zur letzten stehenden Position. Hierbei wurde erneut mittels Stoppuhr die Zeit erfasst und je nachdem Punkte vergeben.

## Short Physical Performance Battery (SPPB)



Abbildung 12: Short Physical Performance Battery mit Testinhalt, Graphik angelehnt an *Guralnik et al. 1994 (15)* (von links nach rechts) Side-by-Side Stand, Semi-Tandem Stand, Tandem Stand, Gehgeschwindigkeit und Chair Rise Test,

Fotos: Josiane Lindström (Würzburg, 2019)

Tabelle 5: Punktesystem zur Auswertung des SPPB nach *Guralnik et al.* 1994 (76)

SPPB		
Test	Zeit	Punktzahl
A) Side-by-Side Stand	< 10s	0 Punkte -> weiter zum Gehtest
	> 10s	+ 1 Punkt
B) Semi-Tandem Stand	< 10s	0 Punkte -> weiter zum Gehtest
	> 10s	+ 1 Punkt
C) Tandem Stand	< 3s	0 Punkte
	3-9s	+ 1 Punkt
	> 10s	+ 2 Punkt
D) Gehgeschwindigkeit	< 4,82s	+ 4 Punkt
	4,82s – 6,20s	+ 3 Punkt
	6,21s – 8,70s	+ 2 Punkt
	> 8,70s	+ 1 Punkt
	nicht fähig	0 Punkte
E) Chair Rise Test	≤ 11,19s	+ 4 Punkt
	11,20s – 13,69s	+ 3 Punkt
	13,70s – 17,69s	+ 2 Punkt
	≥ 17,70s	+ 1 Punkt
	> 60s	0 Punkte
Gesamtpunkte (max. 12 Punkte):		

### *2.7.5 Six-Minute-Walk Test (6MW)*

Der Six-Minute-Walk Test (6MW) diente dazu, eine allgemeine Aussage über die Leistungsfähigkeit unterhalb der anaeroben Schwelle zu treffen. Der Proband wurde gebeten, auf einer vorher vermessenen 30m Strecke in einer für ihn möglichst schnellen Geschwindigkeit für 6 Minuten auf und ab zu gehen. Pausen im Stehen und Tempowechsel waren dabei erlaubt. Sobald der Proband sich hinsetzen musste, wurde der Test abgebrochen. Es wurde jeweils nach jeder abgelaufenen Minute ein kurzer Hinweis an den Probanden gegeben. Gemessen wurde die zurückgelegte Strecke in Metern.

### *2.7.6 Timed Up and Go Test (TUG)*

Für den Timed Up and Go Test (TUG) saß der Proband zu Beginn auf einem Stuhl mit Armlehne, welcher aus Sicherheitszwecken an einer Wand stand. Eigene Hilfsmittel des Probanden (z. B. Stock, Rollator etc.) durften für den Test verwendet werden. Auf Ertönen des Startsignals stand der Proband vom Stuhl auf, wobei er die Arme bei Bedarf auf der Armlehne abstützen durfte. Er ging in seiner normalen Alltagsgeschwindigkeit zu einer drei Meter entfernten Linie, welche auf dem Boden markiert war. Dort drehte er sich um und kehrte wieder zum Stuhl zurück, um dort erneut die sitzende Ausgangsposition einzunehmen. Die Zeit wurde dabei ab dem Ertönen eines Startsignals bis zum vollständigen Einnehmen der Ausgangsposition gestoppt.

Eine gemessene Zeit von <10s galt als unauffällig, von 11 – 19s als leicht auffällig, von 20 – 29s als deutlich auffällig und suggestiv für vorliegende Mobilitätseinschränkungen und ein Ergebnis von größer 29 als erheblich immobil (104).



## 2.8 Statistik

Die statistischen Tests wurden mit dem Statistiksoftware *IBM SPSS Statistics (Statistical Package for Social Science Version 25, IBM®)* durchgeführt. Es erfolgte die Berechnung der deskriptiven Statistik zur Analyse der Verteilungsmuster. Für diese wurde aufgrund der kleinen Fallzahlen der Median, sowie der Interquartilsabstand (IQR) herangezogen, wobei zur Berechnung der SPPB und der Balancetests aus Übersichtsgründen der Mittelwert samt Standardabweichung verwendet wurde. Die Analyse der primären wie sekundären Endpunkte erfolgte aufgrund der kleinen Fallzahlen unter Verwendung nicht-parametrischer Analyseverfahren, wobei für die longitudinalen Auswertungen über 6 Monate unter Einschluss aller 3 Auswertungszeitpunkte der Friedman-Test herangezogen wurde und die Gruppen-vergleichenden Tests zu jeweils definierten Zeitpunkten mittels Kruskal-Wallis-Test durchgeführt wurden. Im Anschluss wurde jeweils eine Post-Hoc-Bonferroni-Korrektur bei multiplem Testen durchgeführt. Bei den vorliegenden Berechnungen wurde ein p-Wert  $<0,05$  als signifikant angenommen.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Probandenkollektiv

Zwischen Mai und Juli 2015 wurde 268 Männer mit einem bestehenden Frakturrisiko nach DVO Leitlinien eine Basisdiagnostik nach DVO-Leitlinie in der osteologischen Sprechstunde des König-Ludwig-Hauses, dem Lehrstuhl für Orthopädie der Universität Würzburg angeboten. Dieses Angebot wurde von n=113 Männern wahrgenommen und ihnen wurde im Rahmen der Präsenzuntersuchung die Möglichkeit zur Teilnahme an einer Trainingsstudie angeboten. Hiervon entschieden sich n=57 Männer zu einer Studienteilnahme und konnten in die Studie eingeschlossen werden. Vor Trainingsbeginn kam es zu n=10 Dropouts, 3 hiervon aufgrund akuter Veränderungen des gegenwärtigen Gesundheitszustandes (akute Cholezystitis, Spinalkanalstenose, KHK) und n=7 erschienen nicht zum ersten Untersuchungstermin. Somit wurden n=47 Probanden in die 4 verschiedenen Trainingsgruppen randomisiert. Siehe hierzu Abbildung 13.

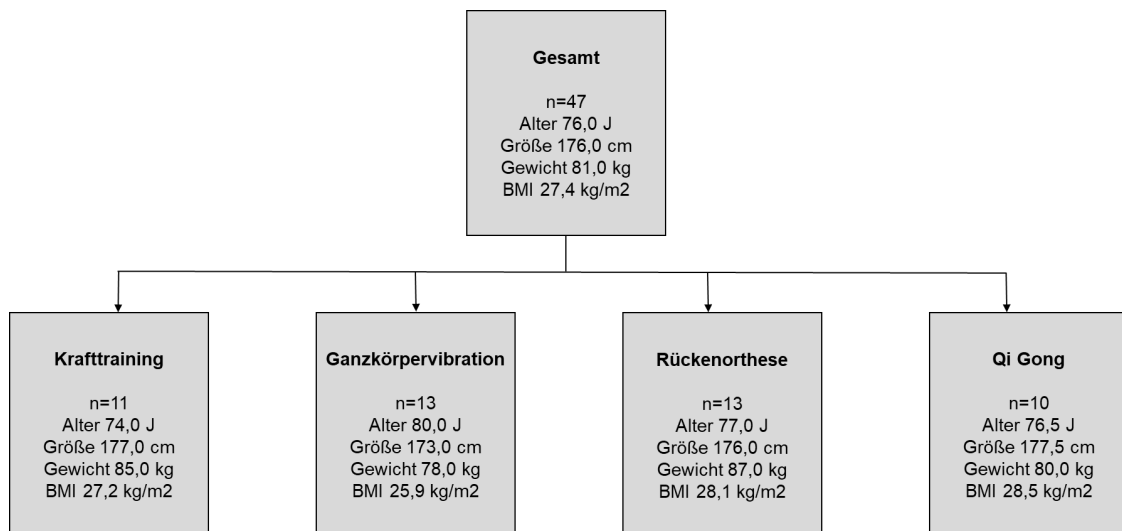


Abbildung 13: Aufteilung der Teilnehmer in die verschiedenen Gruppen mit Medianen von Alter, Größe, Gewicht und BMI

##### 3.1.1 Begleiterkrankungen

Die häufigsten Vorerkrankungen der Probanden sind schematisch in Abbildung 14 dargestellt. Der arterielle Hypertonus war bei n=22 von 47 Probanden (46,8 %) vorhanden und damit die häufigste Vorerkrankung. Ferner gaben n=10 (21,3%) eine

Lumbago an. Dabei handelte es sich demnach um die meist genannte muskuloskeletale Vorerkrankung innerhalb des Probandenkollektivs. Jeweils n=8 Probanden (17,0%) litten an einer KHK, bzw. einem Diabetes Mellitus 2. Insgesamt litten n=27 Probanden an 3 oder mehr chronischen Erkrankungen, die ein aktuelles Therapiebedürfnis aufwiesen, womit diese im Sinne der GEDA als multimorbide anzusehen waren. Demnach waren mehr, als die Hälfte der Patienten (57,4%) laut aktueller GEDA-Kriterien (Gesundheit in Deutschland aktuell) multimorbide (163).

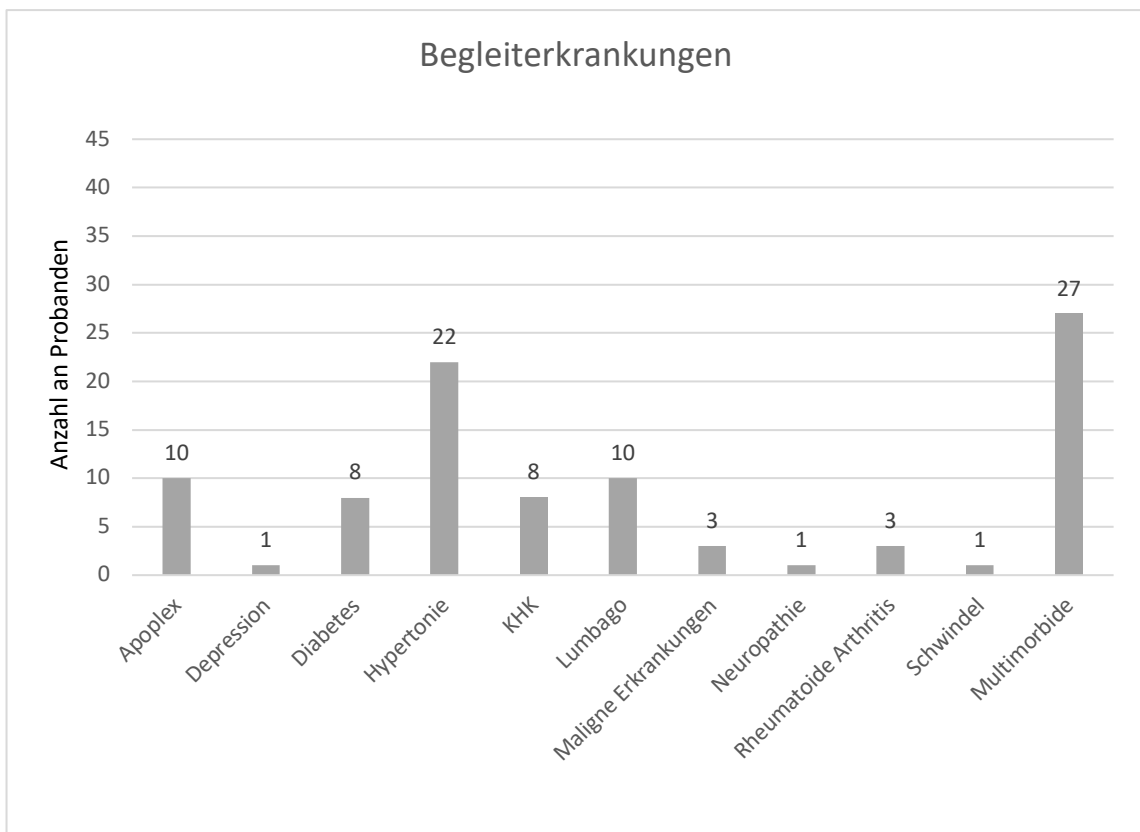


Abbildung 14: Vorerkrankungen der Probanden

### 3.1.2 Medikamentenanamnese

Zu Beginn der Studie wurde die Medikation der Probanden erfragt. Am häufigsten wurden Medikamente wie Betablocker und ASS von jeweils n=19 Teilnehmer (40,4%) angegeben. Protonenpumpen-Hemmer wurden von n=14 Teilnehmern (29,8%) regelmäßig eingenommen. Eine antihypertensive Therapie hatten n=35 Probanden

(74,5%). Abbildung 15 gibt einen Überblick über die von den Probanden regelmäßig eingenommenen Medikamente.

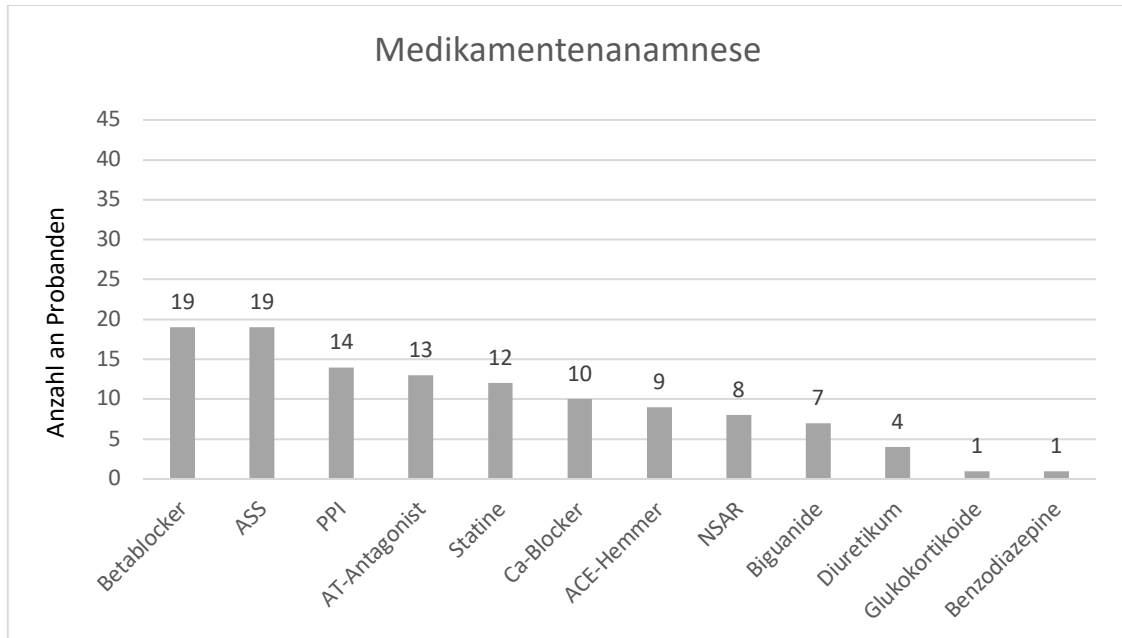


Abbildung 15: Medikamentenanamnese der Probanden

### 3.2 Anthropometrische Daten

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse aller Teilnehmer (Gesamtkohorte) und der einzelnen Gruppen (KT, WBV, OT, QG) vorgestellt.

#### 3.2.1 Alter

Die Teilnehmer waren im Mittel zu Beginn, wie zum Abschluss der Studie 76,0 Jahre alt (IQR 9,0 Jahre, Min. 66,0 Jahre, Max. 89,0 Jahre). Ein verhältnismäßig großer Anteil war dabei zwischen 71,0 und 75,0 Jahren alt, die genaue Verteilung über die verschiedenen Altersgruppen ist in Abbildung 16 dargestellt.

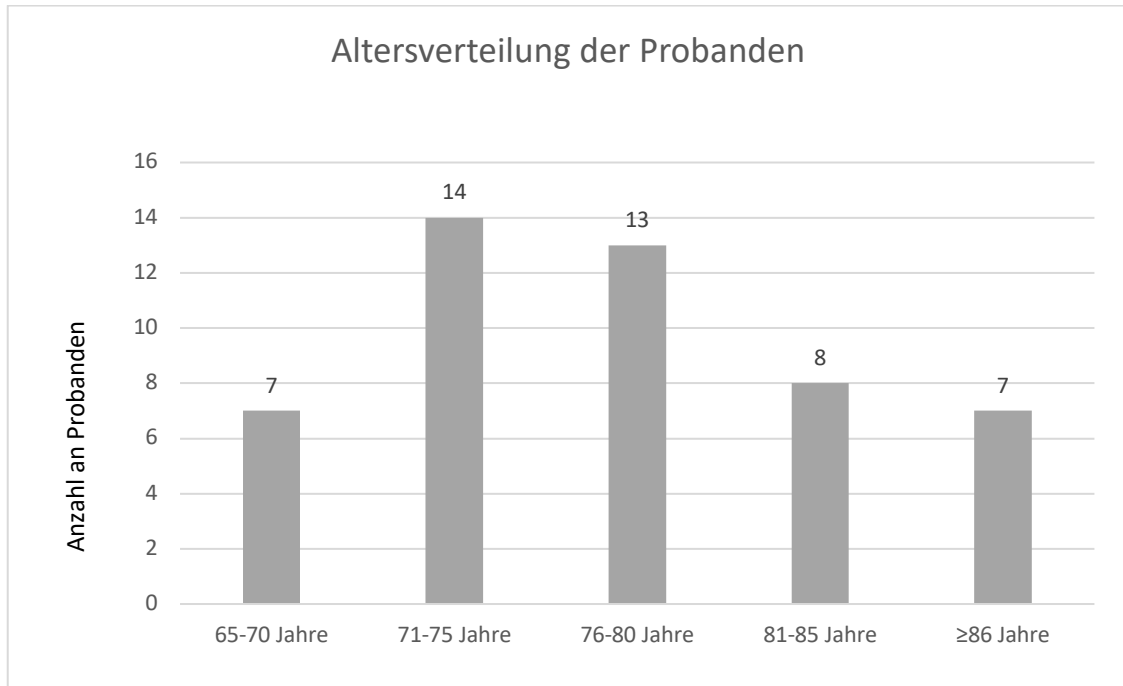


Abbildung 16: Altersverteilung der Gesamtkohorte

### 3.2.2 Entwicklung der Körpergröße

Die Teilnehmer waren im Mittel 176,0cm groß (IQR 10,0cm, Min. 157,0cm; Max. 187,0cm). Die Körpergröße zeigte in der Grundkohorte keine Veränderungen über den Gesamtmesszeitraum. In der KT-, in der WVB- und in der OT-Gruppe blieb Körpergröße im Verlauf der Studie ebenso konstant. In der QG-Gruppe veränderte sich die Körpergröße von 177,0cm auf 177,5cm nach 6 Monaten Training nur unwesentlich und ist eher im Kontext der Messgenauigkeit zu werten.

### 3.2.3 Entwicklung des Körpergewichts

Das Körpergewicht der Gesamtkohorte lag zu Beginn bei 81,0kg (IQR 14,0kg, Min. 63,0kg, Max. 113,0 kg). Dieses stieg im Verlauf um 2kg und lag nach 6 Monaten in der Abschlussmessung bei 83,0kg ( $p=0,005$ ). In der KT-Gruppe stieg das Gewicht von 85,0kg auf 86,0kg nach 6 Monaten ( $p=0,053$ ). In der WVB-Gruppe sank das Gewicht von 78,0kg auf 77,0kg ( $p=0,535$ ). In der OT-Gruppe stieg das Gewicht von 87,0kg auf 89,0kg ( $p=0,066$ ). In der QG-Gruppe zeigte sich ebenso ein Anstieg von 80,0kg auf 82,0kg ( $p=0,174$ ). Für eine detaillierte Darstellung siehe Tabelle 6.

Tabelle 6: Entwicklung des Körpergewichts im Studienverlauf

Körpergewicht (kg) der Gesamtkohorte						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	47	81,0	14	63,0	113,0	
3 Monate	47	82,0	14	63,0	115,0	
6 Monate	47	83,0	15	62,0	115,0	<b>0,005</b>
Körpergewicht (kg) der KT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	11	85,0	14,0	68,0	110,0	
3 Monate	11	86,0	17,0	68,0	110,0	
6 Monate	11	86,0	19,0	69,0	110,0	0,053
Körpergewicht (kg) der WBV-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	78,0	13,0	63,0	92,0	
3 Monate	13	77,0	13,0	63,0	94,0	
6 Monate	13	77,0	13,0	62,0	95,0	0,535
Körpergewicht (kg) der OT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	87,0	26,5	74,0	113,0	
3 Monate	13	88,0	25,5	73,0	115,0	
6 Monate	13	89,0	23,5	73,0	115,0	0,066
Körpergewicht (kg) der QG-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	10	80,0	11,3	74,0	108,0	
3 Monate	10	82,5	8,3	73,0	106,0	
6 Monate	10	82,0	8,8	74,0	108,0	0,174

### 3.2.4 Entwicklung des BMI

Der BMI der Gesamtkohorte lag zu Beginn im Mittel bei 27,4kg/m<sup>2</sup> (IQR 5,1kg/m<sup>2</sup>, Min. 21,0kg/m<sup>2</sup>, Max. 35,0kg/m<sup>2</sup>) und stieg nach 6 Monaten jeweils um 2,6% von 27,4kg/m<sup>2</sup> auf 28,1kg/m<sup>2</sup> (p=0,004). In der KT-Gruppe stieg der BMI um 3,3% (p=0,053). In der

WBV-Gruppe zeigte sich ein leichter Anstieg um 1,2% ( $p=0,535$ ). In der OT-Gruppe stieg der BMI um 3,2% ( $p=0,066$ ). In der QG-Gruppe lag der Anstieg bei 1,8% ( $p=0,128$ ). Auch hier war die Zunahme des BMI nur für die Gesamtkohorte statistisch signifikant. Die detaillierte Darstellung siehe Tabelle 7.

Tabelle 7: Entwicklung des BMI im Studienverlauf

BMI (kg/m <sup>2</sup> ) der Gesamtkohorte						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	47	27,4	5,1	21,0	35,0	
3 Monate	47	27,5	4,9	21,1	35,1	
6 Monate	47	28,1	5,0	21,0	35,0	<b>0,004</b>
BMI (kg/m <sup>2</sup> ) der KT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	11	27,2	8,9	21,0	35,0	
3 Monate	11	27,5	8,9	21,5	35,1	
6 Monate	11	28,1	8,6	22,0	35,0	0,053
BMI (kg/m <sup>2</sup> ) der WBV-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	25,9	3,4	24,0	30,0	
3 Monate	13	25,6	3,1	23,2	30,1	
6 Monate	13	26,2	3,0	24,0	30,0	0,535
BMI (kg/m <sup>2</sup> ) der OT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	28,1	5,1	22,0	34,0	
3 Monate	13	28,9	5,5	22,9	33,6	
6 Monate	13	29,0	5,0	23,0	35,0	0,066
BMI (kg/m <sup>2</sup> ) der QG-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	10	28,5	7,4	21,0	33,0	
3 Monate	10	28,2	5,9	21,1	31,9	
6 Monate	10	29,0	5,4	21,0	32,0	0,128

### 3.2.5 Entwicklung des SMI

Der SMI der Gesamtkohorte lag zu Beginn im Mittel bei  $10,1\text{kg/m}^2$  (IQR  $1,3\text{kg/m}^2$ , Min.  $7,7\text{kg/m}^2$ , Max.  $12,4\text{kg/m}^2$ ) und zeigte sich auch nach 6 Monaten Training mit  $10,1\text{kg/m}^2$  konstant ( $p=0,347$ ). In der BIA-Messung konnten zwei Probanden aufgrund eines Herzschrittmachers nicht gemessen werden. Die BIA-Messungen konnten insgesamt für 43 Probanden ausgewertet werden, für welche zu den drei Messzeitpunkten eine verwertbare Messung vorlag. Die fehlenden Werte kamen durch Krankheitsausfälle oder Fehlmessungen zustande.

In der KT-Gruppe nahm der SMI um  $0,9\%$  zu ( $p=0,670$ ). In der WBV-Gruppe nahm der SMI um  $5,0\%$  ab ( $p=0,273$ ). In der OT-Gruppe stieg der SMI um  $1,0\%$  ( $p=0,981$ ). In der QG-Gruppe nahm der SMI um  $2,0\%$  zu ( $p=0,497$ ), vergleiche dazu Tabelle 8 und Abbildung 17.



Tabelle 8: Entwicklung des SMI im Studienverlauf

SMI (kg/m <sup>2</sup> ) der Gesamtkohorte						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	43	10,1	1,3	7,7	12,4	0,347
3 Monate	43	9,9	1,7	7,7	12,3	
6 Monate	43	10,1	1,6	8,0	12,6	
SMI (kg/m <sup>2</sup> ) der KT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	10	10,7	1,7	7,7	12,1	0,670
3 Monate	10	10,8	2,1	7,7	12,3	
6 Monate	10	10,8	1,6	8,0	12,6	
SMI (kg/m <sup>2</sup> ) der WBV-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	10	10,0	1,1	8,9	11,3	0,273
3 Monate	10	9,7	1,7	8,5	11,4	
6 Monate	10	9,5	1,8	8,8	11,2	
SMI (kg/m <sup>2</sup> ) der OT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	9,9	1,4	8,2	11,1	0,981
3 Monate	13	9,8	1,6	8,4	11,8	
6 Monate	13	10,0	1,3	8,5	11,2	
SMI (kg/m <sup>2</sup> ) der QG-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	10	9,9	1,7	9,0	11,9	0,497
3 Monate	10	9,9	1,5	8,7	11,3	
6 Monate	10	10,1	1,6	8,6	11,5	

## Entwicklung des SMI im Studienverlauf nach Trainingsgruppen

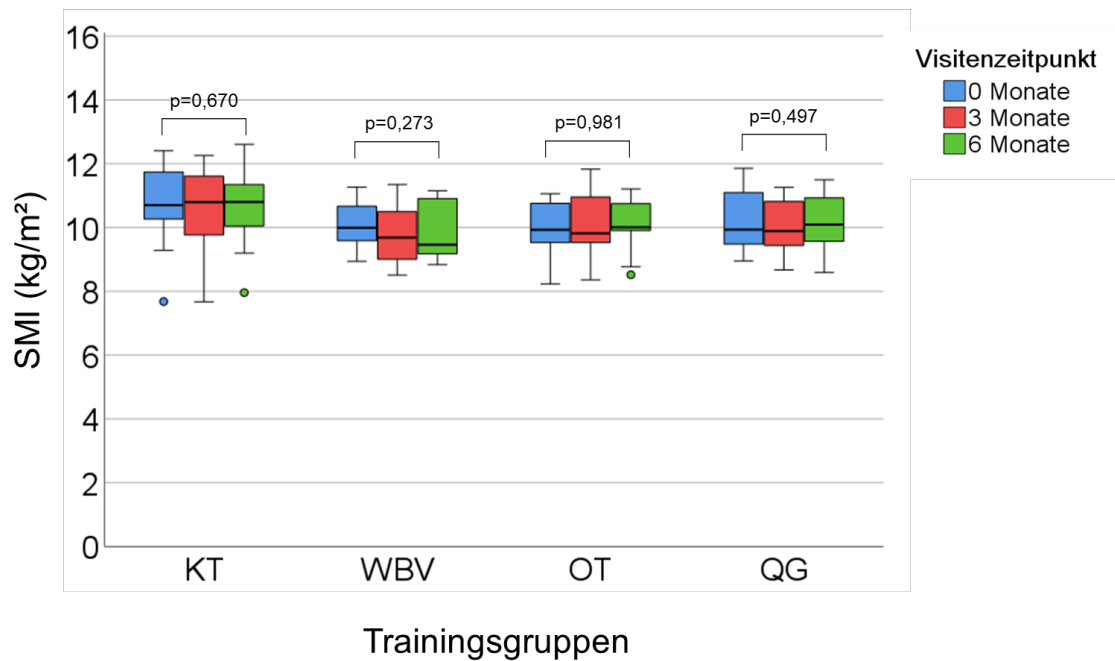


Abbildung 17: Entwicklung des SMI im Gruppenvergleich

Beim Vergleich der Veränderungen des SMI innerhalb von 6 Monaten zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den 4 Trainingsgruppen ( $p=0,470$ ).

### 3.3 Rumpfmessungen

#### 3.3.1 Entwicklung der Extensionskraft

Bei Studienbeginn lag für die Gesamtkohorte die mittlere Rumpfkraft in Extension bei 252,0Nm (IQR 112,5Nm, Min. 114,0Nm, Max. 388,0Nm). Nach 6 Monaten zeigte sich eine Steigerung um 7,5% (19,0Nm) in Extension auf 271,0Nm (IQR 110,5Nm Min. 155,0Nm, Max. 406,0Nm) ( $p=0,003$ ).

In der KT-Gruppe zeigte sich nach 6 Monaten eine signifikante Zunahme in der Rumpfkraft in der Extension um 28,0% (73,0Nm) von 261,0Nm auf 334,0Nm ( $p=0,008$ ).

In der WBV-Gruppe kam es zu einem Anstieg der Rumpfkraft in Extension um 10,8% (26,0Nm) von 241,0Nm auf 267,0Nm ( $p=0,103$ ).

In der OT-Gruppe zeigte sich nach 6 Monaten Training mit der Rückenorthese eine Zunahme in der Rumpfkraft in der Extension um 9,5% (28,0Nm) von 296,0Nm auf 324,0Nm ( $p=0,223$ ).

In der QG-Gruppe zeigte sich nach 6 Monaten Krafttraining eine Abnahme der Rumpfkraft in der Extension von 4,4% (11,0Nm) von 252,0Nm auf 241,0Nm ( $p=0,417$ ). Für eine detaillierte Darstellung siehe Tabelle 9 und Abbildung 18.

Es wurden nur Probanden, für die Messungen zu den 3 unterschiedlichen Zeitpunkten vorlagen in den Ergebnisteil eingeschlossen. In der Zwischen- und Abschlussuntersuchung waren teils Probanden krankheitsbedingt und abwesenheitsbedingt nicht untersuchbar, wodurch die Probandenzahl (N) unter der jeweiligen Gruppengröße liegt.

Tabelle 9: Entwicklung der Rumpfkraft in Extension im Verlauf der Studie

Extensionskraft in Nm der Gesamtkohorte						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	37	252,0	112,5	114,0	388,0	
3 Monate	37	267,0	82,0	109,0	403,0	
6 Monate	37	271,0	110,5	155,0	406,0	<b>0,003</b>
Extensionskraft in Nm der KT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	9	261,0	172,5	114,0	388,0	
3 Monate	9	320,0	205,0	109,0	403,0	
6 Monate	9	334,0	166,5	155,0	406,0	<b>0,008</b>
Extensionskraft in Nm der WBV-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	11	241,0	79,0	140,0	306,0	
3 Monate	11	245,0	49,0	195,0	289,0	
6 Monate	11	267,0	55,0	202,0	328,0	0,103
Extensionskraft in der OT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	8	296,0	134,0	119,0	354,0	
3 Monate	8	264,0	119,3	126,0	370,0	
6 Monate	8	324,0	92,30	160,0	375,0	0,223
Extensionskraft in der QG-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	9	252,0	92,5	174,0	339,0	
3 Monate	9	241,0	98,5	160,0	342,0	
6 Monate	9	241,0	139,5	165,0	361,0	0,417

## Entwicklung der Extensionskraft im Studienverlauf nach Trainingsgruppen

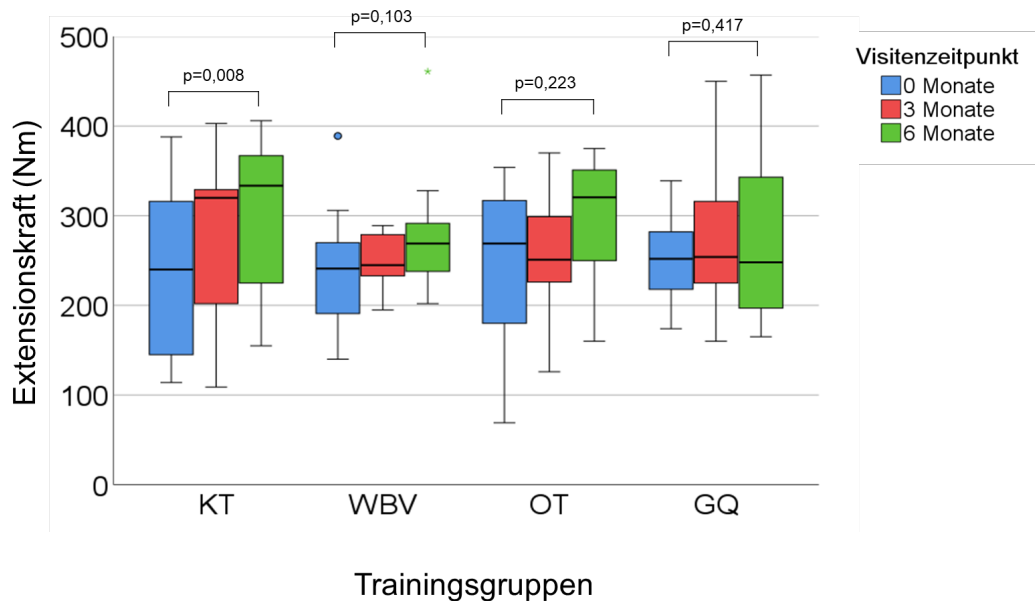


Abbildung 18: Entwicklung der Extensionskraft im Gruppenvergleich

Nach 6 Monaten zeigte sich ein signifikanter Unterschied für den Zugewinn an Rumpfkraft in Extension zwischen den Trainingsgruppen ( $p=0,038$ ), wobei die KT-Gruppe signifikant mehr zugewonnen hatte als die QG-Gruppe ( $p=0,027$ ).

### 3.3.2 Entwicklung der Flexionskraft

Bei Studienbeginn lag die mittlere Rumpfkraft in Flexion für die Gesamtkohorte bei 143,0Nm (IQR 44,5Nm, Min. 87,0Nm, Max. 253,0Nm), nach 6 Monaten zeigte sich eine signifikante Zunahme um 4,2% (6,0Nm) auf 149,0Nm (IQR 55,0Nm, Min. 75,0Nm, Max. 340,0Nm) ( $p<0,001$ ). In der KT-Gruppe zeigte sich ebenfalls ein signifikanter Anstieg um 17,2% (25,0Nm) von 145,0Nm auf 170,0Nm ( $p=0,008$ ). In der VBW-Gruppe war in der Flexionskraft eine Zunahme um 2,2% (3,0Nm) von 136,0Nm auf 139,0Nm zu verzeichnen ( $p=0,115$ ). In der OT-Gruppe zeigte sich nach 6 Monaten Training mit der Rückenorthese eine Zunahme in der Flexionskraft um 13,1% (19,0Nm) von 145,5Nm auf 164,5Nm ( $p=0,072$ ). In der QG-Gruppe nahm die Flexionskraft leicht um 2,1% (6,0Nm) von 134,0Nm auf 140,0Nm ab ( $p=0,236$ ). Vergleiche hierzu Tabelle 10 und Abbildung 19.

Tabelle 10: Entwicklung der Rumpfkraft in Flexion im Verlauf der Studie

Flexionskraft in Nm der Gesamtkohorte						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	37	143,0	44,5	87,0	253,0	
3 Monate	37	137,0	51,0	63,0	211,0	
6 Monate	37	149,0	55,5	75,0	340,0	<b>&lt;0,001</b>
Flexionskraft in Nm der KT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	9	145,0	42,5	95,0	189,0	
3 Monate	9	137,0	68,5	84,0	185,0	
6 Monate	9	170,0	78,5	119,0	224,0	<b>0,008</b>
Flexionskraft in Nm der WBV-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	11	136,0	35,0	96,0	165,0	
3 Monate	11	132,0	38,0	90,0	156,0	
6 Monate	11	139,0	33,0	100,0	179,0	0,115
Flexionskraft in der OT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	8	145,5	43,8	87,0	253,0	
3 Monate	8	145,0	45,3	89,0	194,0	
6 Monate	8	164,5	81,3	101,0	242,0	0,072
Flexionskraft in der QG-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	9	143,0	90,0	160,0	224,0	
3 Monate	9	144,0	102,0	63,0	211,0	
6 Monate	9	140,0	104,0	75,0	340,0	0,236

## Entwicklung der Flexionskraft im Studienverlauf nach Trainingsgruppen

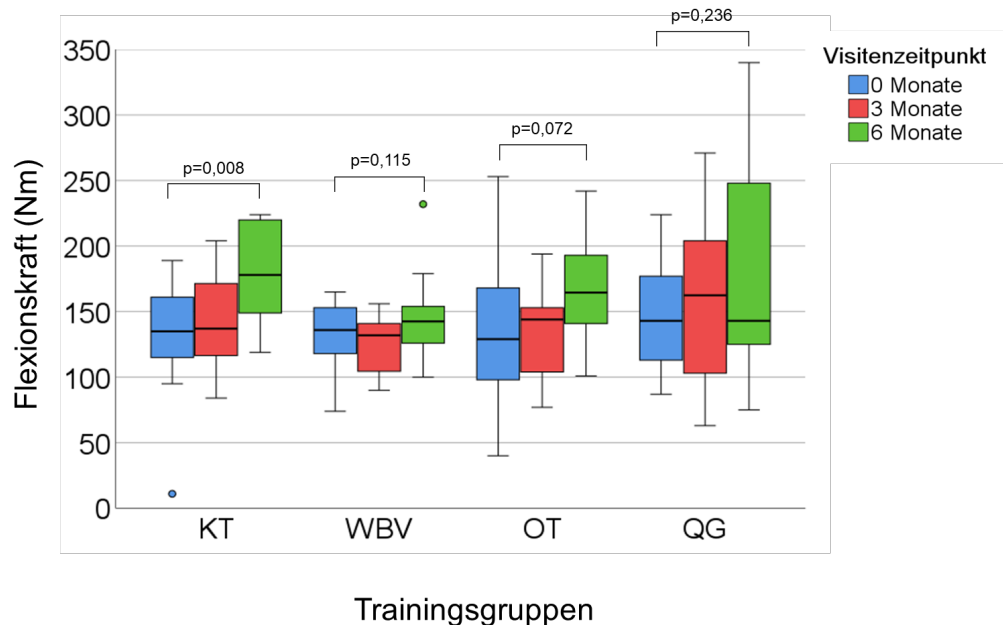


Abbildung 19: Entwicklung der Flexionskraft im Gruppenvergleich

Nach 6 Monaten Training zeigte sich kein signifikanter Unterschied im Vergleich der Zugewinne an Rumpfkraft in Flexion zwischen den Trainingsgruppen ( $p=0,263$ ).

### 3.3.3 Entwicklung des Bewegungsumfangs des Rumpfes

Bei Studienbeginn lag der mittlere kombinierte Bewegungsumfang des Rumpfes für die Gesamtkohorte bei  $50,0^\circ$  (IQR  $16,0^\circ$ , Min.  $35,0^\circ$ , Max.  $84,0^\circ$ ) nach 6 Monaten zeigte sich eine Zunahme um  $6,0\%$  auf  $53,0^\circ$  (IQR  $14,5^\circ$ , Min.  $39,0^\circ$ , Max.  $77,0^\circ$ ) ( $p=0,951$ ).

In der KT-Gruppe zeigte sich eine leichte Zunahme in der Rumpfbeweglichkeit um  $1,7\%$  von  $59,0^\circ$  auf  $60,0^\circ$  ( $p=0,135$ ). In der VBW-Gruppe sank der Bewegungsumfang geringfügig um  $3,6\%$  von  $56,0^\circ$  auf  $54,0^\circ$  ab ( $p=0,931$ ). Die OT-Gruppe zeigte eine Zunahme in der Rumpfbeweglichkeit um  $7,1\%$  von  $49,0^\circ$  auf  $52,5^\circ$  ( $p=0,072$ ). In der QG-Gruppe blieb der Bewegungsumfang konstant bei  $47,0^\circ$  nach 6 Monaten ( $p=0,053$ ). Siehe Tabelle 11 und Abbildung 20.

Tabelle 11: Veränderung der Bewegungsumfang des Rumpfes nach 6 Monaten

Bewegungsumfang in Grad der Gesamtkohorte						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	37	50,0	16,0	35,0	84,0	0,951
3 Monate	37	54,0	18,5	33,0	76,0	
6 Monate	37	53,0	14,5	39,0	77,0	
Bewegungsumfang in Grad der KT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	9	59,0	23,5	38,0	77,0	0,135
3 Monate	9	60,0	18,5	45,0	71,0	
6 Monate	9	60,0	13,5	46,0	71,0	
Bewegungsumfang in Grad der WBV-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	11	56,0	28,0	35,0	84,0	0,931
3 Monate	11	55,0	20,0	41,0	76,0	
6 Monate	11	54,0	16,0	42,0	77,0	
Bewegungsumfang in Grad der OT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	8	49,0	7,5	46,0	58,0	0,072
3 Monate	8	56,5	7,0	38,0	64,0	
6 Monate	8	52,5	10,3	40,0	57,0	
Bewegungsumfang in Grad der QG-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	9	47,0	19,0	36,0	66,0	0,053
3 Monate	9	44,0	19,0	33,0	66,0	
6 Monate	9	47,0	13,0	39,0	65,0	



## Entwicklung der Rumpfbeweglichkeit im Studienverlauf nach Trainingsgruppen

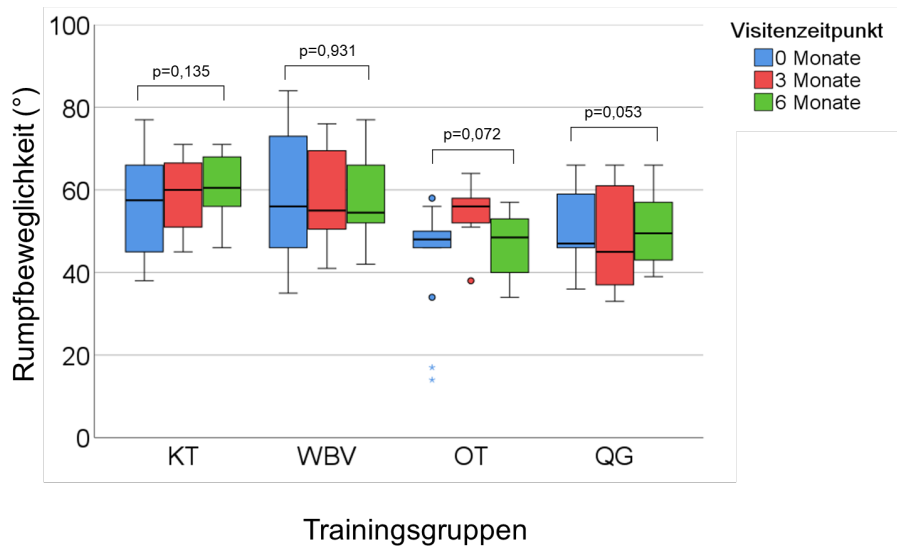


Abbildung 20: Entwicklung der Rumpfbeweglichkeit im Gruppenvergleich

Nach 6 Monaten zeigte sich kein signifikanter Unterschied für den Zugewinn an Rumpfbeweglichkeit zwischen den Trainingsgruppen ( $p=0,367$ ).

### 3.3.4 Entwicklung der Handkraft im Gruppenvergleich

Bei Studienbeginn lag die mittlere Handkraft für die Gesamtkohorte bei 32,4kg (IQR 9,2kg, Min. 13,5kg, Max. 44,0kg). Nach 6 Monaten zeigte sich eine signifikante Steigerung um 1,5% auf 32,9kg (IQR 8,7kg, Min. 7,3kg, Max. 48,0kg) ( $p=0,006$ ). In der KT-Gruppe verringerte sich die Handkraft im Studienverlauf um 4,9% von 34,6kg auf 32,9kg ( $p=0,178$ ). Die WBV-Gruppe konnte nach 6 Monaten Trainingsintervention ihre Handkraft um 2,8% von 31,9kg auf 32,8kg signifikant steigern ( $p=0,023$ ). Die OT-Gruppe verbesserte sich in der Handkraft um 1,2% von 33,8kg auf 34,2kg ( $p=0,794$ ). In der QG-Gruppe stieg die Handkraft um 7,4% von 27,0kg auf 29,0kg nach 6 Monaten regelmäßigem Training ( $p=0,122$ ). Siehe Tabelle 12 und Abbildung 21.

Tabelle 12: Entwicklung der Handkraft im Verlauf der Studie

Handkraft in kg der Gesamtkohorte						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	47	32,4	9,2	13,5	44,0	
3 Monate	47	33,1	10,2	7,9	47,1	
6 Monate	47	32,9	8,7	7,3	48,0	<b>0,006</b>
Handkraft in kg der KT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	11	34,6	7,5	24,0	44,0	
3 Monate	11	37,4	11,1	26,7	47,1	
6 Monate	11	32,9	5,7	24,5	48,0	0,178
Handkraft in kg der WBV-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	31,9	6,7	22,8	35,6	
3 Monate	13	32,5	8,8	24,3	39,6	
6 Monate	13	32,8	6,3	23,4	41,9	<b>0,023</b>
Handkraft in kg der OT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	33,8	10,3	13,5	39,8	
3 Monate	13	35,5	9,8	7,9	40,5	
6 Monate	13	34,2	9,0	7,3	39,4	0,794
Handkraft in kg der QG-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	10	27,0	17,6	18,9	43,3	
3 Monate	10	27,7	14,4	21,7	46,2	
6 Monate	10	29,0	14,4	17,5	41,5	0,122

## Entwicklung der Handkraft im Studienverlauf nach Trainingsgruppen

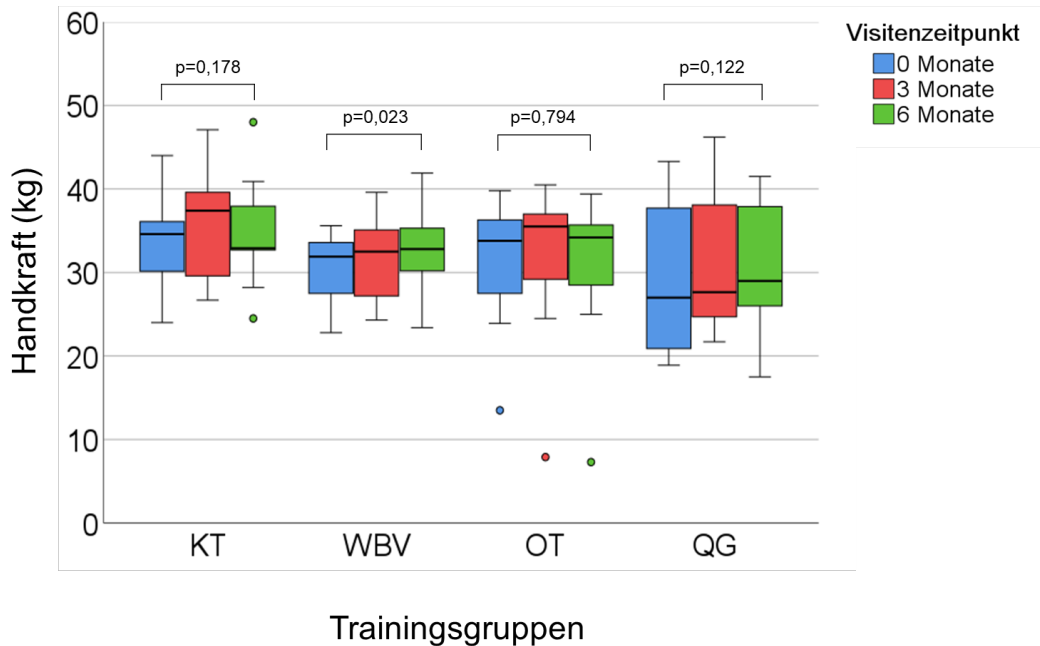


Abbildung 21: Entwicklung der Handkraft im Gruppenvergleich

Nach 6 Monaten zeigte sich kein signifikanter Unterschied für den Zugewinn an isometrischer Handkraft zwischen den Trainingsgruppen ( $p=0,624$ ).

### 3.4 Messungen der Muskelfunktion

#### 3.4.1 Entwicklung der Gehgeschwindigkeit im Gruppenvergleich

Bei Studienbeginn lag die mittlere Gehgeschwindigkeit für die Gesamtkohorte bei 1,22m/s (IQR 0,20m/s, Min. 0,40m/s, Max. 1,56m/s). Diese stieg im Studienverlauf nach 6 Monaten um 2,5% auf 1,25m/s an (IQR 0,22m/s, Min. 0,49m/s, Max. 1,77m/s) ( $p=0,023$ ). In der KT-Gruppe verbesserte sich die Gehgeschwindigkeit signifikant um 8,2% von 1,22m/s auf 1,32m/s ( $p=0,015$ ). In der WBV-Gruppe stieg diese geringfügig um 3,3% an von 1,22m/s auf 1,26m/s ( $p=0,942$ ). In der OT-Gruppe zeigte sich eine Verbesserung um 6,0% von 1,16m/s auf 1,23m/s ( $p=0,199$ ). In der QG-Gruppe kam es zu einem Abfall um 4,0% von 1,25m/s auf 1,20m/s ( $p=0,452$ ). Vergleiche Tabelle 13 und Abbildung 22.

Tabelle 13: Entwicklung der Gehgeschwindigkeit im Verlauf der Studie

Gehgeschwindigkeit (m/s) der Gesamtkohorte						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	47	1,22	0,20	0,40	1,56	
3 Monate	47	1,18	0,30	0,50	1,56	
6 Monate	47	1,25	0,22	0,49	1,77	<b>0,023</b>
Gehgeschwindigkeit (m/s) KT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	11	1,22	0,08	0,63	1,41	
3 Monate	11	1,32	0,34	0,81	1,53	
6 Monate	11	1,32	0,28	0,88	1,54	<b>0,015</b>
Gehgeschwindigkeit (m/s) der WBV-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	1,22	0,17	1,10	1,56	
3 Monate	13	1,18	0,29	1,07	1,45	
6 Monate	13	1,26	0,23	1,00	1,77	0,942
Gehgeschwindigkeit (m/s) der OT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	11	1,16	0,26	0,40	1,47	
3 Monate	11	1,07	0,24	0,50	1,46	
6 Monate	11	1,23	0,23	0,49	1,69	0,199
Gehgeschwindigkeit (m/s) der QG-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	10	1,25	0,35	0,86	1,49	
3 Monate	10	1,18	0,27	0,90	1,56	
6 Monate	10	1,20	0,23	0,99	1,50	0,452

## Entwicklung der Gehgeschwindigkeit im Studienverlauf nach Trainingsgruppen

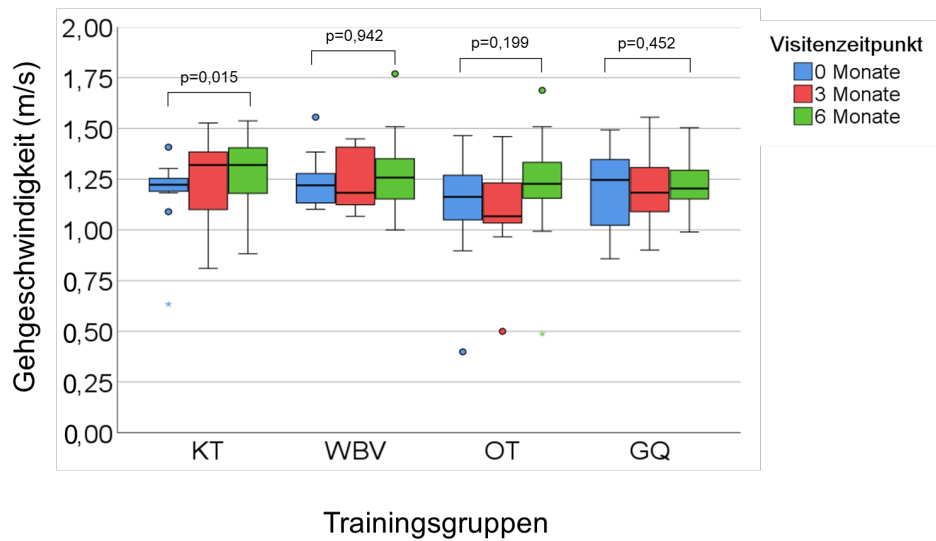


Abbildung 22: Entwicklung der Gehgeschwindigkeit im Gruppenvergleich

Nach 6 Monaten zeigte sich kein signifikanter Unterschied für den Zugewinn an Gehgeschwindigkeit zwischen den Trainingsgruppen ( $p=0,325$ ).

### 3.4.2 Entwicklung des CRT im Gruppenvergleich

In der Gesamtkohorte lag die benötigte Zeit im CRT zu Beginn bei 8,81s (IQR 2,63s, Min. 6,03s, Max. 18,60s). Nach 6 Monaten verbesserte sich die Zeit um 8,9% auf 8,03s (IQR 2,62s, Min. 5,53s, Max. 15,44s) ( $p<0,001$ ). In der KT-Gruppe zeigte der CRT nur eine geringfügige Verbesserung um 0,5% von 8,18s auf 8,14s ( $p=0,441$ ). In der WBV-Gruppe reduzierte sich die benötigte Zeit signifikant um 8,9% von 8,81s auf 8,03s nach 6 Monaten Training ( $p=0,007$ ). Auch in der OT-Gruppe verbesserte sich der CRT signifikant um 9,0% von 8,62s auf 7,84s über den Studienverlauf ( $p=0,003$ ). Die GQ-Gruppe zeigte eine Verbesserung der Zeit um 6,1% von 9,27s auf 8,70s im Studienverlauf ( $p=0,497$ ). Eine detaillierte Darstellung ist in Tabelle 14 und in Abbildung 23 dargestellt.

Tabelle 14: Entwicklung des CRT im Verlauf der Studie

CRT in s der Gesamtkohorte						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	45	8,81	2,63	6,03	18,60	
3 Monate	45	8,96	2,31	5,56	17,02	
6 Monate	45	8,03	2,62	5,53	15,44	<b>&lt;0,001</b>
CRT in s der KT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	11	8,18	2,91	6,35	10,80	
3 Monate	11	8,69	2,05	5,75	9,72	
6 Monate	11	8,14	1,97	5,97	11,90	0,441
CRT in s der WBV-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	8,81	2,30	6,28	15,34	
3 Monate	13	8,57	1,78	5,56	9,86	
6 Monate	13	8,03	2,02	5,53	12,19	<b>0,007</b>
CRT in s der OT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	8,62	2,43	6,93	11,56	
3 Monate	13	10,28	3,19	6,82	17,02	
6 Monate	13	7,84	3,13	6,04	10,50	<b>0,003</b>
CRT in s der QG-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	10	9,27	3,84	6,03	18,60	
3 Monate	10	9,86	6,50	6,14	15,25	
6 Monate	10	8,70	5,23	5,82	15,44	0,497

## Entwicklung des CRT im Studienverlauf nach Trainingsgruppen

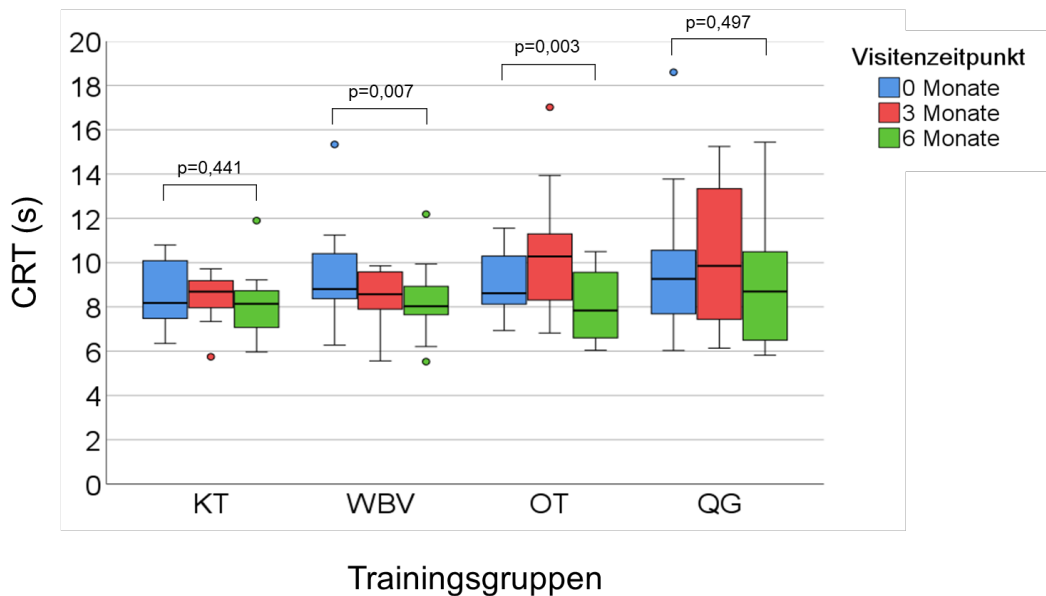


Abbildung 23: Entwicklung des CRT im Gruppenvergleich

Nach 6 Monaten zeigte sich kein signifikanter Unterschied für die Verbesserungen im CRT zwischen den Trainingsgruppen ( $p=0,425$ ).

### 3.4.3 Gleichgewichtstests

#### *Side-by-Side Test*

In der Gesamtkohorte konnte der Side-by-Side Test zu Beginn 10,0s lang gehalten werden (SD 0,0s, Min 10,0s, Max 10,0s). Nach 6 Monaten zeigte sich ein leicht reduzierter Wert um 2,0% mit 9,8s (SD 1,5s, Min. 0,0s, Max. 10,0s) ( $p=0,368$ ). In der KT-Gruppe kam es zu keiner Veränderung der gemessenen Balancewerte im Side-by-Side Test nach 6 Monaten ( $p=1,000$ ). Auch in der QG- und der WBV-Gruppe kam es jeweils zu keinen Veränderungen im Side-by-Side Test ( $p=1,000$ ). In der OT-Gruppe kam es zu einem leichten Rückgang der benötigten Zeit im Side-by-Side Test um 8,0% von 10,0s auf 9,2s ( $p=0,368$ ), siehe auch Tabelle 15.

Tabelle 15: Entwicklung des Side-by-Side Test im Verlauf der Studie

Side-by-Side Test in s der Gesamtkohorte						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	47	10,0	0,0	10,0	10,0	
3 Monate	47	9,9	0,9	4,0	10,0	
6 Monate	47	9,8	1,5	0,0	10,0	0,317
Side-by-Side Test in s der KT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	11	10,0	0,0	10,0	10,0	
3 Monate	11	10,0	0,0	10,0	10,0	
6 Monate	11	10,0	0,0	10,0	10,0	1,000
Side-by-Side Test in s der WBV-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	10,0	0,0	10,0	10,0	
3 Monate	13	10,0	0,0	10,0	10,0	
6 Monate	13	10,0	0,0	10,0	10,0	1,000
Side-by-Side Test in s der OT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	12	10,0	0,0	10,0	10,0	
3 Monate	12	9,5	1,7	4,0	10,0	
6 Monate	12	9,2	2,8	0,0	10,0	0,368
Side-by-Side Test in s der QG-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	10	10,0	0,0	10,0	10,0	
3 Monate	10	10,0	0,0	10,0	10,0	
6 Monate	10	10,0	0,0	10,0	10,0	1,000

Nach 6 Monaten zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Trainingsgruppen im Side-by-Side Test ( $p=0,455$ ).



### *Semi-Tandem Test*

In der Gesamtkohorte betrug die Haltedauer im Semi-Tandem Test anfangs 9,5s (SD 1,8s, Min. 0,0s, Max. 10,0s), nach 6 Monaten war diese im Großen und Ganzen konstant ( $p=0,368$ ). In der QG-Gruppe lag die Haltedauer im Semi-Tandem Test zu Beginn bei 9,1s (SD 2,2s, Min. 3,0s, Max. 10,0s), nach 6 Monaten fiel diese um 1,1% auf 9,0s ab ( $p=0,368$ ). In der KT-Gruppe kam es zu einem Anstieg von 9,9% von 9,1s auf 10,0s ( $p=0,368$ ). In der WBV-Gruppe kam es ebenfalls zu einem Zugewinn von 2,0% von 9,8s auf 10,0s ( $p=0,368$ ). In der OT-Gruppe wiederum kam es zu einem Absinken von 11,0% von 10,0s auf 8,9s ( $p=0,223$ ), siehe auch Tabelle 16.

Tabelle 16: Entwicklung des Semi-Tandem Test im Verlauf der Studie

Semi-Tandem Test in s der Gesamtkohorte						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	47	9,5	1,8	0,0	10,0	0,368
3 Monate	47	9,8	1,5	0,0	10,0	
6 Monate	47	9,5	2,1	0,0	10,0	
Semi-Tandem Test in s der KT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	11	9,1	3,0	0,00	10,00	0,368
3 Monate	11	10,0	0,0	10,0	10,0	
6 Monate	11	10,0	0,0	10,0	10,0	
Semi-Tandem Test in s der WBV-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	9,8	0,8	7,00	10,00	0,368
3 Monate	13	10,0	0,0	10,0	10,0	
6 Monate	13	10,0	0,0	10,0	10,0	
Semi-Tandem Test in s der OT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	10,0	0,0	10,0	10,0	0,223
3 Monate	13	9,2	2,8	0,0	10,0	
6 Monate	13	8,9	3,0	0,0	10,0	
Semi-Tandem Test in s der QG-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	10	9,1	2,3	3,0	10,0	0,368
3 Monate	10	9,9	0,3	9,0	10,0	
6 Monate	10	9,0	3,2	0,0	10,0	

Nach 6 Monaten zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Trainingsgruppen im Semi-Tandem Test ( $p=0,303$ ).

### *Tandem Test*

In der Gesamtkohorte lag die gehaltene Zeit im Tandem Test zu Beginn bei 8,3s (SD 3,3s, Min. 0,0s, Max. 10,0s), wobei der Wert nach 6 Monaten um 2,4% auf 8,1 abgesunken war ( $p=0,936$ ). In der KT-Gruppe auf zu einem von 10,1% von 7,9s auf 7,1s ( $p=0,549$ ). In der WBV-Gruppe hingegen kam es zu einer Verbesserung um 21,3% von 8,0s auf 9,7s ( $p=0,180$ ). In der GQ-Gruppe sank die Haltedauer im Tandem Test um 10,0% von 8,0s auf 7,2s ab ( $p=0,670$ ). Analog kam es auch in der OT-Gruppe zu einem Verlust von 14,0% von 9,3s auf 8,0s, siehe auch Tabelle 17.

Tabelle 17: Entwicklung des Tandem Test im Verlauf der Studie

Tandem Test in s der Gesamtkohorte						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	47	8,3	3,3	0,0	10,0	0,936
3 Monate	47	8,2	3,4	0,0	10,0	
6 Monate	45	8,1	3,6	0,0	10,0	
Tandem Test in s der KT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	11	7,9	3,8	0,0	10,0	0,549
3 Monate	11	7,2	4,0	0,0	10,0	
6 Monate	11	7,1	4,3	0,0	10,0	
Tandem Stand in s der WBV-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	8,0	3,5	0,0	10,0	0,180
3 Monate	13	8,9	2,2	4,0	10,0	
6 Monate	13	9,7	0,9	7,0	10,0	
Tandem Test in s der OT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	9,3	2,0	3,0	10,0	0,526
3 Monate	13	8,9	3,0	0,0	10,0	
6 Monate	13	8,0	4,0	10,0	10,0	
Tandem Test in s der QG-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	10	8,0	4,2	0,0	10,0	0,670
3 Monate	10	7,4	4,3	0,0	10,0	
6 Monate	10	7,2	4,2	0,0	10,0	

Nach 6 Monaten zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Trainingsgruppen ( $p=0,244$ ).

#### 3.4.4 SPPB Punkte

In der Gesamtkohorte lag der Punktestand der SPPB zu Beginn im Mittel bei 11,2 (SD 1,6, Min. 6,0, Max. 12,0), im Studienverlauf stieg dieser um 0,9% auf 11,3 an ( $p=0,743$ ). In der QG-Gruppe kam es zu keinen größeren Veränderungen der durchschnittlichen Werte der SPPB mit jeweils 10,9 zu Beginn und Abschluss der Studie. Ebenso zeigten sich die Ergebnisse der KT-Gruppe mit 11,3 konstant. In der WBV-Gruppe kam es zu einer leichten Verbesserung um 4,4% von 11,3 auf 11,8 ( $p=0,291$ ). Die OT-Gruppe hingegen zeigte keine relevanten Veränderungen der Ergebnisse über den Studienverlauf mit jeweils 11,3 zum Anfang und Ende der Studie, siehe hierzu auch Tabelle 18 und Abbildung 24.

Tabelle 18: Entwicklung des SPPB im Verlauf der Studie

SPPB in Punkten (max 12P) der Gesamtkohorte						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	46	11,2	1,6	6,0	12,0	0,743
3 Monate	46	11,2	1,3	7,0	12,0	
6 Monate	46	11,3	1,3	7,0	12,0	
SPPB in Punkten (max 12P) der KT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	11	11,3	1,6	7,0	12,0	0,946
3 Monate	11	11,4	1,0	9,0	12,0	
6 Monate	11	11,3	1,1	9,0	12,0	
SPPB in Punkten (max 12P) der WBV-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	11,3	1,1	9,0	12,0	0,291
3 Monate	13	11,7	0,5	11,0	12,0	
6 Monate	13	11,8	0,4	11,0	12,0	
SPPB in Punkten (max 12P) der OT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	12	11,3	1,8	6,0	12,0	0,646
3 Monate	12	11,0	1,7	7,0	12,0	
6 Monate	12	11,3	1,6	7,0	12,0	
SPPB in Punkten (max 12P) der QG-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	10	10,9	1,8	6,0	12,0	0,926
3 Monate	10	10,8	2,3	7,0	12,0	
6 Monate	10	10,9	1,9	7,0	12,0	

## Entwicklung der SPPB im Studienverlauf nach Trainingsgruppen

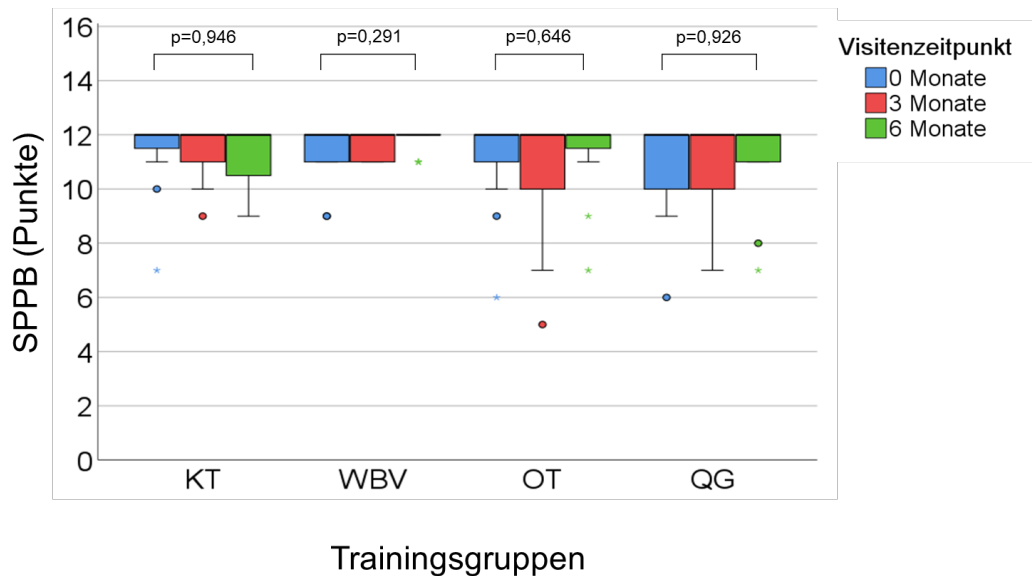


Abbildung 24: Entwicklung des SPPB im Verlauf der Studie

Nach 6 Monaten zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Trainingsgruppen im SPPB ( $p=0,680$ ).

### 3.4.5 Entwicklung des TUG im Gruppenvergleich

In der Gesamtkohorte lag die beim TUG benötigte Zeit anfangs bei 8,3s (IQR 2,6s, Min. 6,2s, Max. 24,8s). Nach 6 Monaten verbesserte sich die Zeit um 1,2% auf 8,2s (IQR 2,2s, Min. 6,1s, Max 21,2s). In der KT-Gruppe konnte die benötigte Zeit um 4,8% von 8,3s auf 7,9s verringert werden ( $p=0,307$ ). Die WBV-Gruppe verbesserte sich im TUG um 2,4% von 8,2s auf 8,0s ( $p=0,232$ ). In der OT-Gruppe verschlechterte sich der TUG nach 6 Monaten um 4,7% von 8,6s auf 9,0s ( $p=0,794$ ). Auch die QG-Gruppe verschlechterte sich nach 6 Monaten Training um 1,2% von 8,1s auf 8,2s ( $p=0,307$ ). Für eine detaillierte Darstellung siehe Tabelle 19 und Abbildung 25.

Tabelle 19: Entwicklung des TUG im Verlauf der Studie

TUG in s der Gesamtkohorte						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	47	8,3	2,6	6,2	24,8	0,273
3 Monate	47	8,1	1,8	6,1	22,9	
6 Monate	47	8,2	2,2	6,1	21,2	
TUG in s der KT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	11	8,3	1,9	7,1	14,8	0,307
3 Monate	11	7,8	2,4	6,1	13,6	
6 Monate	11	7,9	1,2	6,6	12,0	
TUG in s der WBV-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	8,2	2,9	6,2	11,3	0,232
3 Monate	13	7,7	0,9	6,7	8,6	
6 Monate	13	8,0	1,3	6,1	12,0	
TUG in s der OT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	8,6	3,9	6,7	24,8	0,368
3 Monate	13	8,8	2,3	7,5	22,9	
6 Monate	13	9,0	3,0	6,8	21,2	
TUG in s der QG-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	10	8,1	3,2	6,3	13,4	0,741
3 Monate	10	8,3	4,3	6,6	13,0	
6 Monate	10	8,2	3,4	6,2	12,0	



## Entwicklung des TUG im Studienverlauf nach Trainingsgruppen

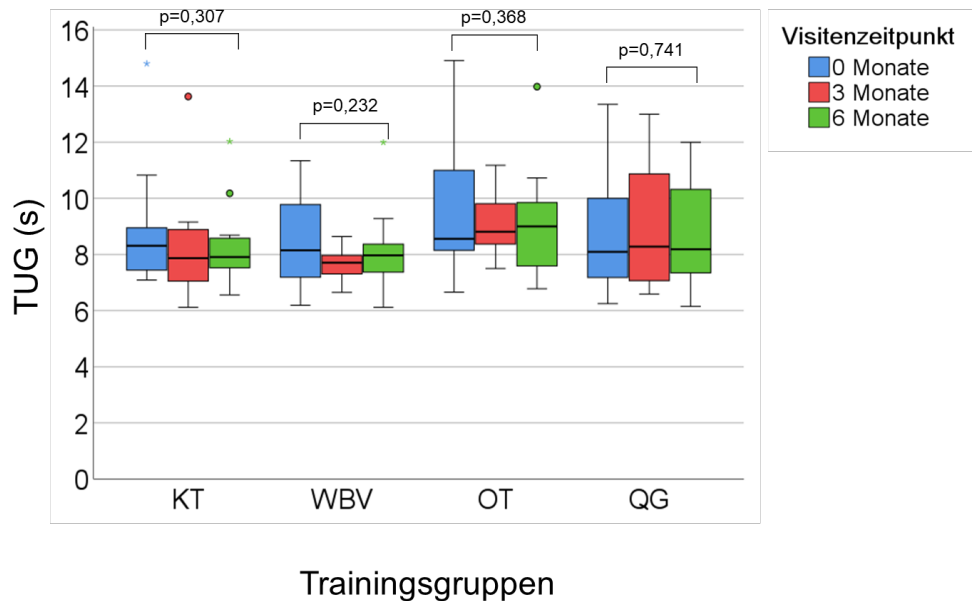


Abbildung 25: Entwicklung des TUG im Gruppenvergleich

Nach 6 Monaten zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Trainingsgruppen ( $p=0,517$ ).

### 3.4.6 Entwicklung des 6MW im Gruppenvergleich

Die mediane Distanz im 6MW für die Gesamtkohorte lag zu Beginn bei 544,0m (IQR 127,0m, Min. 191,0m, Max. 720,0m). Nach 6 Monaten verringerte sich die Distanz um 3,7% auf 524,0m (IQR 154,0m, Min. 197,0m, Max. 734,0m) ( $p=0,017$ ). In der KT-Gruppe reduzierte sich die Distanz im 6MW um 11,2% von 590,0m auf 524,0m ( $p=0,076$ ). In der WBV-Gruppe kam es zu einer Verringerung der Gehstrecke um 5,9% von 544,0m auf 512,0m ( $p=0,735$ ). In der OT-Gruppe änderte sich die Distanz nur geringermaßen von 0,2% von 528,0m auf 527,0m ( $p=0,484$ ). In der QG-Gruppe verbesserte sich hingegen die Distanz um 3,4% von 553,0m auf 572,0m ( $p=0,076$ ). Für eine detaillierte Darstellung siehe Tabelle 20 und Abbildung 26.

Tabelle 20: Entwicklung des 6MW im Verlauf der Studie

6MW in m der Gesamtkohorte						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	47	544,0	127,0	191,0	720,0	
3 Monate	47	548,0	122,0	211,0	718,0	
6 Monate	47	524,0	154,0	197,0	734,0	<b>0,017</b>
6MW in m der KT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	11	590,0	240,0	336,0	720,0	
3 Monate	11	548,0	127,0	329,0	718,0	
6 Monate	11	524,0	154,0	360,0	689,0	0,076
6MW in m der WBV-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	544,0	118,0	415,0	648,0	
3 Monate	13	549,0	118,0	368,0	633,0	
6 Monate	13	512,0	180,0	361,0	734,0	0,735
6MW in m der OT-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	13	528,0	101,5	191,0	655,0	
3 Monate	13	538,0	115,0	211,0	638,0	
6 Monate	13	527,0	136,5	197,0	643,0	0,484
6MW in m der QG-Gruppe						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	10	553,0	189,8	318,0	623,0	
3 Monate	10	579,5	179,0	363,0	644,0	
6 Monate	10	572,0	193,0	303,0	619,0	0,061

## Entwicklung des 6MW im Studienverlauf nach Trainingsgruppen

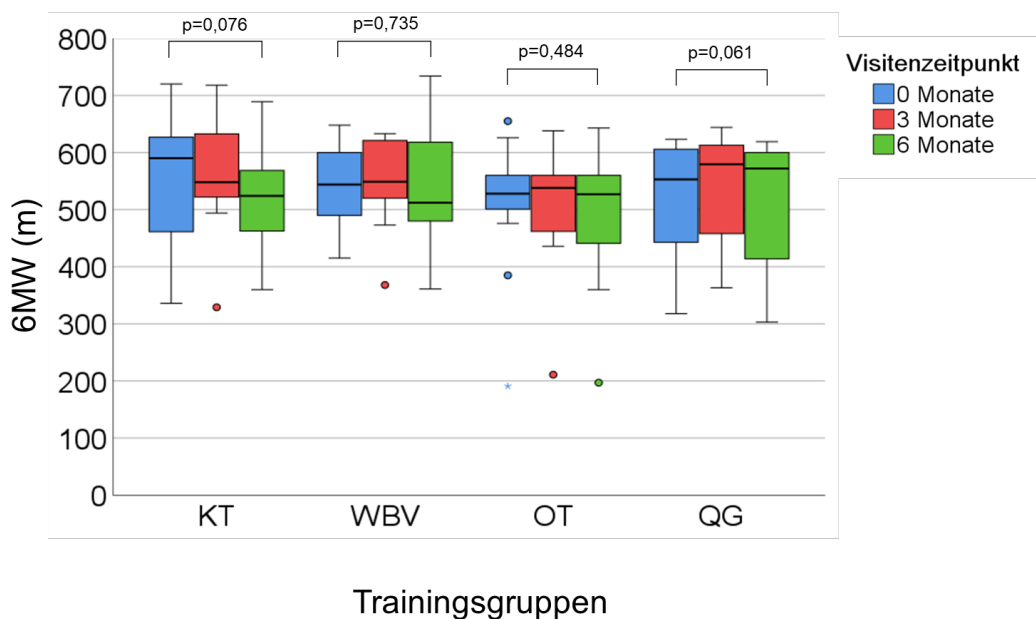


Abbildung 26: Entwicklung des 6MW im Gruppenvergleich

Nach 6 Monaten zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Trainingsgruppen im 6MW ( $p=0,818$ ).

### 3.5 Vergleich der Entwicklung aller Trainingsgruppen

In Abbildung 27 sind alle Veränderungen der Tests für die Gesamtkohorte und die einzelnen Trainingsgruppen nochmal zusammenfassend dargestellt.

Übersicht der Ergebnisse der Trainingsgruppen					
Test	Gesamt	KT	WBV	OT	QG
Rückenkraft Extension	↑↑	↑↑	↑	↑	=
Rückenkraft Flexion	↑↑↑	↑↑	↑	↑	=
Bewegungsumfang Rumpf	↑	↑	↓	=	=
Handkraft	↑↑	↓	↑↑	↑	↑
Gehgeschwindigkeit	↑↑	↑↑	↑	↑	↓
CRT	↑↑↑	↑	↑↑	↑↑	↑
SPPB	=	=	=	=	=
TUG	↑	↑	↑	↓	↓
6MW	↓↓	↓	↓	=	↑
Gewicht	↑	↑	↓	↑	↑
BMI	↑	↑	↑	↑	↑
SMI	=	↑	↓	↑	↑

Abbildung 27: Übersicht der Veränderungen in den 4 Trainingsgruppen nach 6 Monaten:

↑↑↑ hochsignifikante Veränderung mit  $p < 0,001$

↑↑ signifikante Veränderung mit  $p < 0,05$

↑ Verbesserung

↓ Verschlechterung

↓↓ signifikante Verschlechterung

= keine Veränderung

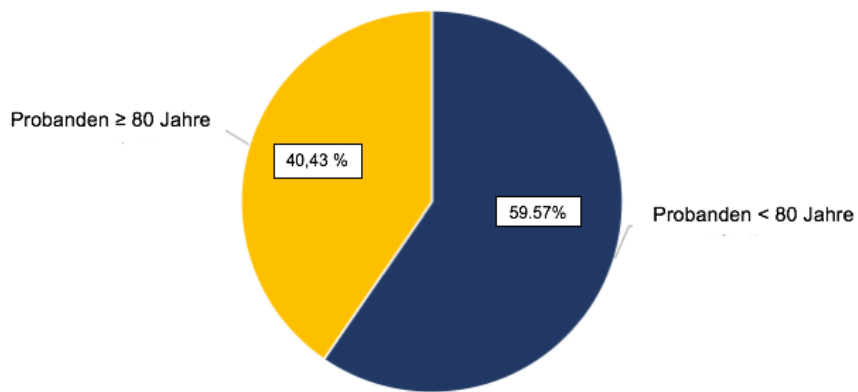
### 3.6 *Probanden mit erhöhtem Risiko für muskuläre Defizite*

Im Weiteren wurden Auswertungen spezifischer Probanden-Subgruppen durchgeführt, bei denen von einem erhöhten Risiko für muskuläre Defizite auszugehen ist. Hierfür wurden die Teilnehmer wie folgt selektiert:

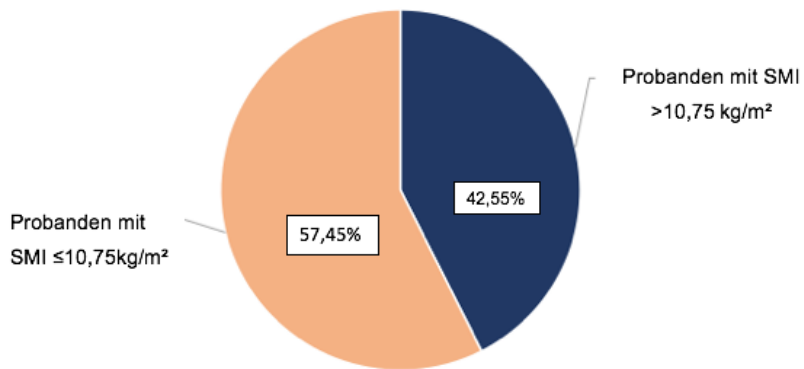
- Probanden  $\geq 80$  Jahre
- Probanden mit prä Sarkopenem Muskelmasse-Status:  $\text{SMI} \leq 10,75 \text{ kg/m}^2$
- Probanden mit  $\geq 3$  chronischen aktuell therapiebedürftigen Erkrankungen

Innerhalb der Studienkohorte waren  $n=19/47$  (40,43%) Probanden  $\geq 80$  Jahre alt,  $n=30/47$  (57,45%) wiesen einen prä Sarkopenen Muskelmasse-Status auf und  $n=29/47$  (60,07%) waren multimorbide. Siehe auch Abbildung 28.

Prozentualer Anteil der Probanden  $\geq 80$  Jahre an der Gesamtkohorte



Prozentualer Anteil der Probanden mit  $\text{SMI} \leq 10,75 \text{ kg/m}^2$  an der Gesamtkohorte



Prozentualer Anteil der multimorbiden Probanden an der Gesamtkohorte

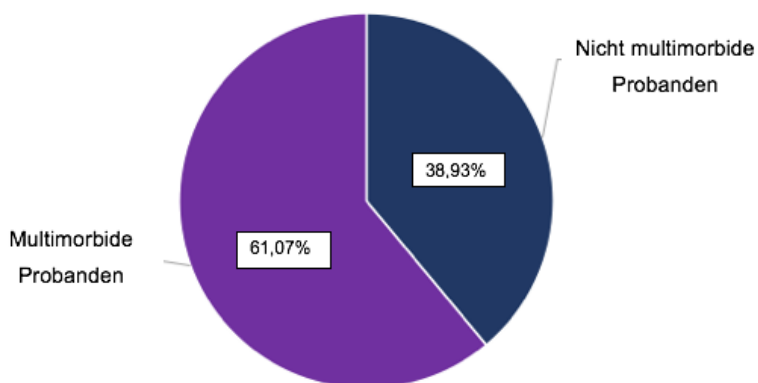


Abbildung 28: Prozentualer Anteil der Subgruppen an der Gesamtkohorte von oben nach unten: Probanden  $\geq 80$  Jahre, Präsenkorpene Probanden und multimorbide Probanden

### *3.6.1 Alter der Probanden in den Subgruppen*

Die Probanden  $\geq 80$  Jahre waren im Mittel 82,0 Jahre alt (80,0-98,0 Jahre). Der Altersmedian der prä-sarkopenen Probanden lag bei 77,0 Jahren (66,0-89,0 Jahre), der der multimorbiden Probanden betrug 77,0 Jahre (67,0-89,0 Jahre).

### *3.6.2 Körpergröße der Probanden in den Subgruppen*

Die Probanden  $\geq 80$  Jahre waren im Mittel 176,0cm groß (IQR 12,0cm, Min. 157,0cm, Max. 182,0cm). Bei den prä-sarkopenen Probanden lag die Körpergröße bei 176,5cm (IQR 9,3cm, Min. 162,0cm, Max. 187,0cm). Die multimorbiden Probanden waren im Mittel 176,0cm groß (IQR 12,0cm, Min. 157,0cm, Max. 187,0cm).

### *3.6.3 Entwicklung des Körpergewichts in den Subgruppen*

Die Probanden  $\geq 80$  Jahre waren zu Beginn im Mittel 79,0 kg schwer (IQR 12,0kg, Min. 63,0kg, Max. 91,0kg). Nach 6 Monaten stieg der Median des Körpergewichts in dieser Subgruppe auf 81,0kg signifikant an ( $p=0,017$ ). Bei den prä-sarkopenen Probanden lag das Körpergewicht zu Beginn bei 80,0kg (IQR 13,3kg, min. 63,0kg, max. 92,0kg) und stieg im Verlauf der Studie auf 82,0kg ( $p=0,051$ ). Die multimorbiden Probanden waren im Mittel 81,0kg schwer (IQR 13,0kg, min. 62,0kg, max. 112,0kg) und stiegen auf 83,0kg ( $p=0,127$ ), siehe Tabelle 21.

Tabelle 21: Entwicklung des Körpergewichts der Subgruppen im Studienverlauf

Körpergewicht in kg der Probanden $\geq 80$ Jahre						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	19	79,0	12,0	63,0	91,0	
3 Monate	19	80,0	12,0	63,0	92,0	
6 Monate	19	81,0	13,0	62,0	92,0	<b>0,017</b>
Körpergewicht in kg der prä Sarkopenen Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	30	80,0	13,3	63,0	102,0	
3 Monate	30	81,5	13,3	63,0	101,0	
6 Monate	30	82,0	12,8	62,0	99,0	<b>0,051</b>
Körpergewicht in kg der multimorbiden Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	27	81,0	13,0	63,0	112,0	
3 Monate	27	83,0	15,0	63,0	115,0	
6 Monate	27	83,0	18,0	62,0	115,0	0,127

### 3.6.4 Entwicklung des BMI in den Subgruppen

Der BMI der Probanden  $\geq 80$  Jahre lag zu Beginn der Studie bei  $25,8 \text{ kg/m}^2$  (IQR  $3,7 \text{ kg/m}^2$ , Min.  $21,0 \text{ kg/m}^2$ , Max.  $34,0 \text{ kg/m}^2$ ). Nach 6 Monaten stieg der Median des BMI in dieser Subgruppe signifikant um 1,2% auf  $26,1 \text{ kg/m}^2$  an ( $p=0,017$ ). Bei den prä Sarkopenen Probanden lag der BMI zu Beginn bei  $26,6 \text{ kg/m}^2$  (IQR  $3,8 \text{ kg/m}^2$ , min.  $21,0 \text{ kg/m}^2$ , max.  $33,0 \text{ kg/m}^2$ ) und stieg signifikant um 1,9% auf  $27,1 \text{ kg/m}^2$  im Verlauf der Studie an ( $p=0,039$ ). Bei den multimorbiden Probanden betrug der BMI zu Beginn  $27,9 \text{ kg/m}^2$  (IQR  $5,1 \text{ kg/m}^2$ , min.  $21,0 \text{ kg/m}^2$ , max.  $35,0 \text{ kg/m}^2$ ) und stieg nach 6 Monaten um 0,7% auf  $28,1 \text{ kg/m}^2$  an ( $p=0,127$ ), siehe Tabelle 22.



Tabelle 22: Entwicklung des BMI der Subgruppen im Studienverlauf

BMI in kg/m <sup>2</sup> der Probanden ≥80Jahre						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	19	25,8	3,6	21,0	34,0	
3 Monate	19	25,6	4,4	21,5	34,9	
6 Monate	19	26,1	3,9	22,0	35,0	<b>0,017</b>
BMI in kg/m <sup>2</sup> der prä-sarkopenen Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	30	26,6	3,8	21,0	33,0	
3 Monate	30	26,4	4,4	21,1	31,9	
6 Monate	30	27,1	3,4	21,0	32,0	<b>0,039</b>
BMI in kg/m <sup>2</sup> der multimorbiden Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	27	27,9	5,1	21,0	35,0	
3 Monate	27	28,1	5,8	21,5	35,1	
6 Monate	27	28,1	4,6	22,0	35,0	0,127

### 3.6.5 Entwicklung des SMI in den Subgruppen

Der SMI der Probanden ≥80 Jahre lag zu Beginn der Studie bei 9,5kg/m<sup>2</sup> (IQR 0,7kg/m<sup>2</sup>, Min. 8,2kg/m<sup>2</sup>, Max. 11,1kg/m<sup>2</sup>). Nach 6 Monaten sank der Median des SMI in dieser Subgruppe um 1,1% auf 9,4kg/m<sup>2</sup> (p=0,214). Bei den prä-sarkopenen Probanden lag der SMI zu Beginn bei 9,7kg/m<sup>2</sup> (IQR 0,9kg/m<sup>2</sup>, Min. 7,7kg/m<sup>2</sup>, Max. 10,8kg/m<sup>2</sup>) und stieg um 2,1% auf 9,9kg/m<sup>2</sup> im Verlauf der Studie (p=0,036). Bei den multimorbiden Probanden betrug der SMI zu Beginn 10,0kg/m<sup>2</sup> (IQR 1,3kg/m<sup>2</sup>, Min. 7,7kg/m<sup>2</sup>, Max. 12,1kg/m<sup>2</sup>) und stieg nach 6 Monaten um 2,0% auf 10,2kg/m<sup>2</sup> (p=0,648). Siehe Tabelle 23 und Abbildung 29.

Tabelle 23: Entwicklung des SMI der Subgruppen im Studienverlauf

SMI (kg/m <sup>2</sup> ) der Probanden ≥80 Jahre						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	15	9,5	0,7	8,2	11,1	
3 Monate	15	9,4	0,9	8,4	11,6	
6 Monate	15	9,4	1,4	8,5	12,6	0,214
SMI (kg/m <sup>2</sup> ) der prä Sarkopenen Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	30	9,7	0,9	7,7	10,8	
3 Monate	30	9,7	0,9	7,7	11,1	
6 Monate	30	9,9	1,0	8,0	11,1	<b>0,036</b>
SMI (kg/m <sup>2</sup> ) der multimorbiden Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	25	10,0	1,3	7,7	12,1	
3 Monate	25	9,9	1,6	7,7	11,9	
6 Monate	25	10,2	1,7	8,0	12,6	0,648

## Entwicklung des SMI im Studienverlauf nach Subgruppen

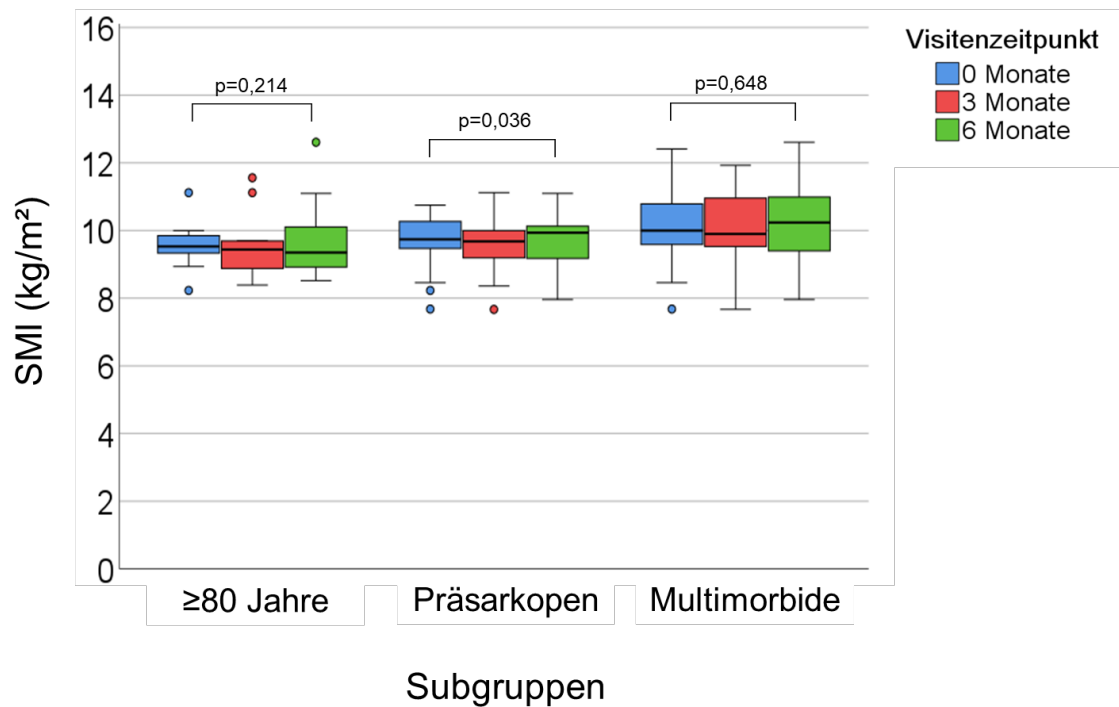


Abbildung 29: Entwicklung des SMI in den Subgruppen

### 3.6.6 Entwicklung der Extensionskraft in den Subgruppen

Bei den Probanden  $\geq 80$  Jahren lag zu Beginn der Studie die mittlere Rumpfkraft in Extension bei 241,0Nm (IQR 124,0Nm, Min. 114,0Nm, Max. 325,0Nm). Nach 6 Monaten steigerte sich diese um 3,3% auf 249,0Nm (IQR 92,0Nm, Min. 155,0Nm, Max. 51,0Nm) ( $p=0,185$ ). Insgesamt konnten für 17 von 19 Probanden  $\geq 80$  Jahren die Rumpfmessungen zu den drei Zeitpunkten in den Ergebnisteil eingeschlossen werden.

Bei den prä Sarkopenen Probanden lag die Rumpfkraft in Extension zu Beginn bei 252,0Nm (IQR 90,0Nm, Min. 119,0Nm, Max. 339,0Nm). Nach 6 Monaten stieg diese um 7,5% auf 271,0Nm an (IQR 98,0Nm, Min. 160,0Nm, Max. 382,0Nm) ( $p=0,093$ ). Für 25 der 30 prä Sarkopenen Probanden konnten die vollständigen Messungen in den Ergebnisteil eingeschlossen werden. Am größten war der Anstieg der Extensionskraft bei den multimorbiden Probanden. In dieser Subgruppe lag der Median der Extensionskraft zu Beginn bei 246,0Nm (IQR 154,5Nm, Min. 114,0Nm, Max. 354,0Nm)

und stieg um 17,9% auf 290,0Nm nach 6 Monaten an (IQR 138,0, Min. 155,0Nm, Max. 406,0Nm) ( $p < 0,001$ ). Für 21 der 25 multimorbiden Probanden konnten die vollständigen Messungen eingeschlossen werden. Für eine detaillierte Darstellung siehe Tabelle 24 und Abbildung 30.

Tabelle 24: Entwicklung der Rumpfkraft in Extension in den Subgruppen im Verlauf der Studie

Extensionskraft in Nm der Probanden $\geq 80$ Jahre						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	17	241,0	124,0	114,0	325,0	
3 Monate	17	241,0	99,0	109,0	285,0	
6 Monate	17	249,0	92,0	155,0	351,0	0,185
Extensionskraft in Nm der prä-sarkopenen Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	25	252,0	90,0	119,0	339,0	
3 Monate	25	267,0	56,5	126,0	370,0	
6 Monate	25	271,0	98,0	160,0	382,0	0,093
Extensionskraft in Nm der multimorbiden Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	21	246,0	154,5	114,0	354,0	
3 Monate	21	272,0	107,5	109,0	396,0	
6 Monate	21	290,0	138,0	155,0	406,0	<b>&lt;0,001</b>

## Entwicklung der Extensionskraft im Studienverlauf nach Subgruppen

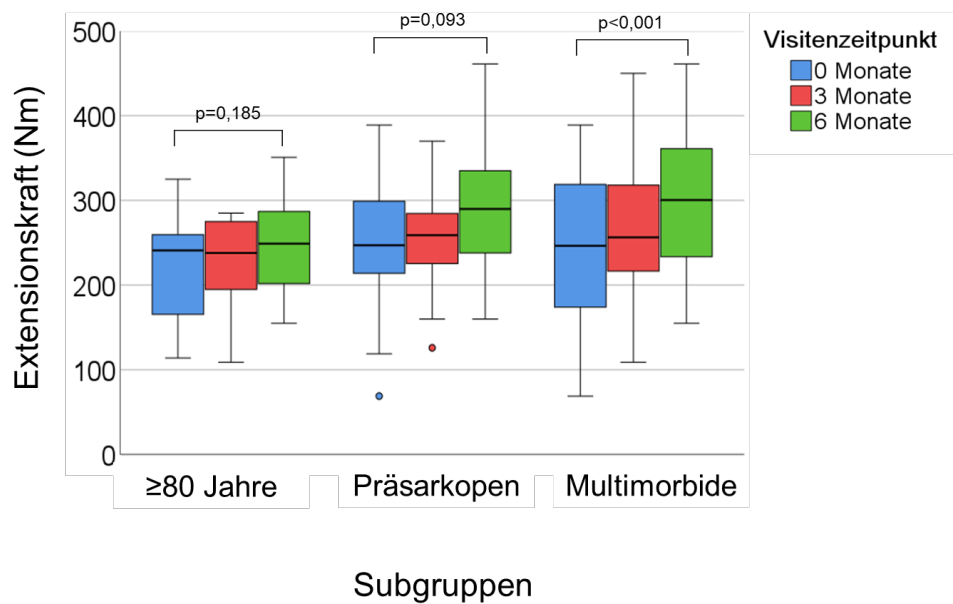


Abbildung 30: Entwicklung der Extensionskraft in den Subgruppen

### 3.6.7 Entwicklung der Flexionskraft in den Subgruppen

Bei den Probanden  $\geq 80$  Jahren lag zu Beginn der Studie die mittlere Rumpfkraft in Flexion bei 126,0Nm (IQR 51,0Nm, Min. 87,0Nm, Max. 253,0Nm). Nach 6 Monaten zeigte sich eine signifikante Steigerung um 10,3% auf 139,0Nm (IQR 31,0Nm, Min. 75,0Nm, Max. 242,0Nm) ( $p=0,017$ ). Die prä Sarkopenen Probanden zeigten zu Beginn einen Median der Flexionskraft von 136,0Nm (IQR 45,0Nm, Min. 87,0Nm, Max. 253,0Nm). In der Abschlussmessung stieg dieser ebenfalls signifikant um 2,9% auf 140,0Nm (IQR 61,5Nm, min. 75,0Nm, max. 253,0Nm) ( $p=0,035$ ). Auch hier die zeigten die multimorbiden Probanden die größte Zunahme innerhalb der Subgruppen. Bei ihnen zeigte sich eine signifikante Zunahme der Flexionskraft von 120,0Nm (IQR 53,0Nm, Min. 87,0Nm, Max. 253Nm) um 16,3% auf 150,0Nm (IQR 55,0Nm, Min. 75,0Nm, Max. 340,0Nm) ( $p=0,001$ ). Eine detaillierte Darstellung ist in Tabelle 25 und in Abbildung 31 dargestellt.

Tabelle 25: Entwicklung der Rumpfkraft in Flexion in den Subgruppen im Verlauf der Studie

Flexionskraft in Nm der Probanden ≥80 Jahre						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	17	126,0	51,0	87,0	253,0	<b>0,017</b>
3 Monate	17	106,0	42,5	63,0	194,0	
6 Monate	17	139,0	31,0	75,0	242,0	
Flexionskraft in Nm der prä Sarkopenen Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	25	136,0	45,0	87,0	253,0	<b>0,035</b>
3 Monate	25	136,0	51,0	63,0	211,0	
6 Monate	25	140,0	61,5	75,0	253,0	
Flexionskraft in Nm der multimorbiden Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	21	129,0	53,0	87,0	253,0	<b>0,001</b>
3 Monate	21	136,0	57,0	63,0	211,0	
6 Monate	21	150,0	55,0	75,0	340,0	

Entwicklung der Flexionskraft im Studienverlauf nach Subgruppen

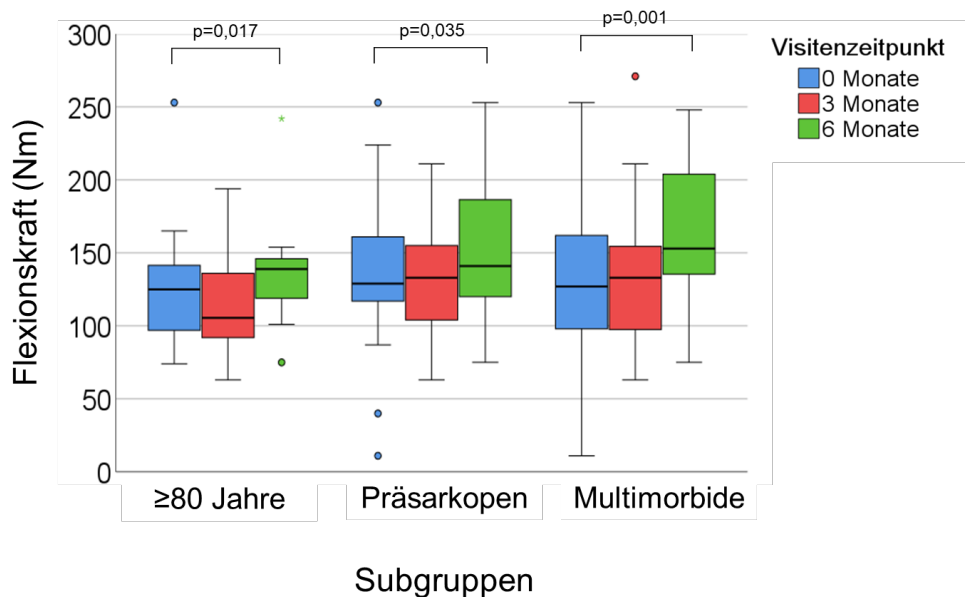


Abbildung 31: Entwicklung der Flexionskraft in den Subgruppen

### 3.6.8 Entwicklung des Bewegungsumfangs des Rumpfes in den Subgruppen

In der Subgruppe der Probanden  $\geq 80$  Jahre konnte der Bewegungsumfang von  $48,0^\circ$  auf  $53,0^\circ$  um 10,4% gesteigert werden ( $p=0,611$ ). Bei den prä Sarkopenen Probanden sank der Bewegungsumfang leicht um 1,9% von  $54,0^\circ$  auf  $53,0^\circ$  ( $p=0,738$ ). Bei den multimorbiden Probanden konnte er um 10,6% von  $47,0^\circ$  auf  $52,0^\circ$  gesteigert werden ( $p=0,936$ ). Eine detaillierte Darstellung ist in Tabelle 26 und Abbildung 32 zu sehen.

Tabelle 26: Entwicklung des Bewegungsumfangs in den Subgruppen im Verlauf der Studie

Bewegungsumfang in Grad der Probanden $\geq 80$ Jahre						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	17	48,0	23,5	38,0	84,0	0,611
3 Monate	17	55,0	16,0	33,0	76,0	
6 Monate	17	53,0	15,5	39,0	77,0	
Bewegungsumfang in Grad der prä Sarkopenen Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	25	54,0	18,0	35,0	84,0	0,738
3 Monate	25	55,0	21,0	33,0	75,0	
6 Monate	25	53,0	15,5	39,0	74,0	
Bewegungsumfang in Grad der multimorbiden Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	21	47,0	15,0	36,0	77,0	0,936
3 Monate	21	51,0	14,5	33,0	75,0	
6 Monate	21	52,0	11,5	39,0	74,0	

## Entwicklung der Rumpfbeweglichkeit im Studienverlauf nach Subgruppen

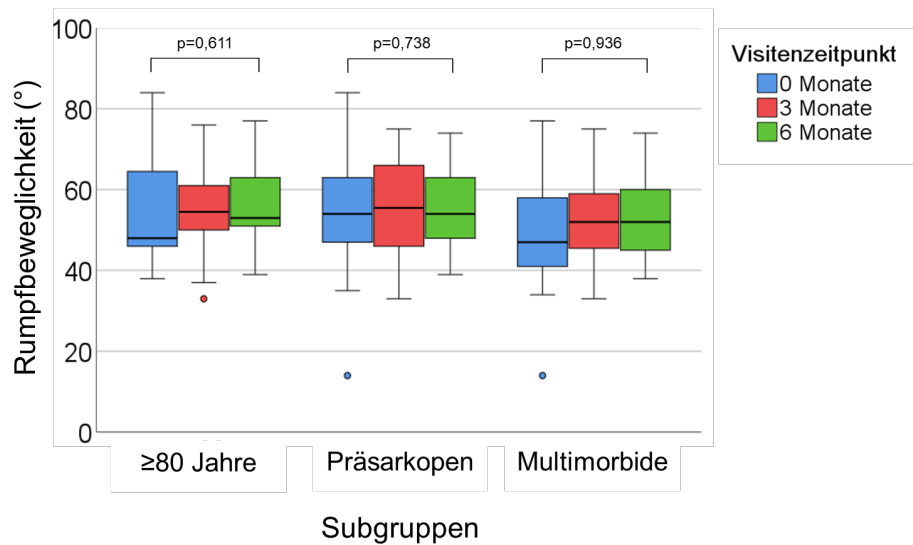


Abbildung 32: Entwicklung des Bewegungsumfang in den Subgruppen

### 3.6.9 Entwicklung der Handkraft in den Subgruppen

Die Probanden  $\geq 80$  Jahre konnten nach 6 Monaten Trainingsintervention ihre Handkraft von 29,4kg auf 30,2kg um 2,7% steigern ( $p=0,076$ ). In der Subgruppe der prä Sarkopenen Probanden stieg die Handkraft signifikant um 3,8% von 31,6kg auf 32,8kg ( $p=0,026$ ). Auch bei den multimorbiden Probanden stieg die Handkraft signifikant um 11,9% von 29,4kg auf 32,9kg ( $p=0,034$ ). Siehe Tabelle 27 und Abbildung 33.



Tabelle 27: Entwicklung der Handkraft in den Subgruppen im Verlauf der Studie

Handkraft in kg der Probanden $\geq 80$ Jahre						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	19	29,4	6,5	20,9	36,2	0,076
3 Monate	19	29,2	5,9	24,7	36,1	
6 Monate	19	30,2	7,9	23,4	41,9	
Handkraft in kg der prä Sarkopenen Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	30	31,6	9,2	13,5	44,0	<b>0,026</b>
3 Monate	30	33,3	10,1	7,9	47,1	
6 Monate	30	32,8	7,9	7,3	48,0	
Handkraft in kg der multimorbiden Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	27	29,4	9,3	13,5	43,3	<b>0,034</b>
3 Monate	27	30,2	10,2	7,9	46,2	
6 Monate	27	32,9	9,0	7,3	41,9	

Entwicklung der Handkraft im Studienverlauf nach Subgruppen

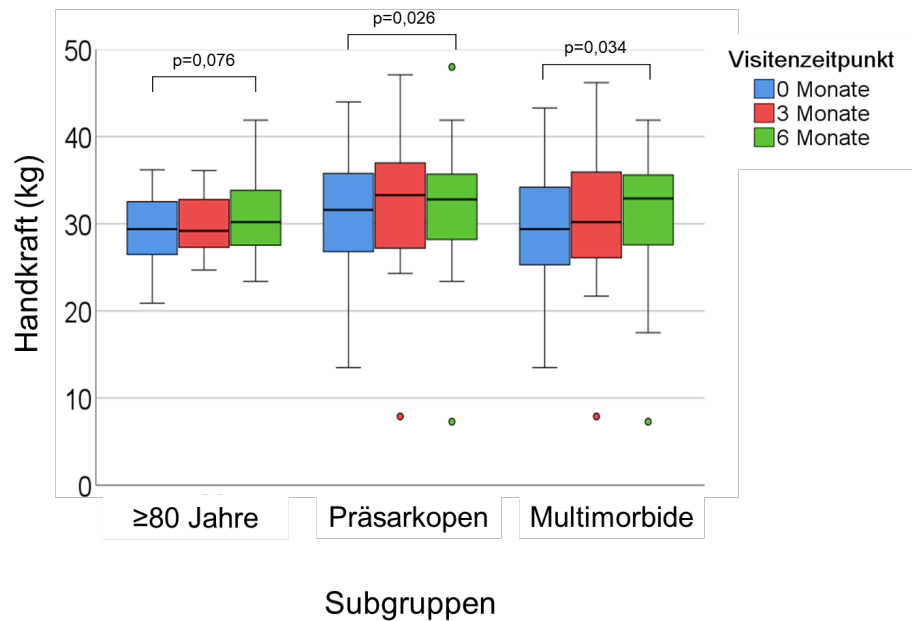


Abbildung 33: Entwicklung der Handkraft in den Subgruppen

### 3.6.10 Entwicklung der Gehgeschwindigkeit in den Subgruppen

Im Verlauf der Studie nahm die Gehgeschwindigkeit bei den Probanden  $\geq 80$  Jahre um 4,9% ab ( $p=0,750$ ). Bei den prä Sarkopenen Probanden stieg die Gehgeschwindigkeit hingegen leicht um 0,8% von 1,22m/s auf 1,23m/s an ( $p=0,109$ ). Die multimorbiden Probanden konnten ihre Gehgeschwindigkeit ebenfalls um 0,8% von 1,22m/s auf 1,23m/s verbessern ( $p=0,074$ ). Siehe Tabelle 28 und Abbildung 34.

Tabelle 28: Entwicklung der Gehgeschwindigkeit in den Subgruppen im Verlauf der Studie

Gehgeschwindigkeit in m/s der Probanden $\geq 80$ Jahre						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	19	1,22	0,25	0,63	1,56	0,750
3 Monate	19	1,13	0,16	0,81	1,46	
6 Monate	19	1,16	0,18	0,88	1,51	
Gehgeschwindigkeit in m/s der prä Sarkopenen Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	30	1,22	0,19	0,40	1,42	0,109
3 Monate	30	1,17	0,30	0,50	1,56	
6 Monate	30	1,23	0,23	0,49	1,77	
Gehgeschwindigkeit in m/s der multimorbiden Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	27	1,22	0,21	0,40	1,49	0,074
3 Monate	27	1,19	0,34	0,50	1,53	
6 Monate	27	1,23	0,21	0,49	1,69	

## Entwicklung der Gehgeschwindigkeit im Studienverlauf nach Subgruppen

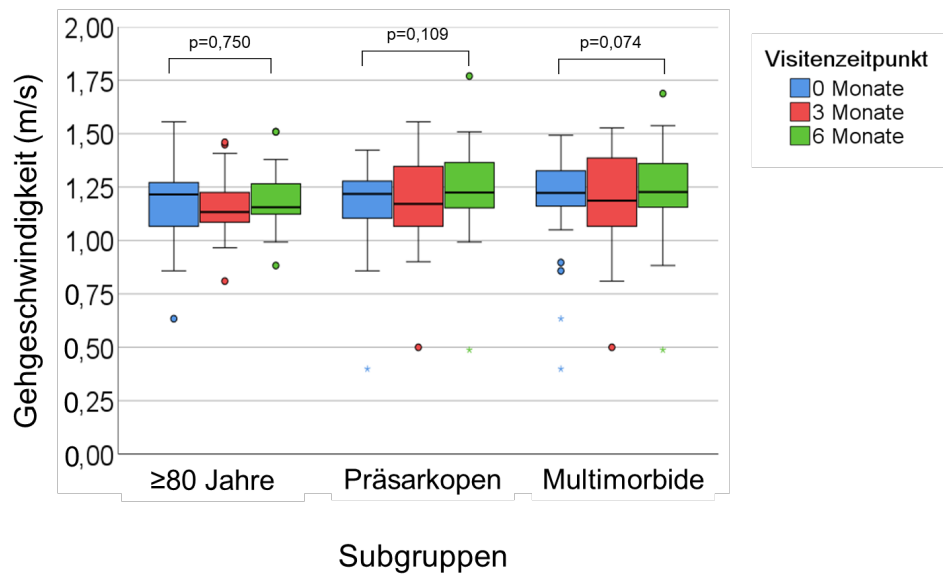


Abbildung 34: Entwicklung der Gehgeschwindigkeit in den Subgruppen

### 3.6.11 Entwicklung des CRT in den Subgruppen

Die Probanden  $\geq 80$  Jahre konnte ihre Zeit im CRT von 10,26s auf 8,95s um 12,9% nach 6 Monaten verbessern ( $p=0,092$ ). Bei den prä Sarkopenen Probanden kam es zu einer signifikanten Verbesserung um 7,7% von 8,66s auf 7,74s ( $p=0,002$ ). Auch bei den multimorbiden Probanden zeigte sich eine signifikante Verbesserung um 7,6% von 8,81s auf 8,14 ( $p=0,004$ ). Siehe Tabelle 29 und Abbildung 35.

Tabelle 29: Entwicklung des CRT in den Subgruppen im Verlauf der Studie

CRT in s der Probanden ≥80 Jahre						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	18	10,26	2,34	6,28	18,60	
3 Monate	18	9,49	3,14	5,56	17,02	
6 Monate	18	8,95	3,13	5,53	15,44	0,092
CRT in s der prä Sarkopenen Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	28	8,66	2,39	6,28	18,60	
3 Monate	28	8,97	2,52	6,14	17,02	
6 Monate	28	7,99	2,98	6,21	15,44	<b>0,002</b>
CRT in s der multimorbiden Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	25	8,81	3,51	6,03	18,60	
3 Monate	25	8,66	2,17	5,75	17,02	
6 Monate	25	8,14	3,61	5,82	15,44	<b>0,004</b>

## Entwicklung des CRT im Studienverlauf nach Subgruppen

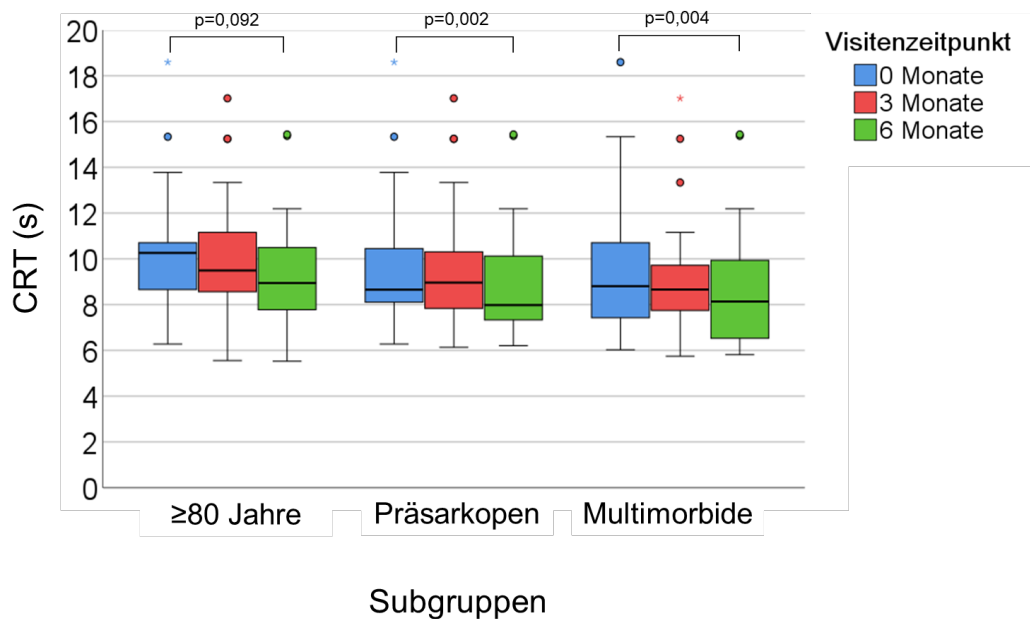


Abbildung 35: Entwicklung des CRT in den Subgruppen

### 3.6.12 Entwicklung der Gleichgewichtstests in den Subgruppen

#### Side-by-Side Test

Die einzelnen Subgruppen zeigten lediglich geringe Veränderungen im Side-by-Side Test im Studienverlauf. In allen Gruppen kam es zu einer leichten Verschlechterung, bei den Probanden  $\geq 80$  Jahren von 10,0s um 5,0% auf 9,5s ( $p=0,368$ ), bei den prä Sarkopenen um 3,0% von 10,0s auf 9,7s ( $p=0,368$ ) und bei den multimorbiden um 4,0% von 10,0s auf 9,6s ( $p=0,368$ ), siehe auch Tabelle 30.

Tabelle 30: Entwicklung des Side-by-Side Test in den Subgruppen im Verlauf der Studie

Side-by-Side Test in s der Probanden $\geq 80$ Jahre						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	19	10,0	0,0	10,0	10,0	
3 Monate	19	9,7	1,4	4,00	10,0	
6 Monate	19	9,5	2,3	0,00	10,0	0,368
Side-by-Side Test in s der prä Sarkopenen Probanden						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	30	10,0	0,0	10,0	10,0	
3 Monate	30	9,8	1,1	4,0	10,0	
6 Monate	30	9,7	1,8	0,0	10,0	0,368
Side-by-Side Test in s der multimorbiden Probanden						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	27	10,0	0,0	10,0	10,0	
3 Monate	27	9,8	1,2	4,0	10,0	
6 Monate	27	9,6	1,9	0,0	10,0	0,368

### *Semi-Tandem Test*

Im Semi-Tandem Test kam es ebenfalls zu geringgradigen Verschlechterungen in allen Gruppen. Die Probanden über  $\geq 80$  Jahre zeigten einen Rückgang ihrer Haltedauer um 3,3% von 9,0s auf 8,7s ( $p=0,444$ ), bei prä Sarkopenen verringerte sich die Zeit um 5,2% von im Mittel 9,7s auf 9,2s ( $p=0,368$ ), auch bei den multimorbiden kam es zu einem Zeitverlust um 2,2% von 9,3s auf 9,1s ( $p=0,444$ ), siehe hierzu Tabelle 31.

Tabelle 31: Entwicklung des Semi-Tandem Test in den Subgruppen im Verlauf der Studie

Semi-Tandem Test in s der Probanden $\geq 80$ Jahre						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	19	9,0	2,8	0,0	10,0	
3 Monate	19	9,4	2,3	0,0	10,0	
6 Monate	19	8,7	3,3	0,0	10,0	0,444
Semi-Tandem Test in s der prä Sarkopenen Probanden						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	30	9,7	1,4	3,0	10,0	
3 Monate	30	9,6	1,8	0,0	10,0	
6 Monate	30	9,2	2,6	0,0	10,0	0,368
Semi-Tandem Test in s der multimorbiden Probanden						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	27	9,3	2,3	0,0	10,0	
3 Monate	27	9,6	1,9	0,0	10,0	
6 Monate	27	9,1	2,8	0,0	10,0	0,444

### *Tandem Test*

Auch im Tandem Test kam es zu Verschlechterungen der Haltedauer in allen 3 Subgruppen. Die  $\geq 80$ -jährigen Probanden verringerten ihre Haltedauer um 32,9% von 7,0s auf 4,7s im Durchschnitt ( $p=0,320$ ), die prä Sarkopenen um 7,0% von 8,6s auf 8,0s ( $p=0,607$ ) und die multimorbiden um 12,0% von 8,3s auf 7,3s ( $p=0,347$ ). Siehe hierzu Tabelle 32.

Tabelle 32: Entwicklung des Tandem Test in den Subgruppen im Verlauf der Studie

Tandem Test in s der Probanden $\geq 80$ Jahre						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	19	7,0	4,1	0,0	10,0	
3 Monate	19	7,0	4,0	0,0	10,0	
6 Monate	19	4,7	4,6	0,0	10,0	0,320
Tandem Test in s der prä Sarkopenen Probanden						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	30	8,6	3,0	0,0	10,0	
3 Monate	30	8,3	3,3	0,0	10,0	
6 Monate	30	8,0	3,7	0,0	10,0	0,607
Tandem Test in s der multimorbiden Probanden						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	27	8,3	3,6	0,0	10,0	
3 Monate	27	8,1	3,6	0,0	10,0	
6 Monate	27	7,3	4,2	0,0	10,0	0,347

### 3.6.13 *Entwicklung der SPPB in den Subgruppen*

Im Großen und Ganzen kam es in der SPPB nach 6 Monaten Training nur zu geringen Verbesserungen, die Probanden  $\geq 80$  Jahre blieben im Verlauf der Studie überwiegend konstant beim Ausgangswert von 10,7 Punkten, lediglich nach 3 Monaten kam es kurzfristig zu einem Anstieg von 0,2 Punkten, der sich nach 6 Monaten wieder ausnivellierte ( $p=0,728$ ), die prä Sarkopenen Probanden konnten ihre Leistung in der SPPB nach 6 Monaten um 0,9% von 11,1 Punkte auf 11,2 Punkte verbessern ( $p=0,928$ ). Die multimorbiden Patienten verbesserten sich um 0,9% von 10,9 Punkte auf 11,0 Punkte ( $p=0,350$ ), siehe Tabelle 33 und Abbildung 36.



Tabelle 33: Entwicklung des SPPB-Punktestands in den Subgruppen im Verlauf der Studie

SPPB in Punkten (max 12P) der Probanden ≥80 Jahre						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	18	10,7	1,8	6,0	12,0	0,728
3 Monate	18	10,9	1,4	7,0	12,0	
6 Monate	18	10,7	1,5	7,0	12,0	
SPPB in Punkten (max 12P) der prä Sarkopenen Probanden						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	29	11,1	1,7	6,0	12,0	0,928
3 Monate	29	11,2	1,4	7,0	12,0	
6 Monate	29	11,2	1,5	7,0	12,0	
SPPB in Punkten (max 12P) der multimorbiden Probanden						
Zeitpunkt	N	Mittelwert	SD	Min	Max	p-Wert
0 Monate	26	10,9	1,9	6,0	12,0	0,350
3 Monate	26	11,2	1,5	7,0	12,0	
6 Monate	26	11,0	1,6	7,0	12,0	

Entwicklung der SPPB im Studienverlauf nach Subgruppen

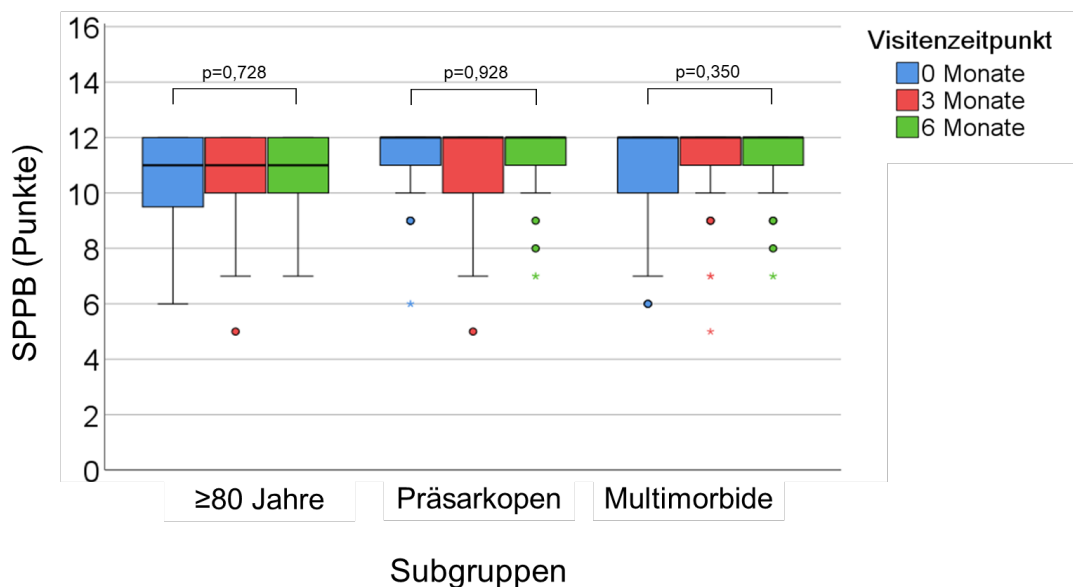


Abbildung 36: Entwicklung der Summe der SPPB in den Subgruppen

### 3.6.14 Entwicklung des TUG in den Subgruppen

Die Probanden  $\geq 80$  Jahre konnten im TUG ihre Zeit nach 6 Monaten Training von 9,8s auf 8,7s um 11,2% reduzieren ( $p=0,036$ ). Bei den prä Sarkopenen Probanden verringerte sich die Zeit um 1,2% von 8,4s auf 8,3s ( $p=0,273$ ). Bei den multimorbiden Probanden zeigte sich eine überwiegend konstante Zeit mit 8,2s ( $p=0,163$ ). Siehe Tabelle 34 und Abbildung 37.

Tabelle 34: Entwicklung des TUG in den Subgruppen im Verlauf der Studie

TUG in s der Probanden $\geq 80$ Jahre						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	19	9,8	3,1	6,2	14,9	
3 Monate	19	8,4	2,1	6,7	16,9	
6 Monate	19	8,7	3,1	6,1	14,0	<b>0,036</b>
TUG in s der prä Sarkopenen Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	30	8,4	3,3	6,2	24,8	
3 Monate	30	8,3	1,5	6,1	22,9	
6 Monate	30	8,3	2,1	6,6	21,2	0,273
TUG in s der multimorbiden Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	27	8,2	3,3	6,2	24,8	
3 Monate	27	7,9	1,8	6,2	22,9	
6 Monate	27	8,2	1,9	6,2	21,2	0,163

## Entwicklung des TUG im Studienverlauf nach Subgruppen

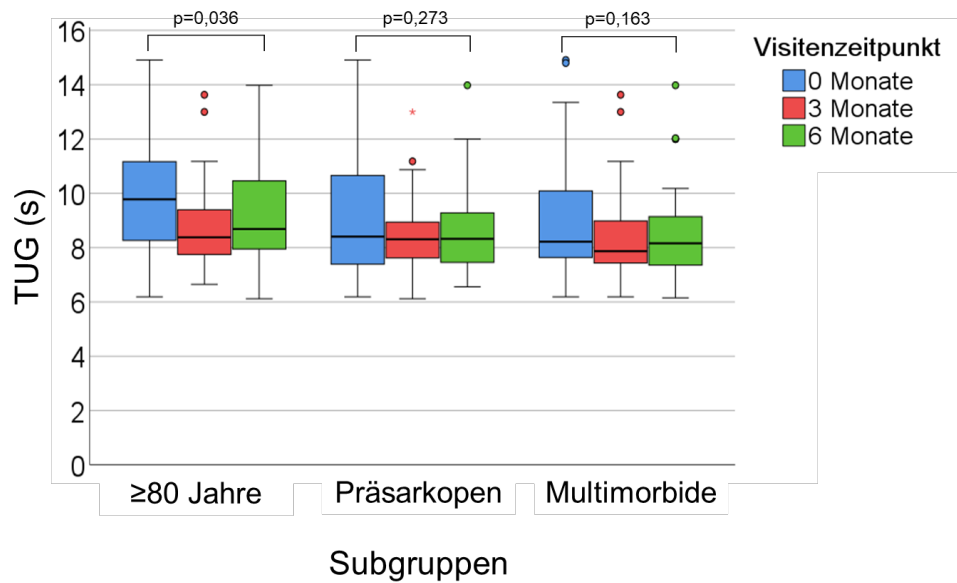


Abbildung 37: Entwicklung des TUG in den Subgruppen

### 3.6.15 Entwicklung des 6MW in den Subgruppen

Im 6MW kam es bei den Probanden  $\geq 80$  Jahre zu einer Verringerung der zurückgelegten Gehstrecke um 3,0% von 528,0m auf 512,0m nach 6 Monaten Training ( $p=0,331$ ). Auch bei den prä Sarkopenen Probanden reduzierte sich die zurückgelegte Distanz im 6MW um 0,5% von 544,0m auf 541,0m ( $p=0,059$ ). Bei den multimorbiden Probanden kam es zu einer signifikanten Verringerung der zurückgelegten Gehstrecke um 6,25% von 544,0m auf 510,0m ( $p=0,034$ ). Siehe Tabelle 35 und Abbildung 38.

Tabelle 35: Entwicklung des 6MW in den Subgruppen im Verlauf der Studie

6MW in m der Probanden $\geq 80$ Jahre						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	19	528,0	100,0	318,0	720,0	
3 Monate	19	529,0	129,0	329,0	638,0	
6 Monate	19	512,0	179,0	303,0	734,0	0,331
6MW in m der prä Sarkopenen Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	30	544,0	120,5	191,0	689,0	
3 Monate	30	552,0	128,5	211,0	708,0	
6 Monate	30	541,0	160,5	197,0	703,0	0,059
6MW in m der multimorbiden Probanden						
Zeitpunkt	N	Median	IQR	Min	Max	p-Wert
0 Monate	27	544,0	133,0	191,0	720,0	
3 Monate	27	538,0	93,0	211,0	647,0	
6 Monate	27	510,0	145,0	197,0	703,0	<b>0,034</b>

## Entwicklung des 6MW im Studienverlauf nach Subgruppen

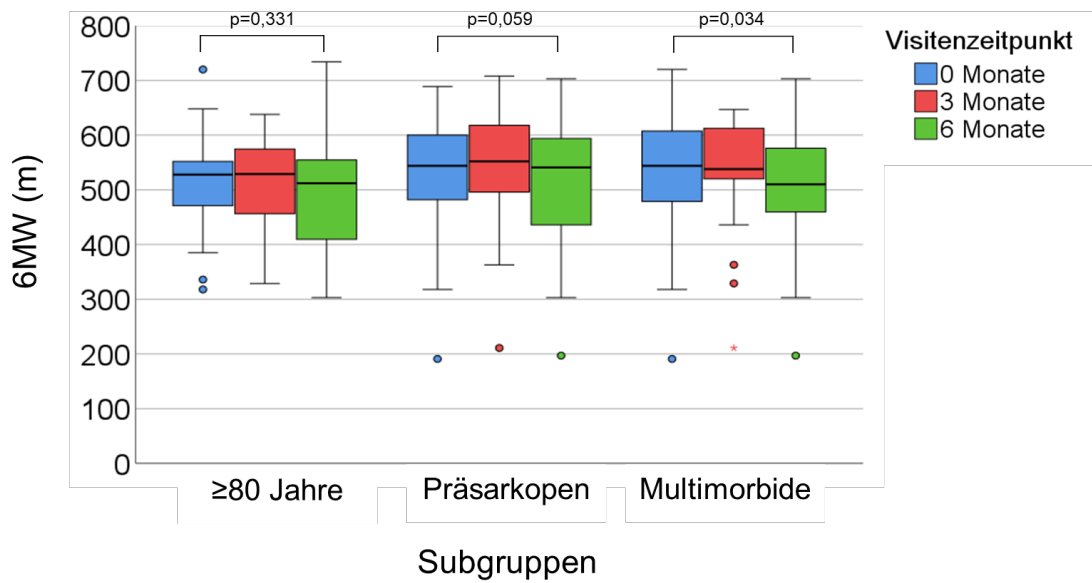


Abbildung 38: Entwicklung des 6MW in den Subgruppen

### 3.6.16 Übersicht der Entwicklung in den Subgruppen

In Abbildung 39 sind alle Veränderungen der Tests für die Subgruppen nochmal zusammenfassend dargestellt.

Test	≥ 80 Jahre	Präsarkopen	Multimorbid
Rückenkraft Extension	↑	↑	↑↑
Rückenkraft Flexion	↑↑	↑↑	↑↑
Bewegungsumfang	↑	=	↑
Gewicht	↑	↑	↑
BMI	↑	↑↑	↑
SMI	↓	↑↑	↑
Handkraft	↑	↑↑	↑↑
Gehgeschwindigkeit	↓	=	=
CRT	↑	↑↑	↑↑
SPPB	=	=	=
TUG	↑↑	↑	↑
6MW	↓	=	↓↓

Abbildung 39: Übersicht der Veränderungen in den Subgruppen nach 6 Monaten Training:

↑↑↑ hochsignifikante Veränderung mit  $p < 0,001$

↑↑ signifikante Veränderung mit  $p < 0,05$ ,

↑ Verbesserung

↓ Verschlechterung

↓↓ signifikante Verschlechterung

= keine Veränderung

## 4 Diskussion

In der dargestellten randomisierten, kontrollierten Studie wurden 4 verschiedene alltagstaugliche Trainingsmethoden bzgl. ihrer Effektivität bei älteren Männern über 65 Jahren mit einem erhöhten Frakturrisiko nach DVO verglichen (164). Primärer Endpunkt war die Entwicklung der Rumpfkraft nach 6 Monaten in Abhängigkeit von der angewandten Trainingsmodalität. Sekundäre Endpunkte waren verschiedene, wissenschaftlich gut etablierte Parameter der körperlichen Leistungsfähigkeit die Rückschlüsse auf die Alltagsmobilität der Probanden erlauben (48, 49, 76). Insgesamt konnten n=47 Probanden in die Studie eingeschlossen, untersucht und ausgewertet werden. Diese wurden in vier verschiedene Trainingsgruppen randomisiert. Die KT-Gruppe umfasste 11 Teilnehmer. Diese führten zweimal wöchentlich ein konventionelles Krafttraining an Geräten mit einstellbaren Gewichten durch. Die WBV-Gruppe umfasste 13 Teilnehmer, welche zweimal pro Woche auf einer seitenalternierenden Vibrationsplatte trainierten. In der WBV-Gruppe trainierten jeweils zwei Probanden in einer Räumlichkeit gemeinsam. Die OT-Gruppe beinhaltete 13 Probanden. Diese sollten täglich eine flexible Rückenorthese („*Spinomed active*“) für mindestens drei Stunden bei freier Zeiteinteilung tragen. Die Qi Gong-Gruppe umfasste 10 Probanden. Das Qi Gong Training wurde zweimal wöchentlich in der Gruppe absolviert.

### 4.1 Entwicklung der Rumpfkraft und Rumpfbeweglichkeit

In der Analyse des primären Endpunkts, der Messung der isometrischen Rumpfkraft in Extension und Flexion zeigte sich in der gesamten Studienpopulation in beiden Kategorien eine signifikante Verbesserung der Rückenkraft nach 6 Monaten, ohne Berücksichtigung der jeweils zugeteilten Trainingsmodalität.

Das konventionelle Krafttraining (KT) zeigte innerhalb der einzelnen Gruppen die größten Verbesserungen in der Rumpfkraft. Die Extensionskraft verbesserte sich signifikant um 28,0% von 261,0Nm auf 334,0Nm nach 6 Monaten Training ( $p=0,008$ ).

Auch die Flexionskraft stieg in der KT-Gruppe signifikant um 17,2% von 145,0Nm auf 170,0Nm an ( $p=0,008$ ). In beiden Fällen zeigte sich über den gesamten Studienverlauf eine kontinuierliche Zunahme der Rumpfkraft in dieser Trainingsgruppe. Innerhalb des Krafttrainings wurden drei Hauptübungen durchgeführt, welche jeweils isoliert die Rumpfextension, -flexion und -rotation trainierte. Die isolierte Beanspruchung der

Muskeln wurde durch Fixierung des Beckens in der Extensionsübung und durch Fixierung der Beine in der Flexions- und Rotationsübung ermöglicht. Dementsprechend war das Training sehr spezifisch auf das Erreichen einer Verbesserung in diesem primären Endpunkt, der Verbesserung der Rumpfkraft, ausgerichtet im Sinne eines Goldstandards. Dies umso mehr als die Wirkungsweise für Krafttraining vielfach in der wissenschaftlichen Literatur beschrieben und bestätigt ist. Diese Intervention ist daher in der vorliegenden Studie bzgl. der Verbesserung der Rumpfkraft als Positivkontrolle und Referenz anzusehen. *Pollock et al.* beobachteten schon 1989 in ihrer Untersuchung eine deutliche Kraftzunahme der Rückenextensoren, wenn diese isoliert und gezielt trainiert wurden. Bei der isometrischen Messung der Extensionskraft betrug der Zuwachs in dieser Studie 102%, bei der Flexionskraft betrug die Zunahme 42%. Das Durchschnittsalter der Probanden lag allerdings in diesem Fall bei 30 Jahren (165). *Vincent et al.* untersuchten spezifisch das Krafttraining bei älteren Personen und fanden ebenfalls eine Steigerung der Rückenextensionskraft in einer Größenordnung von 39,5% bis zu 62,6% je nach Trainingsintensität, in diesem Fall lag das Probandenalter bei 60 bis 83 Jahren (166). Die Rumpfmuskulatur ist für alltägliche Aktivitäten, insbesondere für die Balance des Körpers und die Mobilität essentiell, was sich gerade im Alter wenn diese Fähigkeiten an Grenzen stoßen besonders relevant und bemerkbar wird (13). Eine aktuellere Studie von *Shahtahmassebi et al.* untersuchte ebenfalls die Veränderungen der Rückenmuskulatur durch gezieltes Training im Alter. Sie konnten eine Zunahme der Muskelgröße und -kraft, sowie eine Verbesserung der Bewegungsfunktion durch das Training nachweisen (167). Entsprechend war die Zunahme der Rumpfkraft durch das konventionelle Krafttraining vor dem Hintergrund der Kenntnisse aus der Literatur grundsätzlich erwartbar, gleichzeitig ist uns aber keine andere Arbeit bekannt, die das so konkret in einer solch hochaltrigen Kohorte auch tatsächlich nachgewiesen hat. In diesem Zusammenhang ist auch festzustellen, dass das Ausmaß des erreichbaren Zugewinns sowohl in den verschiedenen oben zitierten Arbeiten und in Fortführung davon auch in unserer Arbeit, mit zunehmendem Alter der Probanden rückläufig ist. Inwiefern dies wiederum auf eine im Alter eher geringere und ggf. weniger an die Belastungsgrenze gehende Trainingsintensität zurückzuführen ist und in welchem Ausmaß tatsächlich die das Potential und die Trainierbarkeit der Muskulatur abnehmen kann an dieser Stelle nicht differenziert werden.

Auch in der WBV-Gruppe kam es zu nachweisbaren Verbesserungen der Rumpfkraft. Die Extensionskraft verbesserte sich ebenfalls kontinuierlich um 10,8% von 241,0Nm



auf 267,0Nm nach 6 Monaten Vibrationstraining ( $p=0,103$ ). Die Flexionskraft stieg um 2,2% von 136,0Nm auf 139,0Nm nach 6 Monaten an ( $p= 0,115$ ). Zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen hatten in der Vergangenheit bereits positive Effekte des Vibrationstrainings für die Kraftentwicklung insbesondere der unteren Extremität aber auch des Rumpfes nachweisen (168). *Rittweger et al.* zeigten eine Verbesserung der stabilisierenden Bauch- und Rückenmuskeln nach 3 Monaten Vibrationstraining bei Patienten mit chronischen Rückenschmerzen (169). *Osawa et al.* fanden einen noch größeren Anstieg der Rückenextensionskraft nach 3 Monaten bei einer Kombination von Ganzkörpervibrationstraining mit Krafttraining (Zugewinne von bis zu 34,1%), als beim alleinigen Krafttraining (Zugewinne bei lediglich bis zu 17,5%) (170). *Tsukahara et al.* und *Mikhael et al.* konnten zeigen, dass vor allem bei einer Trainingsposition mit gebeugten Knien die muskelkräftigenden Vibrationen vermehrt den Oberkörper erreichen (171, 172). Diese Effekte des Ganzkörpervibrationstrainings auf die Rumpfmuskulatur bestätigen sich auch in vorliegender Studie. Die Übungen auf der Vibrationsplattform wurden im aufrechten Stand in leichter Kniebeuge durchgeführt. Zudem führten die Probanden dynamische Kniebeugen auf der Plattform durch. Hierdurch konnte auch in der vorliegenden Studie eine klare Tendenz zur Verbesserung der Werte für die Rumpfkraft erreicht werden, wenngleich die Verbesserung nicht statistisch signifikant war, was wohl am ehesten durch die kleine Fallzahl erklärbar ist.

Die OT-Gruppe zeigte in den Rumpfmessungen deutliche Verbesserungen nach 6 Monaten. Die Extensionskraft stieg um 9,5% von 296,0Nm auf 324,0Nm ( $p=0,223$ ). Die Flexionskraft zeigte eine Zunahme um 13,1% von 145,0Nm auf 164,5Nm ( $p=0,072$ ). Der Bewegungsumfang zeigte eine leichte Steigerung um 7,1% nach 6 Monaten ( $p=0,072$ ). *Pfeifer et al.* (2011) untersuchten in ihrer Studie die Effekte des Tragens einer flexiblen Rumpforthese „*Spinomed active*“ auf die Rückenkraft bei Frauen über 60 Jahre, welche schon eine Wirbelkörperfraktur erlitten hatten. Sie konnten dabei einen signifikanten Kraftzuwachs der Rumpfextension (Zugewinne bis 64%,  $p<0,001$ ) und der Flexionskraft (Zugewinne bis 56%,  $p<0,001$ ) nachweisen. Auch der Kyphosewinkel reduzierte sich im Verlauf bei den Probandinnen um 11% ( $p<0,001$ ) (128). Weitere kürzlich veröffentlichte Studien zu diesem Thema (*Valentin et al. 2014, Dionyssiotis et al. 2015*) konnten einen Kraftzuwachs der Rumpfmuskulatur durch das Tragen einer flexiblen Rückenorthese bestätigen (142, 173). Während diese Studien auf Frauen mit Osteoporose als Probandinnen fokussierten, wurden in vorliegender Arbeit Männer eingeschlossen, bei welchen in der Regel noch keine manifeste Osteoporose vorlag, (164). Auch wenn in

der hier vorgestellten Arbeit keine signifikante Verbesserung der Ergebnisse nachgewiesen werden konnte, so zeigte sich doch über den Studienverlauf in allen Rumpfuntersuchungen (Extension, Flexion, Bewegungsumfang) eine klare dahingehende Tendenz in Übereinstimmung mit den Literaturdaten. Wenngleich es sich bei der Orthese nicht um ein klassisches zielgerichtetes Trainingsverfahren mit spezifischen Übungen handelt, so scheint von dem integrierten Federmechanismus und der damit assoziierten Stimulation und das Biofeedback für die Muskulatur ein positiver Reiz geschaffen zu werden, der einer Stimulation durch regelmäßiges zielgerichtetes körperliches Training nicht unähnlich ist. Obwohl bei diesem Verfahren keine klassische Progression im Rahmen des Trainings gewährleistet werden konnte, da die Probanden über die 6 Monate die gleiche Orthese trugen, stieg die Rumpfkraft dennoch kontinuierlich an. Eine mögliche Erklärung hierfür könnte die saisonale Veränderung im Studienverlauf gewesen sein. Die zweite Studienhälfte lag vornehmend in den Wintermonaten und das Tragen der Orthese in den kalten Wintermonaten war nach subjektiver Meinung der Probanden deutlich angenehmer und dadurch bedingt die Tragezeit höher als in den warmen Sommermonaten.

In der QG-Gruppe zeigten die Rumpfmessungen sogar eine marginale Abnahme der Kraft nach 6 Monaten. So sank die Extensionskraft um 4,4% von 252,0Nm auf 241,0Nm ( $p=0,417$ ) und die Flexionskraft sank um 2,1% von 143,0Nm auf 140,0Nm ( $p=0,236$ ). Eine Studie aus dem Jahr 2003 von *Song et al.* konnte nach einem Tai Chi Trainingsprogramm, was dem Qi Gong als Low-Impact Trainingsmodalität ähnlich ist, eine signifikante Verbesserung der Rumpfkraft feststellen (122). Diese Entwicklung konnte in der vorliegenden Arbeit nicht nachvollzogen werden. Auch eine Verbesserung des Bewegungsumfangs des Rumpfes konnte in vorliegender Arbeit nicht bestätigt werden. Die Übungen des QG-Trainings enthielten viele Bewegungen, welche das langsame Absenken und Aufrichten des Oberkörpers, im Sinne vor allem einer exzentrischen Muskelbeanspruchung beinhalteten. Ein aktiver konzentrischer Stimulus lag nicht vor. Die Intensität wurde nur wenig durch eine verlängerte Haltedauer oder durch das Hinzufügen von neuen Bewegungen gesteigert. Ein zu niedriger Stimulus von Beginn an, sowie eine unzureichende Progression des Trainings im Verlauf könnte die fehlende Verbesserung in dieser Gruppe erklären.

Somit zeigten die KT-, die WBV- und die OT-Gruppe einzeln betrachtet jeweils Verbesserungen in der Rumpfkraft. In der QT-Gruppe kam es zu einer leichten Abnahme.

Bezüglich der Frage der Überlegenheit eines Trainingskonzepts gegenüber den anderen muss man die Differenzen der Entwicklung der Gruppen gegenüberstellen. In diesem Gruppenvergleich der Entwicklungen der Rumpfkraft konnte keine klare statistische Überlegenheit einer Trainingsgruppe nachgewiesen werden. Lediglich in der Extensionskraft konnte die KT-Gruppe signifikant mehr zugewinnen als die QG-Gruppe ( $p=0,027$ ). Letztendlich bestätigte sich hierbei die Intention hinter dem Studiendesign, die KT-Gruppe als „Trainings-Goldstandard“ in die Studie aufzunehmen und als pragmatische „Kontrollgruppe“ zu nutzen. Was die Rumpfkraft in Flexion, sowie den Bewegungsumfang betraf zeigte sich kein signifikanter Unterschied bzgl. der Entwicklung der Ergebnisse zwischen den verschiedenen Gruppen, was auch ein Hinweis dafür ist, dass es in den meisten Gruppen zu einer tendenziellen Verbesserung kam und somit auch die alternativ hier getesteten Trainingsimpulse durchaus einen gewissen Effekt auf die Rumpfmuskulatur hatten, solange diese regelmäßig angewandt wurden. Der im Vergleich größte Zugewinn an Rumpfkraft in der KT-Gruppe bestätigt letztendlich in Übereinstimmung mit der aktuellen Literatur, dass spezifisches und zielgerichtetes Training in seiner Wirksamkeit nach wie als Referenzintervention zu sehen ist. Die Ergebnisse unterstreichen aber auch, dass ein derartiges Training auch bei Männern über 65 Jahren mit einem erhöhten Frakturrisiko noch zu signifikanten Zugewinnen der Rumpfkraft führen kann. Demnach ist Training auch im Alter durchaus sinnvoll um Verbesserungen in Kraft und Beweglichkeit zu erzielen, wobei hier ein systematisches widerstandsbasiertes Training in der vorliegenden Arbeit die größten Effekte erzielen konnte.

## *4.2 Entwicklung der sekundären Endpunkte*

Zu den sekundären Endpunkten der Studie zählten typische Parameter der Sarkopeniediagnostik, wie z.B. die Messung der Handkraft, die Messung der Gehgeschwindigkeit, der CRT, die SPPB, der TUG und der 6MW.

In der Gesamtkohorte kam es zu signifikanten Verbesserungen in einem Großteil der Tests. Die Handkraft stieg nach 6 Monaten Training um 1,5% ( $p=0,006$ ). Die Gehgeschwindigkeit stieg um 2,5% an ( $p=0,023$ ). Eine hochsignifikante Verbesserung zeigte sich beim CRT mit einer Verbesserung der Zeit um 8,9% ( $p<0,001$ ). Lediglich im

6MW kam es nach 6 Monaten Training in der Gesamtkohorte zu einer Verringerung der erreichten Gehstrecke um 3,7% von 544m auf 524m ( $p=0,017$ ). Beim 6MW wird die körperliche Leistung konstant über einen längeren Zeitraum gefordert und weniger die Kraft einzelner Muskeln in kurzer Zeit. Somit repräsentiert der 6MW eher die Ausdauer und die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit und wird nicht zuletzt auch limitiert durch Gelenkbeschwerden beim Gehen, wobei im höheren Alter insbesondere Arthrose der großen Gelenke oder im Fußbereich limitierend sein können. Die Verschlechterung des 6MW könnte sich also dadurch erklären, dass die Trainingsinterventionen einerseits keine spezifische Ausdauerkomponente enthielten und andererseits die Teilnehmer bei den saisonal vermehrt in den Wintermonaten stattfindenden Abschlussuntersuchungen mehr Gelenkbeschwerden hatten (174).

Im Großen und Ganzen fanden sich jedoch für die sekundären Endpunkt überwiegend Verbesserungen in der Gesamtkohorte, was sowohl für die Wirksamkeit des körperlichen Trainings spricht, wie auch dafür, dass ungeachtet der Ausgangsvoraussetzungen für selbständig lebende Männer über 65 Jahre und bei erhöhtem Frakturrisiko eine Möglichkeit zur kurzfristigen Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit in multiplen Bereichen selbst mit relativ einfachen Maßnahmen besteht, die nur ein sehr geringes Anforderungspotenzial voraussetzen.

In der Auswertung der verschiedenen Trainingsgruppen zeigten sich tatsächlich Unterschiede je nach durchgeführter Trainingsmodalität auch für die sekundären Endpunkte. In der KT-Gruppe stieg die Gehgeschwindigkeit um 8,2% von 1,22m/s auf 1,32m/s ( $p=0,015$ ). In der aktuellen Literatur findet man etliche Studien, die ebenso eine Erhöhung der Gehgeschwindigkeit durch Krafttraining zeigen konnten. In einer Metaanalyse von *Hortobagyi et al. von 2015*, welche 24 Studien zum Krafttraining im Alter untersuchte, wurde eine durchschnittliche Zunahme der Gehgeschwindigkeit von 0,11 m/s beschrieben (175). Allerdings war in diesen Studien die Kräftigung der Beinmuskulatur ein wesentlicher Bestandteil des Trainings. Die Verbesserung der Gehgeschwindigkeit war hauptsächlich durch eine Zunahme der Beinkraft zu erklären (176). In der vorliegenden Arbeit war das Krafttraining vor allem auf die Rumpfmuskulatur gerichtet. Nur eine Übung trainierte gezielt die Beinmuskulatur (Beinpresse). Ob diese eine Übung zu einem signifikanten Anstieg der Gehgeschwindigkeit geführt hat, oder ob die Kräftigung der Rumpfmuskulatur allein hierfür ausreichend war, ist rückwirkend nicht mehr sicher zu beantworten. Letztendlich

entspringt aber der M. Iliospoas als der führende Hüftbeuger an der Lendenwirbelsäule, weswegen dieser im Rahmen des Trainings der Rumpfbeuge ebenfalls beansprucht wird und somit zu einer Verbesserung der Gehgeschwindigkeit beigetragen haben könnte. Vorstellbar wäre jedoch auch, dass eine bessere und aufrechtere Körperhaltung durch die Kraftzunahme der Rumpfmuskulatur zu mehr Sicherheit und Stabilität beim Gehen und damit sekundär zu einer höheren Geschwindigkeit führt (13). *Song et al.* fanden 2010 ebenfalls eine Verbesserung der Gehgeschwindigkeit nach rumpfstabilisierendem Training bei Schlaganfallpatienten, was diese These unterstützen könnte (177). Auch im CRT und TUG Test fanden sich in der KT-Gruppe Verbesserungen. Zwar waren diese jeweils nicht signifikant, zeigten aber einen positiven Trend, welcher sich auch in der aktuellen wissenschaftlichen Literatur widerspiegelt. *Shahtahmassebi et al.* fanden in ihrer Arbeit eine klar identifizierbare Verbesserung im CRT und TUG infolge von Krafttraining für die Rumpfmuskulatur (167). Für das Aufstehen aus dem Sitzen benutzt der Mensch vor allem die Bein- und Hüftmuskeln. Doch auch die Bauch- und Rumpfmuskulatur werden bei dieser Bewegung mit beansprucht. Studien konnten zeigen, dass ältere Menschen den Rumpf und hierbei vor allem die Muskeln der Rumpfflexion mehr einsetzen, um von einem Stuhl aufzustehen, als z.B. jüngere Vergleichspersonen (178, 179). Die Zunahme der Rumpfkraft könnte somit auch die besseren Leistungen im TUG und CRT erklären. In der KT-Gruppe verschlechterte sich die Handkraft im Median um 4,7% ( $p=0,178$ ). Letztendlich war dieses Ergebnis überraschend, wäre man doch im Kontext der aktuellen Literatur auch hier infolge von Krafttraining von einer zu erwartenden Verbesserung ausgegangen (180). In der KT-Gruppe beanspruchte nur eine Übung (Schulterzug) die Griffkraft aktiv, was zwar grundsätzlich einen Erklärungsmöglichkeit für diese Entwicklung darstellen könnte, aber für sich allein dahingehend aber unzureichend erscheint. Von insgesamt  $n=11$  Teilnehmern aus der KT-Gruppe zeigten  $n=5$  eine niedrigere Handkraft zum Ende der Studie als zum Zeitpunkt der Interimsanalyse nach 3 Monaten, die restlichen  $n=6$  zeigten deutliche Verbesserungen. Fraglich gibt es hier erneut einen saisonalen Zusammenhang, vor allem wenn man berücksichtigt, dass es nach 3 Monaten bei  $n=8$  Probanden bereits zu Verbesserungen gekommen war, nur  $n=3$  zeigten minimale Rückgänge der Handkraft, wobei diese so gering waren, dass man nahezu von Schwankungen im Rahmen der physiologischen Schwankungsbreite ausgehen könnte (174). In der KT-Gruppe reduzierte sich die Distanz im 6MW von 590,0m auf 524,0m ( $p=0,076$ ). Diese Veränderung war nicht signifikant, aber könnte sich durch die fehlende Ausdauerkomponente beim alleinigem Krafttraining erklären.

In der WBV-Gruppe kam es ebenfalls zu signifikanten Verbesserungen in den sekundären Endpunkten. Hier verbesserte sich die Handkraft signifikant um 2,8% ( $p=0,023$ ). Führt man sich dabei vor Augen, dass der überwiegende Teil der Patienten sich während der Übungen an einem extra dafür vorgesehenen Handgriff festhielt, scheint dies auch durchaus nachvollziehbar. *Bautmans et al.* konnten 2005 ebenfalls eine Zunahme der Handkraft nach einem sechswöchigem Ganzkörpervibrationstraining bei Probanden in höherem Alter messen, was in Einklang mit unseren Ergebnissen steht (138). Auch der CRT verbesserte sich in der WBV-Gruppe signifikant. Die benötigte Zeit nahm um 8,9% ab ( $p=0,007$ ). Beim CRT wird vor allem die Bein-Schnellkraft benötigt, um zügig hintereinander vom Stuhl aufzustehen. *Lau et al.* belegten 2011 in ihrer Metaanalyse, dass Ganzkörpervibrationstraining die Beinkraft bei älteren Menschen erhöht. Sie fanden eine Verbesserung der isometrischen Beinkraft, der dynamischen Knieextensionskraft und der funktionellen Beinkraft sowie der Sprunghöhe, was sich letztendlich mit den Ergebnissen in dieser Arbeit deckt (181). Weiterhin kam es in der WBV-Gruppe zu Verbesserungen im TUG und in der Gehgeschwindigkeit. Diese Veränderungen sind ebenso durch eine Verbesserung der Beinmuskulatur zu erklären (182). Eine erst kürzlich veröffentlichte Metaanalyse von *Fischer et al.* welche in 46 Studien die Langzeiteffekte von Ganzkörpervibration auf das menschliche Gangbild untersuchte, konnte ebenfalls eine Erhöhung der Gehgeschwindigkeit bei älteren Menschen belegen. Vor allem höhere Vibrationsfrequenzen sollen einen besseren Effekt haben als niedrigere (183). Allerdings zeigte die WBV-Gruppe im 6MW eine leichte Abnahme der Distanz und somit Verschlechterung des Testergebnisses. Dieses Ergebnis stimmt auch mit den Ergebnissen von *Fischer et al.* überein. Hier konnte zwar eine Verbesserung des 6MW durch Ganzkörpervibration bei Schlaganfallpatienten nachgewiesen werden. Bei älteren Gesunden zeigte sich jedoch keine Verbesserung im 6MW (184). Hier könnte man wieder auf die Ausdauerleistung des 6MW verweisen, für die unter Umständen das zusammengestellte Trainingsprogramm auf der Vibrationsplatte im Rahmen dieser Studie keinen hinreichenden Adaptationsstimulus geboten hat.

In der OT-Gruppe verbesserte sich der CRT signifikant um 9,1% ( $p=0,003$ ). *Pfeifer et al.* beschreiben eine Verbesserung der Haltung durch die flexible Rückenorthese, was zu mehr Sicherheit- und Balancegefühl führen kann, was sich wiederum auch positiv auf die Fähigkeit schnell hintereinander von einem Stuhl aufzustehen, auswirken könnte (128, 178, 179). So sind auch die Verbesserungen der Gehgeschwindigkeit und des

TUG in der OT-Gruppe unter Umständen nachvollziehbar, da bei diesen Tests die Rumpfmuskulatur ebenfalls mit einbezogen wird. Der 6MW blieb allerdings unverändert, was heißt, dass es weder zu gut nachvollziehbaren Verbesserungen, oder Verschlechterungen gekommen war.

In der QG-Gruppe ergaben sich im Studienverlauf keine signifikanten Veränderungen, dennoch ließ sich für einige der sekundären Endpunkte durchaus ein positiver Trend erkennen. So stieg z.B. die Handkraft nach 6 Monaten Training um 7,4%, entsprechend um 2,0kg. Bedenkt man nun die Implikationen der Handkraft in Bezug auf die Gesamtkonstitution und entsprechend auch ihre Aussage in Bezug auf Mortalität, ist das durchaus ein sehr ermutigendes Ergebnis, das auch den Effekt des QG-Trainings unterstreicht (95). Auch im CRT kam es zu einer leichten Verbesserung um 6,1%. Nachdem dieser Test als guter Indikator für die gesamte körperliche Fitness gewertet wird und einen hohen prädikativen Wert, was seine Assoziation mit Morbidität und Mortalität betrifft, ist dies durchaus hervorzuheben. Insofern hat scheint auch das QG-Training durchaus eine sinnvolle Interventionsmöglichkeit darzustellen, deren Potential und ggf. auch optimale Ausgestaltung in zukünftigen Studien weiter spezifiziert werden sollte. Interessanter Weise zeigte sich einzig in der QG-Gruppe eine Verbesserung im 6MWT von 553,0m auf 572,0m. Zwar ist auch diese Verbesserung nicht signifikant, doch gerade vor dem Hintergrund, dass alle anderen Gruppen sich beim 6MW nicht verbessern konnten, scheint dieser Entwicklung doch eine besondere Bedeutung zuzukommen. In den anderen Fällen könnte man spekulieren, dass es evtl. eine jahreszeitliche Schwankung gibt, da diese Tests im Winter durchgeführt wurden und es in der aktuellen Literatur Hinweise dafür gibt, dass gerade bei älteren Menschen die körperliche Leistungsfähigkeit bei kälteren Temperaturen abnimmt (174). Andererseits hat der 6MW auch einen gewissen Stellenwert als Test für die aerobe Leistungsfähigkeit eines Patienten (106). Wenn man nun in Betracht zieht, dass die überwiegend in dieser Studie genutzten Trainingsmodalitäten auf eine Kraftzunahme hinzielten und weniger auf die Verbesserung der Ausdauer, wären diese Entwicklungen der anderen Trainingsgruppen durchaus nachvollziehbar. Die QG-Gruppe trainierte am Ende der Studie zweimal wöchentlich für ca. 30-40min durchgehend ohne Unterbrechung, was abhängig von der Ausgangssituation im Einzelfall durchaus einem Ausdauertraining in kardiopulmonaler Hinsicht gleichkommt (185). Vor diesem Hintergrund wäre die Verbesserung im 6MW in der QG-Gruppe durchaus plausibel. Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse sollte man in Erwägung ziehen jegliches Training insbesondere beim

älteren Menschen, auch um zumindest eine aerobe Komponente zu erweitern, wobei es gerade im Bereich Herzgesundheit und Herzsport hierfür vielfältig gute Evidenz gibt und neuere Konzepte Krafttraining und Ausdauertraining bereits kombinieren (186).

Die Gehgeschwindigkeit, wie auch der TUG verschlechterten sich im Verlauf der Studie in der QG-Gruppe. Die naheliegende Vermutung, dass hier die minimale Intensität dieses Low-Impact-Trainings nicht ausreichend war, um tatsächlich einen Effekt hervorzurufen, wird gewissermaßen widerlegt durch die Tatsache, dass sich der CRT und der 6MW verbessert haben. Vieles spricht insofern dafür, dass die beobachteten Veränderungen insgesamt zu gering waren, um angesichts der kleinen Gruppengröße einen eindeutigen Effekt erkennen zu lassen.

In den Balance-Tests war es weder in der Gesamtkohorte noch in einer einzelnen Trainingsgruppe zu größeren Veränderungen gekommen. Ähnliches konnte auch in der SPPB beobachtet werden. Bereits von Beginn der Studie an zeigten die Probanden hierbei gute bis überwiegend sehr gute Ergebnisse, weswegen man daraus schließen könnte, dass es sich bei den hier teilnehmenden Probanden um überwiegend noch rechte leistungsfähige Männer handelte, die auch in ihrer Freizeit bereits von vornherein immer wieder körperlich aktiv waren, was am ehesten einem Selektions-Bias zuzuordnen ist, welcher sich in Trainingsstudien schwer vermeiden lässt. Evtl. hätten kränkere Individuen mit wesentlich mehr körperlichen Einschränkungen, welche nicht an der Studie teilgenommen haben, unter Umständen andere Ergebnisse gerade in diesen Tests erzielt. Vielleicht ist aber auch das nahezu kategoriale Punktesystem der SPPB schwierig im Kontext so kleiner Gruppengrößen valide auszuwerten.

#### *4.3 Veränderungen anthropometrischer Messgrößen im Studienverlauf*

Hinsichtlich der anthropometrischen Messgrößen kam es sowohl in der Gesamtkohorte als auch allen einzelnen Trainingsgruppen zu einer Gewichtszunahme. In der Gesamtkohorte nahmen das Gewicht (2,5%) und entsprechend auch der BMI (2,5%) im Verlauf von 6 Monaten signifikant zu ( $p=0,005$ ;  $p=0,004$ ). Der SMI blieb dabei ohne signifikante Veränderung ( $p=0,347$ ). Angesichts des physikalisch-technisch komplett



unabhängigen Verfahrens zur Ermittlung des SMI lassen sich daraus keine weitergehenden Rückschlüsse oder Hypothesen ableiten.

In der KT-Gruppe stieg das Gewicht im Studienverlauf um 1,0kg an ( $p=0,053$ ), der BMI vergrößerte sich leicht um 3,3% ( $p=0,053$ ). Auch hier war die Veränderung im SMI nicht signifikant 0,9% ( $p=0,670$ ). Nach aktueller wissenschaftlicher Einschätzung ist ein solcher Zugewinn an Muskelmasse als Korrelat für einen Trainingserfolg gerade bei älteren Menschen auch keineswegs zu erwarten und auch nicht erforderlich. So zeigen einige neuere Arbeiten (*Steele et al. 2017 und Strasser et al. 2018*) eben keine signifikante Zunahme der Muskelmasse nach Krafttraining beim älteren Menschen. Sie beschreiben vielmehr eine Zunahme der Muskelqualität und eine Abnahme der Fettmasse des Körpers als Äquivalent des Trainingseffekte (187, 188). *Steele et al.* fanden nach einem sechsmonatigen Krafttraining keine Zunahme des SMI bei gesunden älteren Probanden, wobei letzterer mittels BIA gemessen wurde. In ihrer Arbeit stellen sie dar, dass die Messung der Muskelmasse mit der BIA keine hinreichende Einschätzung über die rein strukturellen Veränderungen des Muskels zulässt, wie zum Beispiel über den Durchmesser der einzelnen Fasern oder über Fetteinlagerungen im Muskel. Das würde letzten Endes unsere Annahme untermauern, dass die positiven Effekte des Krafttrainings, die sich rein messtechnisch im Rahmen der Funktionsuntersuchungen eindeutig nachvollziehen lassen, mittels BIA in diesem Fall nicht ausreichend abgebildet werden können, da qualitative Veränderungen des Muskels insbesondere die Zusammensetzung, nicht suffizient gemessen werden können. Da die Muskelmasse physiologisch ab einem Alter von 50 Jahren jährlich um 1-2% abnimmt, ist es durchaus als positives Ergebnis zu deuten, dass die Probanden dieser Studien vielleicht aber mit dem Krafttraining zumindest dem physiologischen Abbau ausreichend entgegenwirken konnten. Man muss erwähnen, dass aufgrund der kleinen Gruppengröße statistisch signifikante Änderungen nur eingeschränkt zu erfassen sind.

In der WBV-Gruppe kam es zu geringen Zunahmen sowohl des Körpergewichts wie auch des BMIs, wobei diese nicht signifikant waren. Der SMI verringerte sich sogar um 5,0% ( $p=0,273$ ), was ein Alleinstellungsmerkmal für diese Trainingsgruppe blieb. In keiner anderen Gruppe kam es zu einer Abnahme des SMI. Es handelte sich dabei

jedoch nur um eine geringe Abnahme, welche auch nicht signifikant war. Hierbei ist nicht von einem substantziellen Verlust an Muskelmasse hierbei auszugehen.

In der OT-Gruppe kam es zu einer moderaten Gewichtszunahme um 2,0kg nach 6 Monaten. Auch der BMI stieg um 3,2% ( $p=0,066$ ) an. Der SMI zeigte nur einen minimalen Anstieg um 1,0% ( $p=0,981$ ). Trotz einer recht guten Evidenz zur Verbesserung der Rumpfkraft für flexible Rückenorthesen gibt es keinerlei Daten zur Beeinflussung der Muskelmasse durch selbige, wohingegen starre Rückenorthesen nach längerem Tragen zu Atrophie der Rückenmuskulatur führen können (189). Zwar nahm der SMI in dieser Gruppe nur gering zu, aber gerade vor diesem Hintergrund und der doch nachweisbaren Verbesserung der Muskelkraft und –Funktion ist eher von einem positiven Effekt durch das Tragen der flexiblen Rückenorthese auf die Muskelmasse im Großen und Ganzen auszugehen.

Die QG- Gruppe zeigte eine Zunahme des Körpergewichts um 2,0kg (2,5%), für den BMI um 1,8% ( $p=0,128$ ) und für den SMI um 2,0% ( $p=0,497$ ). Diese Veränderungen waren zwar statistisch nicht signifikant, aber unter Berücksichtigung der Zunahme in allen drei Bereichen ist sicherlich von einem positiven Effekt für die Muskelmasse auszugehen, der sich auch in den Funktionstests zum Teil widerspiegelte. Grundsätzlich finden sich auch in der aktuellen Literatur Hinweise darauf, dass auch Low-Impact-Training einen positiven Effekt für den Erhalt der Muskelmasse im Alter hat, wie z.B. beim Tai-Chi-Chuan (190).

#### *4.4 Adhärenz*

Insgesamt lag die Anwesenheit für alle Trainingsgruppen bei  $\geq 75\%$ .

Die Adhärenz beim Krafttraining war insgesamt hoch und lag bei 71,3%. Es trainierten jeweils nur maximal drei Probanden gleichzeitig, um eine individuelle Betreuung zu gewährleisten. Die Fehlzeiten kamen überwiegend durch die Urlaubszeit im Sommer zustande. Allerdings ist auch zu beachten, dass ein häufig genannter Abwesenheitsgrund der zeitliche Aufwand war, um zur Trainingseinrichtung zu gelangen. Man kann aus dieser Beobachtung auch in Übereinstimmung mit der klinischen Alltagssituation schließen, dass das Trainingsangebot nicht nur aber gerade

im höheren Alter niederschwellig sein müsste, und idealer Weise ohne erheblichen räumlichen und zeitlichen Aufwand um mittel- und langfristig eine ausreichende Adhärenz gewährleisten.

In gewisser Weise bestätigt sich diese Einschätzung bei Betrachtung der Anwesenheiten beim WBV-Training. Hier lag die Adhärenz mit 83.2% der Trainingszeiten deutlich höher. Diese Intervention wurde in der *Orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus Würzburg* durchgeführt und war somit im gleichen Stadtteil wie die Wohnorte der Probanden, was für die meisten mit einer kurzen fußläufigen Anreisestrecke verbunden war. Zudem wurden die Trainingseinheiten immer in Zweier-Terminen abgehalten, man hatte also in der Regel einen festen Trainingspartner. Auch diese Partnerschaft bzw. die damit einhergehende persönliche Bindung scheint zur hohen Adhärenz beigetragen zu haben, da die Probanden nach eigenen Angaben sich jeweils auch ihrem Trainingspartner gegenüber verpflichtet fühlten.

Die Akzeptanz der Rückenorthese in der OT-Gruppe in Form eines „Herren-Body“ war im Allgemeinen sehr gut. Die Orthese wurde im Durchschnitt 85.2 % der vorhergesehenen Tragezeit auch angezogen. Insgesamt gaben n=7 von den n=13 Probanden an, die Orthese auch manchmal länger als die erforderlichen 3 Stunden getragen zu haben. Diese gute Adhärenz könnte sich auch daraus erklären, dass das Training für die Probanden mit nur einem minimalen Aufwand verbunden war. Die Orthese konnten sie problemlos zu Hause während der Alltagstätigkeiten anziehen. Ein expliziter Zeitaufwand, oder gar komplexe Übungen hierfür waren nicht notwendig. Weiterhin war die Tageszeit frei über den wachen Tag verteilt wählbar, was die Zeiteinteilung für die Probanden erheblich erleichterte. Fast alle Probanden fanden das Tragen angenehm und gaben ein subjektives Empfinden dadurch an, ihre Haltung verbessert zu haben. Als störend wurde, aufgrund des Ganzkörperanzugs, der aufwändigere Toilettengang und das Tragen bei höheren Außentemperaturen im Sommer angegeben.

Die Anwesenheit in der QG-Gruppe war die geringste von allen vier Gruppen mit nur 65,5%, obwohl das Training analog zur WBV-Gruppe in der *Orthopädischen Klinik König-Ludwig-Haus Würzburg* durchgeführt wurde und der Trainingsort somit leicht und schnell zugänglich war. Da das Training immer in einer größeren Gruppe stattfand, könnte eine Begründung für die geringere Anwesenheit auch darin gelegen haben, dass die Probanden sich nicht so verpflichtet gefühlt haben jeden Termin wahrzunehmen, als dies bei einem Training zu zweit oder zu dritt der Fall ist.

Insgesamt war aber zu beobachten, dass die Teilnehmer aller Gruppen sehr motiviert waren am Training teilzunehmen. Dies ist sicherlich auch dadurch beeinflusst, dass an einer Trainingsstudie eher Probanden mit ohnehin von vornherein bestehender nicht unerheblicher Motivation freiwillig teilnehmen.

#### *4.5 Diskussion der Ergebnisse der Subgruppen mit erhöhtem Risiko für muskuläre Defizite*

##### *4.5.1 Probanden in höherem Alter $\geq 80$ Jahre*

Insgesamt waren  $n=19$  Probanden bei Studienbeginn  $\geq 80$  Jahre alt. Unabhängig vom durchgeführten Training zeigten diese Probanden eine Verbesserung in allen Rumpfkraftmessungen, sowie auch in der Rumpfbeweglichkeit. Die Verbesserung in der Flexionskraft war mit 10,32% nicht unerheblich ( $p=0,017$ ). Die Extensionskraft stieg um 3,32% ( $p=0,185$ ) und der Bewegungsumfang um 10,42% ( $p=0,611$ ). Auch in den sekundären Endpunkten kam es teils zu erheblichen Verbesserungen, etwa im TUG um 11,15% ( $p=0,036$ ) und im CRT um 12,85% ( $p=0,092$ ). Diese durchaus positiven Entwicklungen bei den hochaltrigen Probanden in dieser Studie stehen damit im Einklang mit aktuellen wissenschaftlichen Untersuchungen über körperliches Training bei Menschen höheren Alters. *Cadore et al.* untersuchten 2014 die Effekte von körperlichem Training auf verschiedene Körper- und Leistungsparameter bei  $n=24$  Probanden mit einem Durchschnittsalter von 90 Jahren. Die Interventionsgruppe führte zweimal wöchentlich ein multimodales Kraft-, Geh- und Gleichgewichtstraining durch. Bereits nach drei Monaten zeigten sich signifikante Verbesserungen bei der Trainingsgruppe im TUG, im CRT und in der Balance. Weiterhin kam es zu einer Erhöhung der Muskelkraft- und -funktion der oberen und unteren Extremität (130). Eine aktuelle Studie aus dem Jahre 2017 von *Bechshøft et al.* konnte ebenso die positiven Effekte von Krafttraining bis ins hohe Alter bestätigen, die Studienteilnehmer waren im Durchschnitt über 83 Jahre alt, erhielten einen Proteinzusatz und führten ein Krafttraining für 3 Monate durch. Es kam zu einem signifikanten Anstieg der Muskelkraft und -masse der Beinmuskulatur. Die Verbesserung der Rumpfkraft und der Leistungstests bei den Probanden  $\geq 80$  Jahre in der vorliegenden Arbeit zeigt somit auch, wie sehr Probanden in durchaus höherem Alter noch von körperlichem Training

profitieren. Die Handkraft stieg bei den Probanden  $\geq 80$  Jahre um 2,7% ( $p=0,076$ ). Auch wenn dieses Ergebnis nicht signifikant war, handelt es sich zumindest hierbei doch um eine sehr positive Entwicklung, ist doch die Handkraft ein Parameter, der sowohl mit der individuellen Gesamtfitness als auch mit der Mortalität insgesamt korreliert (191). Erfreulicherweise kam es bei den älteren Probanden im Studienverlauf auch zu einer Zunahme des Körpergewichts um 2,0kg ( $p=0,017$ ) und entsprechend auch des BMI um 1,2% ( $p=0,017$ ), wohingegen der SMI um 1,1% abgesunken war ( $p=0,214$ ). Letzten Endes handelt es sich hierbei nur um einen geringen Verlust an Muskelmasse und ob dieser gerade unter Berücksichtigung des Zugewinns an Gewicht und BMI realistisch die Muskelmasse widerspiegelt ist sicherlich anzuzweifeln und eher in dem Kontext zu sehen, dass die BIA nur unzureichend Rückschlüsse auf qualitative Veränderungen der Muskelzusammensetzung zulässt (187). Jenseits dessen ist zu beachten, dass der Rückgang des SMI um 1% unter Berücksichtigung von Alter und Beobachtungszeitraum dem physiologischen Niveau entspricht. Unter Umständen wäre die Abnahme des SMI ohne das begleitende Trainingsprogramm sogar noch größer gewesen und konnte somit zumindest verlangsamt werden, wofür es ebenfalls Daten in der aktuellen Literatur gibt (192).

Insgesamt sind die erfreulichen Entwicklungen bei den Patienten ab 80 Jahren unabhängig von der jeweils gewählten Trainingsmodalität als sehr ermutigend zu bewerten und diese können ein wertvoller Grundstein für weitere Studien sein. Der Nachweis einer Verbesserung von Muskelkraft und –funktion durch verschiedene, auch vergleichsweise sehr einfache und leicht zugängliche Trainingsmethoden erweitert die Möglichkeiten alltagsrelevante Bewegungsabläufe auch noch im hohen Alter effektiv zu trainieren.

#### *4.5.2 Probanden mit erniedrigtem SMI $\leq 10,75 \text{ kg/m}^2$*

Einen prä Sarkopenen Muskelmassestatus mit einem SMI  $\leq 10,75 \text{ kg/m}^2$  wiesen zu Beginn der Studie  $n=30$  Probanden auf (48). Unabhängig von der zugeteilten Trainingsmodalität zeigten auch in dieser Subgruppe nach 6 Monaten Training einige Verbesserungen. Die Rumpfkraft nahm in Extension um 7,5% zu ( $p=0,093$ ) und die Flexionskraft signifikant um 2,9% ( $p=0,035$ ). Die Rumpfbeweglichkeit hingegen zeigte keine wesentlichen Veränderungen. Die Unterschiede in der Rumpfbeweglichkeit zu den verschiedenen Zeitpunkten lagen  $\pm 1-2^\circ$  und sind damit im Rahmen der

physiologischen Schwankungsbreiten und der Messgenauigkeit zu erklären. In der Messung der sekundären Endpunkte zeigte sich eine recht substantielle Zunahme der Handkraft um 5,1% ( $p=0,026$ ), sowie eine Verbesserung im CRT um 7,7% ( $p=0,002$ ). Zudem stiegen sowohl das Körpergewicht (2,5%) und der BMI (2,2%). Besonders hervorzuheben ist, dass der SMI bei den prä-sarkopenen Probanden signifikant um 2,1% anstieg ( $p=0,036$ ).

Eine aktuellere Metaanalyse von *Vlietstra et al.* untersuchte 2018 die Effekte von körperlichem Training bei Personen mit einer bestehenden Sarkopenie, wobei sechs Trainingsstudien berücksichtigt wurden. Die Trainingsinterventionen dieser Studien waren nicht nur auf konventionelles Krafttraining beschränkt, sondern schlossen auch Trainingsübungen ohne Gewichte, sowie Ganzkörpervibration mit ein. In den Ergebnissen konnten grundsätzlich signifikante Verbesserungen für die Kniekraft und den TUG festgestellt werden (193). Eine eingeschlossene Studie konnte eine signifikante Verbesserung für die Handkraft nachweisen (194). Außerdem fanden sich signifikante Verbesserungen für die appendikuläre Muskelmasse und die Beinmuskelmasse (193). In der hier vorliegenden Arbeit konnten ähnliche positive Effekte durch verschiedene Arten von körperlichem Training für Teilnehmer mit einem prä-sarkopenen Muskelstatus nachgewiesen werden. Wenngleich die Veränderungen nicht bei allen Parametern eine statistische Signifikanz ergaben, so scheint doch ein klarer Trend erkennbar zu sein, der in Einklang mit der aktuellen Literatur belegt, dass durchaus auch ältere Menschen mit bereits kritisch reduzierter Muskelmasse durch körperliches Training nicht nur ihre Leistungsfähigkeit, sondern auch Muskelmasse wiederaufbauen können und das mit bereits sehr einfachen und alltagskonformen Maßnahmen.

#### *4.5.3 Multimorbide Probanden*

Für diese Subgruppenanalyse wurden  $n=27$  multimorbide Probanden, d.h. Probanden, die an zwei oder mehr chronischen behandlungsbedürftigen Erkrankungen litten, berücksichtigt. Insgesamt zeigte diese Gruppe die größten Verbesserungen in den Rumpfkraftmessungen, unabhängig von der zugeteilten Trainingsmodalität. Die Extensionskraft stieg um 17,9% und das Ergebnis war hochsignifikant ( $p<0,001$ ). Auch die Flexion verbesserte sich signifikant um 16,3% ( $p=0,001$ ). Der Bewegungsumfang nahm um 10,6% zu ( $p=0,936$ ).

Auch in der Messung der Handkraft zeigte sich in dieser Gruppe eine deutliche Verbesserung von 11,9% ( $p=0,034$ ), wie auch im CRT um 7,6% ( $p=0,004$ ). Im 6MW jedoch kam es zu einer Abnahme der zurückgelegten Gehstrecke um 6,3% ( $p=0,004$ ). Ähnlich wie bereits schon im Falle der Gesamtkohorte könnte dies durch die fehlende Ausdauerkomponente der einzelnen Trainingsinterventionen einerseits, bei situativer und saisonaler Fluktuation der allgemeinen Leistungsfähigkeit gerade im Winter andererseits, bedingt sein. Hinzu kommt der gerade beim 6MW Test ganz wesentliche Aspekt der Motivation, der zur Variabilität diese Werte beiträgt (174).

Gerade vor dem Hintergrund des demographischen Wandels mit einem immer größer werdenden Anteil älterer Menschen, ist auch eine Zunahme des Anteils an multimorbiden Menschen zu erwarten. In einer Studie von *Dhalwani et al.* konnte bei überwiegend körperlich inaktiven älteren Menschen eine doppelt so hohe Prävalenz für Multimorbidität festgestellt werden wie bei einer Vergleichsgruppe, die noch körperliches Training durchführte (195). Auch die *WHO* empfiehlt körperliches Training zur Prävention und Therapie der Multimorbidität (196). Die signifikanten Verbesserungen der multimorbiden Teilnehmer dieser Trainingsstudie zeigen wie effektiv eine regelmäßige körperliche Betätigung, auch mit relativ niedrigen Anforderungen, trotz Einschränkungen durch Erkrankungen sein kann. Während des gesamten Trainingszeitraum kam es zu keinerlei unerwünschten Ereignissen. Somit stellten alle Trainingsoptionen eine sichere Möglichkeit für Sport bei älteren und vorerkrankten Individuen dar, die vor allem für alle gleichermaßen zugänglich waren, da keine besonderen Grundvoraussetzungen für die Durchführung bestanden.

## 4.6 *Diskussion der Limitationen der Studie*

### 4.6.1 *Studiendesign*

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine Trainingsstudie mit selbständig lebenden Männern  $\geq 65$  Jahren mit einem nach DVO erhöhtem Frakturrisiko. Wie bei jeder Studie war die Teilnahme rein freiwilliger Natur. Natürlich lag damit bereits von vornherein ein gewisses Selektions-Bias vor, nachdem nur Probanden teilnahmen, die auch trainieren wollten. Probanden, die womöglich körperlich noch mehr Einschränkungen gehabt hätten, haben mutmaßlich nicht an der Studie teilgenommen.

So kann man nur schwer eine Aussage treffen ob diese potenziellen Probanden auch vom Training profitiert hätten. Letzten Endes bleibt Sport und im weitesten Sinne körperliche Betätigung ein freiwilliges Vorhaben, das immer ein gewisses Maß an Eigeninitiative als Voraussetzung haben wird, das auch notwendig ist um den Anspruch zu haben, das Training regelrecht durchzuführen. In den letzten Jahren hat sich vor allem dementsprechend in der Sportpsychologie ein breites Forschungsfeld um die Volition entwickelt. Hierbei handelt es sich um die bewusste und willentliche Umsetzung mittels entsprechenden psychischen und physischen Handlungen. Dies stellt im Bereich medizinischer Trainingsforschung insbesondere bei älteren Patienten ein noch wenig beleuchtetes Teilgebiet, das auch nur schwer objektivierbar ist. Es gibt ein paar wissenschaftliche Arbeiten, die zumindest belegen konnten, dass je größer der Spaßfaktor ist, umso konsequenter eine Beteiligung an entsprechenden Gesundheits-Programmen erfolgt (197).

#### *4.6.2 Studienpopulation*

Eine sicherlich relevante Limitation der Studie ist die kleine Studienpopulation und die damit konsekutiv kleinen Trainingsgruppe. Kleine Gruppengrößen können statistische Entwicklungen in einer Studie verzerren. Jedoch findet man auch in der internationalen Literatur zu diesen Themen meist nur kleine Studienpopulationen mit 40 bis 80 Teilnehmern, insbesondere bei prospektiven Studien mit Trainingsinterventionen über einen längeren Zeitraum. Allerdings werden in den meisten Studien die Teilnehmer in zwei Gruppen aufgeteilt, eine Interventions- und eine Kontrollgruppe. In vorliegender Arbeit wurden die Probanden auf vier verschiedenen Trainingsgruppen aufgeteilt, was nochmals zu einer kleinen Anzahl Teilnehmer pro Gruppe geführt hat. Weiterhin gab es auch keine Kontrollgruppe ohne Training. So war initial die Qi Gong Gruppe als reine Kontrollgruppe am ehesten im Sinne einer Sham-Trainingsgruppe angesetzt, da relevante Verbesserungen nach nur 6 Monaten initial unwahrscheinlich erschienen, doch zeigten sich auch hierbei im Verlauf Verbesserungen und teils signifikante Ergebnisse.

Bei den Einschlusskriterien ist zu beachten, dass die meisten Probanden keine manifeste schwere Osteoporose hatten, sondern in der Regel ein erhöhtes 10-Jahres Frakturrisiko >20 % nach der aktuellen DVO-Leitlinie von 2014 aufwiesen. Somit sind



die Resultate nicht 1:1 auf männliche Individuen mit einer bereits manifesten Osteoporose übertragbar.

Weiterhin konnten einige interessierte Männer aufgrund der Ausschlusskriterien nicht aufgenommen werden. Diese waren vorwiegend Ausschlusskriterien des Ganzkörpervibrationstrainings angepasst an die vom Hersteller veröffentlichten Sicherheitsaspekte. Somit wurden einige potenzielle Teilnehmer im Vorfeld schon aufgrund ihrer Komorbiditäten ausgeschlossen. Ein Beispiel hierfür wäre das Vorhandensein einer Endoprothese an Hüfte oder Knie, was sich jedoch in der älteren Bevölkerungsgruppe durchaus häufig findet. Patienten, bei denen bereits ein künstliches Gelenk vorlag, konnten somit nicht in die Studie aufgenommen werden, wobei gerade solche Probanden unter Umständen von einer körperlichen Intervention nach einer mutmaßlichen langen körperlichen Schonungsphase im Rahmen einer schweren Arthrose, besonders profitiert hätten.

#### 4.6.3 Messverfahren

Die BIA ist ein validiertes Messverfahren, das in der klinischen und wissenschaftlichen Routine eingesetzt und auch von der *EWGSOP* empfohlen wird (49, 88). Allerdings lassen sich damit keine Aussagen über die strukturellen Veränderungen des Muskels machen, wie zum Beispiel über den Durchmesser der einzelnen Fasern oder über Fetteinlagerungen im Muskel selbst. Im Alter verändert sich vor allem die Muskelqualität/Zusammensetzung. Fraglich ist, ob der Kraft- und Funktionsverlust aus diesen strukturellen Veränderungen hervorgeht (45). Geeigneter zur Darstellung und Messung eben dieser Veränderungen wären hochauflösende Verfahren wie die CT oder die MRT, welche vielleicht in naher Zukunft imstande sein werden auch qualitative muskuläre Veränderungen infolge körperlichen Trainings objektivieren zu können (187).

Bei der Messung der Rumpfkraft konnten schon in der Eingangsuntersuchung zwei Probanden die Messung aufgrund medizinischer Kontraindikationen (Aortenaneurysma, Schmerzen an der Wirbelsäule) nicht durchführen. Im Verlauf konnten weitere 4 Messungen bei Probanden nicht durchgeführt werden. Diese sind wegen Krankheitsfall oder Abwesenheit der Teilnehmer nicht erfolgt. Somit konnten insgesamt von nur n=41 der n=47 Probanden die Rumpfkraftmessungen vollständig ausgewertet werden.

Eine weitere Limitation der Studie ist das Fehlen eines Follow-Up nach Beendigung der Studie. Somit konnten kurzfristig keine Daten erhoben werden, ob die Probanden weiterhin sportlich aktiv blieben. Weiterhin ist unklar, inwieweit die positiven Effekte nach Beendigung des Trainingsprogramms reversibel waren.

## 5 Zusammenfassung

Aufgrund der immer älterwerdenden Bevölkerung kommt der Prävention von altersbedingten muskuloskelettalen Erkrankungen wie der Osteoporose und der Sarkopenie eine herausragende Bedeutung zu. Insbesondere für die Sarkopenie gibt es heute und auf absehbare Zeit keine kausale medikamentöse Therapie. Somit stellt der Erhalt einer intakten Muskulatur durch erwiesenermaßen wirksame körperliche Aktivität die zentrale Säule für eine langfristig muskuloskelettale Gesundheit dar. Die aktuelle, wissenschaftliche Datenlage zeigt hierbei für progressives Krafttraining im Alter valide Ergebnisse. Durch die gezielte Beanspruchung der Muskulatur kann bis ins hohe Alter dem natürlichen Verlust der Muskelmasse und -qualität entgegengewirkt werden. Ein gezieltes Training der Wirbelsäule-umgebenden Muskulatur ist vor allem bei Menschen mit Osteoporose sinnvoll und kann Fehlhaltungen, sowie den damit verbundenen körperlichen Einschränkungen wirksam vorbeugen. Starke Rückenmuskeln sind ein „stützendes Korsett“, das die Wirbelkörper schützt und dem Rumpf hilft, aufrecht zu bleiben. Dadurch werden wichtige Alltagsbewegungen unterstützt und das Sturzrisiko kann reduziert werden. Ein klassisches progressives Krafttraining ist jedoch bei älteren Menschen nicht immer durchführbar, da diese oft an zusätzlichen Erkrankungen leiden, welche ein intensives Krafttraining verbieten, oder allgemein zu schwach für eine solche Trainingsmodalität sind. Ziel dieser Studie war zusätzlich zum Krafttraining alternative Trainingsmethoden zu testen, welche einfach und sicher im Alter integrierbar sind und keine sportlichen Vorkenntnisse der Teilnehmer erfordern. Im Fokus stand dabei die Kräftigung der Rumpfmuskulatur.

Alternativ zum klassischen, progressivem Krafttraining wurden daher sogenannte Low-Impact-Methoden getestet, konkret handelte es sich dabei um Ganzkörpervibrationstraining (WBV), das tägliche Tragen einer federnden Rückenorthese (OT) und Qi Gong (QG) als atmungs- und bewegungsorientiertes Konzept.

Das Krafttraining zeigte dabei die größten Verbesserungen in der Rumpfkraft, dem primären Endpunkt der Studie. Bei der Extensionskraft zeigte sich eine Zunahme von 28,0%. ( $p=0,008$ ) und bei der Flexionskraft von 17,2% ( $p=0,008$ ). Doch auch das WBV-Training und das Tragen der Rückenorthese zeigten Verbesserungen der Rumpfkraft. Das QG-Training zeigte kaum Veränderungen der Rumpfkraft. Im Gruppenvergleich war die KT-Gruppe der QG-Gruppe in der Entwicklung der Extensionskraft signifikant überlegen. Auch wenn die alternativen Trainingsmethoden keine signifikanten

Ergebnisse im primären Endpunkt dieser Studie zeigten, kam es zu signifikanten Verbesserungen in den sekundären Endpunkten. In der WBV-Gruppe kam es zu einem signifikanten Anstieg der Handkraft ( $p=0,023$ ) und im CRT ( $p=0,007$ ). In der OT-Gruppe war ebenfalls der CRT signifikant besser geworden ( $p=0,003$ ). In der QG-Gruppe kam es ebenfalls zu tendenziellen Verbesserungen einiger Leistungsparameter, jedoch waren diese statistisch überwiegend nicht signifikant.

Ein wesentlicher Aspekt dieser Arbeit war jedoch, dass unabhängig von der jeweiligen Trainingsmodalität, vor allem die Teilnehmer, die ein erhöhtes Risiko für muskuläre Defizite hatten, also Probanden  $\geq 80$  Jahre, Menschen mit prä Sarkopenem Muskelstatus, oder multimorbide Teilnehmer, am meisten von den Trainingsinterventionen profitierten. Hier fiel vor allem die signifikante Zunahme der Rumpfflexion in allen drei Subgruppen auf. Bei den Probanden  $\geq 80$  Jahren kam es in der Rumpfflexion zu einer Zunahme von 10,3% ( $p=0,017$ ), bei den prä Sarkopenen Probanden von 2,9% ( $p=0,035$ ) und bei den Multimorbiden von 16,3% ( $p=0,001$ ). Eine starke Rumpfvorderseite führt zu einer aufrechten Haltung, ermöglicht Alltagsaktivitäten wie Treppensteigen oder das Aufstehen von einem Stuhl und kann durch eine verbesserte Balance das Sturzrisiko vermindern. Bedeutsam ist auch, dass die Muskelmasse bei den prä Sarkopenen Probanden, unabhängig vom Training, signifikant gestiegen war und somit Sport auch bei einer reduzierten Muskelmasse sehr effektiv sein kann. Zudem verbesserte sich der CRT bei den prä Sarkopenen und multimorbiden Probanden signifikant, was umso erfreulicher ist, bedenkt man die Assoziation mit einer reduzierten Fähigkeit von einem Stuhl aufzustehen und einer erhöhten Mortalität.

Schlussendlich zeigen die Ergebnisse dieser Studie, dass Trainingsmodalitäten, die gezielt die Rumpfmuskulatur adressieren, wie z.B. ein speziell zusammengestelltes Krafttraining, auch in höherem Alter und bei Vorliegen eines erhöhten Frakturrisikos positive Effekte erzielen und zu signifikanten Verbesserungen der Rumpfkraft führen können. Allerdings zeigen auch weniger spezifische low-impact Trainingskonzepte durchaus positive Entwicklungen und stellen vor allem eine sichere Alternative mit nur geringem Anforderungsprofil dar. Besonders erfreulich scheint vor allem die Verbesserung der Parameter der Probanden mit einem erhöhten Risiko für muskuläre Defizite unabhängig von der zugewählten Trainingsintervention. Diese Ergebnisse stellen eine wertvolle Grundlage für zukünftige Forschungsvorhaben dar, welchen unter Berücksichtigung der globalen demographischen Entwicklungen sicherlich erhebliche Bedeutung zukommen wird.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Jakob F, Genest F, Baron G, Stumpf U, Rudert M, Seefried L. [Regulation of bone metabolism in osteoporosis : Novel drugs for osteoporosis in development]. *Unfallchirurg*. 2015.
2. Jakob F, Seefried L, Schwab M. [Age and osteoporosis. Effects of aging on osteoporosis, the diagnostics and therapy]. *Der Internist*. 2014;55(7):755-61.
3. Jakob F, Seefried L, Ebert R. [Pathophysiology of bone metabolism]. *Der Internist*. 2008;49(10):1159-60, 62, 64 passim.
4. Jain RK, Vokes T. Dual-energy X-ray Absorptiometry. *Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry*. 2017;20(3):291-303.
5. Cosman F, de Beur SJ, LeBoff MS, Lewiecki EM, Tanner B, Randall S, et al. Clinician's Guide to Prevention and Treatment of Osteoporosis. *Osteoporos Int*. 2014;25(10):2359-81.
6. Diem SJ, Peters KW, Gourlay ML, Schousboe JT, Taylor BC, Orwoll ES, et al. Screening for Osteoporosis in Older Men: Operating Characteristics of Proposed Strategies for Selecting Men for BMD Testing. *J Gen Intern Med*. 2017;32(11):1235-41.
7. Burge R, Dawson-Hughes B, Solomon DH, Wong JB, King A, Tosteson A. Incidence and economic burden of osteoporosis-related fractures in the United States, 2005-2025. *J Bone Miner Res*. 2007;22(3):465-75.
8. Hadji P, Klein S, Gothe H, Haussler B, Kless T, Schmidt T, et al. The epidemiology of osteoporosis--Bone Evaluation Study (BEST): an analysis of routine health insurance data. *Dtsch Arztebl Int*. 2013;110(4):52-7.
9. Van Der Klift M, Pols HA, Geleijnse JM, Van Der Kuip DA, Hofman A, De Laet CE. Bone mineral density and mortality in elderly men and women: the Rotterdam Study. *Bone*. 2002;30(4):643-8.
10. Woolf AD, Pflieger B. Burden of major musculoskeletal conditions. *Bull World Health Organ*. 2003;81(9):646-56.
11. Karlsson MK, Vonschewelov T, Karlsson C, Coster M, Rosengen BE. Prevention of falls in the elderly: a review. *Scand J Public Health*. 2013;41(5):442-54.
12. Karlsson MK, Nordqvist A, Karlsson C. Physical activity, muscle function, falls and fractures. *Food Nutr Res*. 2008;52.

13. Granacher U, Gollhofer A, Hortobagyi T, Kressig RW, Muehlbauer T. The importance of trunk muscle strength for balance, functional performance, and fall prevention in seniors: a systematic review. *Sports Med.* 2013;43(7):627-41.
14. Waschke FPJ. Sobotta, Atlas der Anatomie des Menschen Band 1 Elsevier; 2010.
15. van der Burg JC, Pijnappels M, van Dieen JH. Out-of-plane trunk movements and trunk muscle activity after a trip during walking. *Exp Brain Res.* 2005;165(3):407-12.
16. Rittweger J, Beller G, Armbrecht G, Mulder E, Buehring B, Gast U, et al. Prevention of bone loss during 56 days of strict bed rest by side-alternating resistive vibration exercise. *Bone.* 2010;46(1):137-47.
17. Zerwekh JE, Ruml LA, Gottschalk F, Pak CY. The effects of twelve weeks of bed rest on bone histology, biochemical markers of bone turnover, and calcium homeostasis in eleven normal subjects. *J Bone Miner Res.* 1998;13(10):1594-601.
18. So KY, Kim DH, Choi DH, Kim CY, Kim JS, Choi YS. The Influence of Fat Infiltration of Back Extensor Muscles on Osteoporotic Vertebral Fractures. *Asian Spine J.* 2013;7(4):308-13.
19. Mokhtarzadeh H, Anderson DE. The Role of Trunk Musculature in Osteoporotic Vertebral Fractures: Implications for Prediction, Prevention, and Management. *Curr Osteoporos Rep.* 2016;14(3):67-76.
20. Hongo M, Itoi E, Sinaki M, Miyakoshi N, Shimada Y, Maekawa S, et al. Effect of low-intensity back exercise on quality of life and back extensor strength in patients with osteoporosis: a randomized controlled trial. *Osteoporos Int.* 2007;18(10):1389-95.
21. Mika A, Unnithan VB, Mika P. Differences in thoracic kyphosis and in back muscle strength in women with bone loss due to osteoporosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2005;30(2):241-6.
22. Horlings CG, van Engelen BG, Allum JH, Bloem BR. A weak balance: the contribution of muscle weakness to postural instability and falls. *Nat Clin Pract Neurol.* 2008;4(9):504-15.
23. Katzman W, Cawthon P, Hicks GE, Vittinghoff E, Shepherd J, Cauley JA, et al. Association of spinal muscle composition and prevalence of hyperkyphosis in healthy community-dwelling older men and women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2012;67(2):191-5.
24. Granito RN, Aveiro MC, Renno AC, Oishi J, Driusso P. Comparison of thoracic kyphosis degree, trunk muscle strength and joint position sense among healthy and

osteoporotic elderly women: a cross-sectional preliminary study. *Arch Gerontol Geriatr.* 2012;54(2):e199-202.

25. Kasukawa Y, Miyakoshi N, Hongo M, Ishikawa Y, Noguchi H, Kamo K, et al. Relationships between falls, spinal curvature, spinal mobility and back extensor strength in elderly people. *J Bone Miner Metab.* 2010;28(1):82-7.

26. Balzini L, Vannucchi L, Benvenuti F, Benucci M, Monni M, Cappozzo A, et al. Clinical characteristics of flexed posture in elderly women. *J Am Geriatr Soc.* 2003;51(10):1419-26.

27. Hsu WL, Chen CY, Tsao JY, Yang RS. Balance control in elderly people with osteoporosis. *J Formos Med Assoc.* 2014;113(6):334-9.

28. Frost HM. Muscle, bone, and the Utah paradigm: a 1999 overview. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(5):911-7.

29. Frost HM. The Utah paradigm on animal models of skeletal disorders: quo vadis? *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2001;1(3):185-91.

30. Metzger TA, Kreipke TC, Vaughan TJ, McNamara LM, Niebur GL. The in situ mechanics of trabecular bone marrow: the potential for mechanobiological response. *J Biomech Eng.* 2015;137(1).

31. Paul GR, Malhotra A, Muller R. Mechanical Stimuli in the Local In Vivo Environment in Bone: Computational Approaches Linking Organ-Scale Loads to Cellular Signals. *Current osteoporosis reports.* 2018;16(4):395-403.

32. Coupaud S, McLean AN, Purcell M, Fraser MH, Allan DB. Decreases in bone mineral density at cortical and trabecular sites in the tibia and femur during the first year of spinal cord injury. *Bone.* 2015;74:69-75.

33. Gorka J, Taylor-Gjevre RM, Arnason T. Metabolic and clinical consequences of hyperthyroidism on bone density. *Int J Endocrinol.* 2013;2013:638727.

34. Orwoll ES, Nelson HD. Does estrogen adequately protect postmenopausal women against osteoporosis: an iconoclastic perspective. *J Clin Endocrinol Metab.* 1999;84(6):1872-4.

35. Martin AC. Osteoporosis in men: a review of endogenous sex hormones and testosterone replacement therapy. *J Pharm Pract.* 2011;24(3):307-15.

36. Gasser J. Preclinical studies and clinical experience with parathyroid hormone and its analogues 1998.

37. Chow JW, Fox S, Jagger CJ, Chambers TJ. Role for parathyroid hormone in mechanical responsiveness of rat bone. *Am J Physiol.* 1998;274(1 Pt 1):E146-54.

38. Halloran BP, Bikle DD, Harris J, Austry CP, Currier PA, Tanner S, et al. Skeletal unloading induces selective resistance to the anabolic actions of growth hormone on bone. *J Bone Miner Res.* 1995;10(8):1168-76.
39. Forwood MR, Li L, Kelly WL, Bennett MB. Growth hormone is permissive for skeletal adaptation to mechanical loading. *J Bone Miner Res.* 2001;16(12):2284-90.
40. Tarantino U, Piccirilli E, Fantini M, Baldi J, Gasbarra E, Bei R. Sarcopenia and fragility fractures: molecular and clinical evidence of the bone-muscle interaction. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(5):429-37.
41. McLean RR. Proinflammatory cytokines and osteoporosis. *Curr Osteoporos Rep.* 2009;7(4):134-9.
42. Hirschfeld HP, Kinsella R, Duque G. Osteosarcopenia: where bone, muscle, and fat collide. *Osteoporos Int.* 2017;28(10):2781-90.
43. Rosenberg IH. Sarcopenia: origins and clinical relevance. *J Nutr.* 1997;127(5 Suppl):990s-1s.
44. von Haehling S, Morley JE, Anker SD. An overview of sarcopenia: facts and numbers on prevalence and clinical impact. *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2010;1(2):129-33.
45. Goodpaster BH, Park SW, Harris TB, Kritchevsky SB, Nevitt M, Schwartz AV, et al. The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: the health, aging and body composition study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2006;61(10):1059-64.
46. Morley JE, Anker SD, von Haehling S. Prevalence, incidence, and clinical impact of sarcopenia: facts, numbers, and epidemiology—update 2014. *J Cachexia Sarcopenia Muscle.* 2014;5(4):253-9.
47. Fielding RA, Vellas B, Evans WJ, Bhasin S, Morley JE, Newman AB, et al. Sarcopenia: an undiagnosed condition in older adults. Current consensus definition: prevalence, etiology, and consequences. International working group on sarcopenia. *J Am Med Dir Assoc.* 2011;12(4):249-56.
48. Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, Cederholm T, Landi F, et al. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Ageing.* 2010;39(4):412-23.
49. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, Boirie Y, Bruyere O, Cederholm T, et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing.* 2019;48(1):16-31.



50. Cao L, Morley JE. Sarcopenia Is Recognized as an Independent Condition by an International Classification of Disease, Tenth Revision, Clinical Modification (ICD-10-CM) Code. *J Am Med Dir Assoc.* 2016;17(8):675-7.
51. Beaudart C, Zaaria M, Pasleau F, Reginster JY, Bruyère O. Health Outcomes of Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS One.* 2017;12(1).
52. Landi F, Liperoti R, Russo A, Giovannini S, Tosato M, Capoluongo E, et al. Sarcopenia as a risk factor for falls in elderly individuals: results from the iSIRENTE study. *Clin Nutr.* 2012;31(5):652-8.
53. Cawthon PM, Blackwell TL, Cauley J, Kado DM, Barrett-Connor E, Lee CG, et al. Evaluation of the Usefulness of Consensus Definitions of Sarcopenia in Older Men: Results from the Observational Osteoporotic Fractures in Men Cohort Study. *J Am Geriatr Soc.* 2015;63(11):2247-59.
54. Curtis E, Litwic A, Cooper C, Dennison E. Determinants of Muscle and Bone Aging. *J Cell Physiol.* 2015;230(11):2618-25.
55. Patel HP, Syddall HE, Jameson K, Robinson S, Denison H, Roberts HC, et al. Prevalence of sarcopenia in community-dwelling older people in the UK using the European Working Group on Sarcopenia in Older People (EWGSOP) definition: findings from the Hertfordshire Cohort Study (HCS). *Age Ageing.* 2013;42(3):378-84.
56. Clark BC, Manini TM. Functional consequences of sarcopenia and dynapenia in the elderly. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2010;13(3):271-6.
57. Cruz-Jentoft AJ, Landi F, Topinkova E, Michel JP. Understanding sarcopenia as a geriatric syndrome. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2010;13(1):1-7.
58. Bianchi L, Ferrucci L, Cherubini A, Maggio M, Bandinelli S, Savino E, et al. The Predictive Value of the EWGSOP Definition of Sarcopenia: Results From the InCHIANTI Study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2016;71(2):259-64.
59. Sanchez-Rodriguez D, Marco E, Miralles R, Guillen-Sola A, Vazquez-Ibar O, Escalada F, et al. Does gait speed contribute to sarcopenia case-finding in a postacute rehabilitation setting? *Arch Gerontol Geriatr.* 2015;61(2):176-81.
60. Woo J, Leung J, Morley JE. Defining sarcopenia in terms of incident adverse outcomes. *J Am Med Dir Assoc.* 2015;16(3):247-52.
61. Drey M. Sarcopenia - pathophysiology and clinical relevance. *Wien Med Wochenschr.* 2011;161(17-18):402-8.
62. Lang T, Streiper T, Cawthon P, Baldwin K, Taaffe DR, Harris TB. Sarcopenia: etiology, clinical consequences, intervention, and assessment. *Osteoporos Int.* 2010;21(4):543-59.

63. Laube W. Sensomotorisches System-Physiologisches Detailwissen für Physiotherapeuten Germany: Georg Thieme Verlag KG; 2009.
64. Lexell J. Human aging, muscle mass, and fiber type composition. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1995;50 Spec No:11-6.
65. Appell HJ. Skeletal muscle atrophy during immobilization. *Int J Sports Med.* 1986;7(1):1-5.
66. Gisler T. Selektive Klassifizierung von Veränderungen im Muskelsystem
- Teil II: Die muskuläre Dysbalance und die muskuläre Dysharmonie. *Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie.* 2011(59):45–58,.
67. Shahtahmassebi B, Hebert JJ, Hecimovich MD, Fairchild TJ. Associations between trunk muscle morphology, strength and function in older adults. *Sci Rep.* 2017;7(1):10907.
68. Hicks GE, Simonsick EM, Harris TB, Newman AB, Weiner DK, Nevitt MA, et al. Trunk muscle composition as a predictor of reduced functional capacity in the health, aging and body composition study: the moderating role of back pain. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2005;60(11):1420-4.
69. Dallaway A, Kite C, Griffen C, Duncan M, Tallis J, Renshaw D, et al. Age-related degeneration of the lumbar paravertebral muscles: Systematic review and three-level meta-regression. *Exp Gerontol.* 2020;133:110856.
70. Mannion AF, Dumas GA, Cooper RG, Espinosa FJ, Faris MW, Stevenson JM. Muscle fibre size and type distribution in thoracic and lumbar regions of erector spinae in healthy subjects without low back pain: normal values and sex differences. *J Anat.* 1997;190 ( Pt 4):505-13.
71. Gueugneau M, Coudy-Gandilhon C, Theron L, Meunier B, Barboiron C, Combaret L, et al. Skeletal muscle lipid content and oxidative activity in relation to muscle fiber type in aging and metabolic syndrome. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2015;70(5):566-76.
72. Choi SJ, Files DC, Zhang T, Wang ZM, Messi ML, Gregory H, et al. Intramyocellular Lipid and Impaired Myofiber Contraction in Normal Weight and Obese Older Adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2016;71(4):557-64.
73. Papadopoulou SK, Tsintavis P, Potsaki P, Papandreou D. Differences in the Prevalence of Sarcopenia in Community-Dwelling, Nursing Home and Hospitalized

Individuals. A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Nutr Health Aging*. 2020;24(1):83-90.

74. Bijlsma AY, Meskers CGM, Ling CHY, Narici M, Kurrle SE, Cameron ID, et al. Defining sarcopenia: the impact of different diagnostic criteria on the prevalence of sarcopenia in a large middle aged cohort. *AGE*. 2013;35(3):871-81.

75. Kemmler W, Teschler M, Goisser S, Bebenek M, von Stengel S, Bollheimer LC, et al. Prevalence of sarcopenia in Germany and the corresponding effect of osteoarthritis in females 70 years and older living in the community: results of the FORMoSA study. *Clin Interv Aging*. 2015;10:1565-73.

76. Guralnik JM, Simonsick EM, Ferrucci L, Glynn RJ, Berkman LF, Blazer DG, et al. A short physical performance battery assessing lower extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *J Gerontol*. 1994;49(2):M85-94.

77. Grimm A, Meyer H, Nickel MD, Nittka M, Raithel E, Chaudry O, et al. A Comparison between 6-point Dixon MRI and MR Spectroscopy to Quantify Muscle Fat in the Thigh of Subjects with Sarcopenia. *J Frailty Aging*. 2019;8(1):21-6.

78. Engelke K, Museyko O, Wang L, Laredo JD. Quantitative analysis of skeletal muscle by computed tomography imaging-State of the art. *J Orthop Translat*. 2018;15:91-103.

79. Kim KM, Jang HC, Lim S. Differences among skeletal muscle mass indices derived from height-, weight-, and body mass index-adjusted models in assessing sarcopenia. *Korean J Intern Med*. 2016;31(4):643-50.

80. Cawthon PM. Assessment of Lean Mass and Physical Performance in Sarcopenia. *J Clin Densitom*. 2015;18(4):467-71.

81. Kemmler W, Jakob F, Sieber C. Sarkopenie. *Osteologie*. 2017;26(1):7-12.

82. Studenski SA, Peters KW, Alley DE, Cawthon PM, McLean RR, Harris TB, et al. The FNIH sarcopenia project: rationale, study description, conference recommendations, and final estimates. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2014;69(5):547-58.

83. Vogl TJ, Reith W, Rummeny EJ. Diagnostische und interventionelle Radiologie: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2011.

84. Tosato M, Marzetti E, Cesari M, Saveria G, Miller RR, Bernabei R, et al. Measurement of muscle mass in sarcopenia: from imaging to biochemical markers. *Aging Clin Exp Res*. 2017;29(1):19-27.

85. Shaw SC, Dennison EM, Cooper C. Epidemiology of Sarcopenia: Determinants Throughout the Lifecourse. *Calcif Tissue Int.* 2017.
86. Baumgartner RN, Koehler KM, Gallagher D, Romero L, Heymsfield SB, Ross RR, et al. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *Am J Epidemiol.* 1998;147(8):755-63.
87. Janssen I, Heymsfield SB, Baumgartner RN, Ross R. Estimation of skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis. *J Appl Physiol* (1985). 2000;89(2):465-71.
88. Rubbieri G, Mossello E, Di Bari M. Techniques for the diagnosis of sarcopenia. *Clin Cases Miner Bone Metab.* 2014;11(3):181-4.
89. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gómez JM, et al. Bioelectrical impedance analysis—part I: review of principles and methods. *Clinical Nutrition.* 2004;23(5):1226-43.
90. Landi F, Onder G, Russo A, Liperoti R, Tosato M, Martone AM, et al. Calf circumference, frailty and physical performance among older adults living in the community. *Clin Nutr.* 2014;33(3):539-44.
91. Landi F, Russo A, Liperoti R, Pahor M, Tosato M, Capoluongo E, et al. Midarm muscle circumference, physical performance and mortality: results from the aging and longevity study in the Sirente geographic area (iLSIRENTE study). *Clin Nutr.* 2010;29(4):441-7.
92. Rantanen T, Volpato S, Ferrucci L, Heikkinen E, Fried LP, Guralnik JM. Handgrip strength and cause-specific and total mortality in older disabled women: exploring the mechanism. *J Am Geriatr Soc.* 2003;51(5):636-41.
93. Massy-Westropp NM, Gill TK, Taylor AW, Bohannon RW, Hill CL. Hand Grip Strength: age and gender stratified normative data in a population-based study. *BMC Res Notes.* 2011;4:127.
94. Bohannon RW. Muscle strength: clinical and prognostic value of hand-grip dynamometry. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2015;18(5):465-70.
95. Taekema DG, Gussekloo J, Maier AB, Westendorp RG, de Craen AJ. Handgrip strength as a predictor of functional, psychological and social health. A prospective population-based study among the oldest old. *Age Ageing.* 2010;39(3):331-7.
96. Al Snih S, Markides KS, Ottenbacher KJ, Raji MA. Hand grip strength and incident ADL disability in elderly Mexican Americans over a seven-year period. *Aging Clin Exp Res.* 2004;16(6):481-6.

97. Buchner DM, Larson EB, Wagner EH, Koepsell TD, de Lateur BJ. Evidence for a non-linear relationship between leg strength and gait speed. *Age Ageing*. 1996;25(5):386-91.
98. Cesari M, Kritchevsky SB, Newman AB, Simonsick EM, Harris TB, Penninx BW, et al. Added value of physical performance measures in predicting adverse health-related events: results from the Health, Aging And Body Composition Study. *J Am Geriatr Soc*. 2009;57(2):251-9.
99. Guralnik JM, Ferrucci L, Pieper CF, Leveille SG, Markides KS, Ostir GV, et al. Lower extremity function and subsequent disability: consistency across studies, predictive models, and value of gait speed alone compared with the short physical performance battery. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2000;55(4):M221-31.
100. Trials WGoFOMfC. Functional outcomes for clinical trials in frail older persons: time to be moving. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2008;63(2):160-4.
101. Studenski S, Perera S, Patel K, Rosano C, Faulkner K, Inzitari M, et al. Gait speed and survival in older adults. *Jama*. 2011;305(1):50-8.
102. Guralnik JM, Ferrucci L, Simonsick EM, Salive ME, Wallace RB. Lower-extremity function in persons over the age of 70 years as a predictor of subsequent disability. *N Engl J Med*. 1995;332(9):556-61.
103. Jansenberger H, Schimetta W. Der fünfmalige Aufstehtest mit Beschleunigungsmessung zur Unterscheidung zwischen gestürzten und nicht gestürzten selbstständig lebenden Senioren. *physioscience*. 2014;10(02):47-56.
104. Podsiadlo D, Richardson S. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc*. 1991;39(2):142-8.
105. Shumway-Cook A, Brauer S, Woollacott M. Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. *Phys Ther*. 2000;80(9):896-903.
106. Newman AB, Simonsick EM, Naydeck BL, Boudreau RM, Kritchevsky SB, Nevitt MC, et al. Association of long-distance corridor walk performance with mortality, cardiovascular disease, mobility limitation, and disability. *Jama*. 2006;295(17):2018-26.
107. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166(1):111-7.
108. Steffen TM, Hacker TA, Mollinger L. Age- and gender-related test performance in community-dwelling elderly people: Six-Minute Walk Test, Berg Balance Scale, Timed Up & Go Test, and gait speeds. *Phys Ther*. 2002;82(2):128-37.

109. Wackerhage H. Sarcopenia: Causes and Treatments. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*. 2017;68(7-8):178-84.
110. Kumar V, Selby A, Rankin D, Patel R, Atherton P, Hildebrandt W, et al. Age-related differences in the dose-response relationship of muscle protein synthesis to resistance exercise in young and old men. *J Physiol*. 2009;587(1):211-7.
111. Kryger AI, Andersen JL. Resistance training in the oldest old: consequences for muscle strength, fiber types, fiber size, and MHC isoforms. *Scand J Med Sci Sports*. 2007;17(4):422-30.
112. Nilwik R, Snijders T, Leenders M, Groen BB, van Kranenburg J, Verdijk LB, et al. The decline in skeletal muscle mass with aging is mainly attributed to a reduction in type II muscle fiber size. *Exp Gerontol*. 2013;48(5):492-8.
113. Denison HJ, Cooper C, Sayer AA, Robinson SM. Prevention and optimal management of sarcopenia: a review of combined exercise and nutrition interventions to improve muscle outcomes in older people. *Clin Interv Aging*. 2015;10:859-69.
114. Liu CJ, Latham NK. Progressive resistance strength training for improving physical function in older adults. *Cochrane Database Syst Rev*. 2009(3):Cd002759.
115. Peterson MD, Rhea MR, Sen A, Gordon PM. Resistance exercise for muscular strength in older adults: a meta-analysis. *Ageing Res Rev*. 2010;9(3):226-37.
116. Phu S, Boersma D, Duque G. Exercise and Sarcopenia. *J Clin Densitom*. 2015;18(4):488-92.
117. Hamrick MW, McGee-Lawrence ME, Frechette DM. Fatty Infiltration of Skeletal Muscle: Mechanisms and Comparisons with Bone Marrow Adiposity. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2016;7.
118. Calle MC, Fernandez ML. Effects of resistance training on the inflammatory response. *Nutr Res Pract*. 2010;4(4):259-69.
119. Orr R, Raymond J, Fiatarone Singh M. Efficacy of progressive resistance training on balance performance in older adults : a systematic review of randomized controlled trials. *Sports Med*. 2008;38(4):317-43.
120. Mayer F, Scharhag-Rosenberger F, Carlsohn A, Cassel M, Müller S, Scharhag Jr. Intensität und Effekte von Krafttraining bei älteren. *Dtsch Arztebl International*. 2011;108(21):359-64.
121. Peterson MD, Sen A, Gordon PM. Influence of Resistance Exercise on Lean Body Mass in Aging Adults: A Meta-Analysis. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(2):249-58.

122. Song R, Lee EO, Lam P, Bae SC. Effects of tai chi exercise on pain, balance, muscle strength, and perceived difficulties in physical functioning in older women with osteoarthritis: a randomized clinical trial. *J Rheumatol*. 2003;30(9):2039-44.
123. Fried LP, Tangen CM, Walston J, Newman AB, Hirsch C, Gottdiener J, et al. Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2001;56(3):M146-56.
124. Bauer JM, Sieber CC. Sarcopenia and frailty: a clinician's controversial point of view. *Exp Gerontol*. 2008;43(7):674-8.
125. Kemmler W, S VS, Mayer S, Niedermayer M, Hentschke C, Kalender WA. [Effect of whole body vibration on the neuromuscular performance of females 65 years and older. One-year results of the controlled randomized ELVIS study]. *Z Gerontol Geriatr*. 2010;43(2):125-32.
126. Kemmler W, Bebenek M, Engelke K, von Stengel S. Impact of whole-body electromyostimulation on body composition in elderly women at risk for sarcopenia: the Training and ElectroStimulation Trial (TEST-III). *Age (Dordr)*. 2014;36(1):395-406.
127. Tiedemann A, O'Rourke S, Sherrington C. Is a yoga-based program with potential to decrease falls perceived to be acceptable to community-dwelling people older than 60? *Public health research & practice*. 2018;28(2).
128. Pfeifer M, Kohlwey L, Begerow B, Minne HW. Effects of two newly developed spinal orthoses on trunk muscle strength, posture, and quality-of-life in women with postmenopausal osteoporosis: a randomized trial. *Am J Phys Med Rehabil*. 2011;90(10):805-15.
129. Huang Y, Liu X. Improvement of balance control ability and flexibility in the elderly Tai Chi Chuan (TCC) practitioners: A systematic review and meta-analysis. *Archives of Gerontology and Geriatrics*. 2015;60(2):233-8.
130. Cadore EL, Casas-Herrero A, Zambom-Ferraresi F, Idoate F, Millor N, Gómez M, et al. Multicomponent exercises including muscle power training enhance muscle mass, power output, and functional outcomes in institutionalized frail nonagenarians. *Age (Dordr)*. 2014;36(2):773-85.
131. Marques EA, Wanderley F, Machado L, Sousa F, Viana JL, Moreira-Goncalves D, et al. Effects of resistance and aerobic exercise on physical function, bone mineral density, OPG and RANKL in older women. *Exp Gerontol*. 2011;46(7):524-32.
132. Petersen BA, Hastings B, Gottschall JS. Low load, high repetition resistance training program increases bone mineral density in untrained adults. *J Sports Med Phys Fitness*. 2017;57(1-2):70-6.

133. Iolascon G, Di Pietro G, Gimigliano F, Mauro GL, Moretti A, Giamattei MT, et al. Physical exercise and sarcopenia in older people: position paper of the Italian Society of Orthopaedics and Medicine (OrtoMed). *Clin Cases Miner Bone Metab.* 2014;11(3):215-21.
134. Rittweger J. Vibration as an exercise modality: how it may work, and what its potential might be. *European journal of applied physiology.* 2010;108(5):877-904.
135. Rittweger J, Beller G, Felsenberg D. Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clin Physiol.* 2000;20(2):134-42.
136. Seefried L, Genest F, Luksche N, Schneider M, Fazeli G, Brandl M, et al. Efficacy and safety of whole body vibration in maintenance hemodialysis patients - A pilot study. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions.* 2017;17(4):268-74.
137. Ritzmann R, Kramer A, Gruber M, Gollhofer A, Taube W. EMG activity during whole body vibration: motion artifacts or stretch reflexes? *Eur J Appl Physiol.* 2010;110(1):143-51.
138. Bautmans I, Van Hees E, Lemper JC, Mets T. The feasibility of Whole Body Vibration in institutionalised elderly persons and its influence on muscle performance, balance and mobility: a randomised controlled trial [ISRCTN62535013]. *BMC geriatrics.* 2005;5:17.
139. Sitja-Rabert M, Rigau D, Fort Vanmeerghaeghe A, Romero-Rodriguez D, Bonastre Subirana M, Bonfill X. Efficacy of whole body vibration exercise in older people: a systematic review. *Disabil Rehabil.* 2012;34(11):883-93.
140. Rees SS, Murphy AJ, Watsford ML. Effects of whole body vibration on postural steadiness in an older population. *J Sci Med Sport.* 2009;12(4):440-4.
141. Verschueren SM, Roelants M, Delecluse C, Swinnen S, Vanderschueren D, Boonen S. Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: a randomized controlled pilot study. *J Bone Miner Res.* 2004;19(3):352-9.
142. Dionyssiotis Y, Trovas G, Thoma S, Lyritis G, Papaioannou N. Prospective study of spinal orthoses in women. *Prosthet Orthot Int.* 2015;39(6):487-95.
143. Pfeifer M, Begerow B, Minne HW. Effects of a new spinal orthosis on posture, trunk strength, and quality of life in women with postmenopausal osteoporosis: a randomized trial. *Am J Phys Med Rehabil.* 2004;83(3):177-86.
144. Song Q, Li L, Zhang C, Sun W, Mao D. Long-term Tai Chi practitioners have superior body stability under dual task condition during stair ascent. *Gait & posture.* 2018;66:124-9.



145. Vergara-Diaz G, Osypiuk K, Hausdorff JM, Bonato P, Gow BJ, Miranda JG, et al. Tai Chi for Reducing Dual-task Gait Variability, a Potential Mediator of Fall Risk in Parkinson's Disease: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Global advances in health and medicine*. 2018;7:2164956118775385.
146. Abbott R, Lavretsky H. Tai Chi and Qigong for the Treatment and Prevention of Mental Disorders. *Psychiatr Clin North Am*. 2013;36(1):109-19.
147. Chodzko-Zajko W, Beattie L, Chow R. Qi gong and tai chi: promoting practice that promote healing 2006. 49-56 p.
148. Woo J, Hong A, Lau E, Lynn H. A randomised controlled trial of Tai Chi and resistance exercise on bone health, muscle strength and balance in community-living elderly people. *Age Ageing*. 2007;36(3):262-8.
149. Chan K, Qin L, Lau M, Woo J, Au S, Choy W, et al. A randomized, prospective study of the effects of Tai Chi Chun exercise on bone mineral density in postmenopausal women. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85(5):717-22.
150. Hyman RB, Feldman HR, Harris RB, Levin RF, Malloy GB. The effects of relaxation training on clinical symptoms: a meta-analysis. *Nurs Res*. 1989;38(4):216-20.
151. Lomas-Vega R, Obrero-Gaitan E, Molina-Ortega FJ, Del-Pino-Casado R. Tai Chi for Risk of Falls. A Meta-analysis. *J Am Geriatr Soc*. 2017;65(9):2037-43.
152. Kirchengast S, Huber J. Sex-specific associations between soft tissue body composition and bone mineral density among older adults. *Ann Hum Biol*. 2012;39(3):206-13.
153. e.V. DdDWOG. Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose bei Männern ab dem 60. Lebensjahr und bei postmenopausalen Frauen. Leitlinie des Dachverbands der Deutschsprachigen Wissenschaftlichen Osteologischen Gesellschaften e.V. 2014 [29.09.2017]. Available from: <http://www.dv-osteologie.org/uploads/Leitlinie%202014/DVO-Leitlinie%20Osteoporose%202014%20Kurzfassung%20und%20Langfassung%20Version%201a%2012%2001%202016.pdf>.
154. Genest F, Schneider M, Zehnder A, Lieberoth-Leden D, Seefried L. Differential impact of osteoporosis, sarcopenia and obesity on physical performance in aging men. *Endocr Connect*. 2021.
155. NovotecMedicalGmbH. Novotec Medical GmbH; 2017 [06.10.2017]. Available from: <https://www.galileo-training.com/de-deutsch/produkte/galileo-trainingsgeraete/vibrationstraining.html>.

156. mediGmbH&Co.KG. Spinomed® active men [06.10.2017]. Available from: <https://www.medi.de/produkte/spinomed-active-men/>.
157. Predia SG. PREDIA Gesellschaft für Prävention und Diagnostik mbH; [cited 2017. Available from: <https://www.predia.com/home>.
158. . Available from: <https://www.schnell-online.de/de/medizinisch/>.
159. Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuk WW, Lykken GI. Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *Am J Clin Nutr.* 1985;41(4):810-7.
160. DataInputGmbH. Das B.I.A.-Kompendium 3. Ausgabe: Digitaldruck Darmstadt GmbH & Co. KG; 2009 [24.10.2017]. Available from: [http://www.data-input.de/media/pdf-deutsch/Kompendium\\_III\\_Ausgabe\\_2009.pdf](http://www.data-input.de/media/pdf-deutsch/Kompendium_III_Ausgabe_2009.pdf).
161. Sergi G, De Rui M, Veronese N, Bolzetta F, Berton L, Carraro S, et al. Assessing appendicular skeletal muscle mass with bioelectrical impedance analysis in free-living Caucasian older adults. *Clin Nutr.* 2015;34(4):667-73.
162. Janssen I, Heymsfield SB, Ross R. Low relative skeletal muscle mass (sarcopenia) in older persons is associated with functional impairment and physical disability. *J Am Geriatr Soc.* 2002;50(5):889-96.
163. Fuchs J, Busch M, Lange C, Scheidt-Nave C. Prevalence and patterns of morbidity among adults in Germany. Results of the German telephone health interview survey German Health Update (GEDA) 2009. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz.* 2012;55(4):576-86.
164. DVO. Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der OSTEOPOROSE bei postmenopausalen Frauen und bei Männern 2017 [cited 2019 2 May]. Available from: [https://www.dv-osteologie.org/uploads/Leitlinie%202017/Finale%20Version%20Leitlinie%20Osteoporose%202017\\_end.pdf](https://www.dv-osteologie.org/uploads/Leitlinie%202017/Finale%20Version%20Leitlinie%20Osteoporose%202017_end.pdf).
165. Pollock ML, Leggett SH, Graves JE, Jones A, Fulton M, Cirulli J. Effect of resistance training on lumbar extension strength. *Am J Sports Med.* 1989;17(5):624-9.
166. Vincent KR, Braith RW, Feldman RA, Magyari PM, Cutler RB, Persin SA, et al. Resistance exercise and physical performance in adults aged 60 to 83. *J Am Geriatr Soc.* 2002;50(6):1100-7.
167. Shahtahmassebi B, Hebert JJ, Hecimovich M, Fairchild TJ. Trunk exercise training improves muscle size, strength, and function in older adults: A randomized controlled trial. *Scand J Med Sci Sports.* 2019;29(7):980-91.

168. Lau RW, Liao LR, Yu F, Teo T, Chung RC, Pang MY. The effects of whole body vibration therapy on bone mineral density and leg muscle strength in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2011;25(11):975-88.
169. Rittweger J, Just K, Kautzsch K, Reeg P, Felsenberg D. Treatment of chronic lower back pain with lumbar extension and whole-body vibration exercise: a randomized controlled trial. *Spine (Phila Pa 1976).* 2002;27(17):1829-34.
170. Osawa Y, Oguma Y. Effects of resistance training with whole-body vibration on muscle fitness in untrained adults. *Scand J Med Sci Sports.* 2013;23(1):84-95.
171. Tsukahara Y, Iwamoto J, Iwashita K, Shinjo T, Azuma K, Matsumoto H. What is the most effective posture to conduct vibration from the lower to the upper extremities during whole-body vibration exercise? *Open Access J Sports Med.* 2016;7:5-10.
172. Mikhael M, Orr R, Amsen F, Greene D, Singh MA. Effect of standing posture during whole body vibration training on muscle morphology and function in older adults: a randomised controlled trial. *BMC Geriatr.* 2010;10:74.
173. Valentin GH, Pedersen LN, Maribo T. Wearing an active spinal orthosis improves back extensor strength in women with osteoporotic vertebral fractures. *Prosthet Orthot Int.* 2014;38(3):232-8.
174. Hayashi Y, Schmidt SM, Malmgren Fange A, Hoshi T, Ikaga T. Lower Physical Performance in Colder Seasons and Colder Houses: Evidence from a Field Study on Older People Living in the Community. *International journal of environmental research and public health.* 2017;14(6).
175. Hortobagyi T, Lesinski M, Gabler M, VanSwearingen JM, Malatesta D, Granacher U. Effects of Three Types of Exercise Interventions on Healthy Old Adults' Gait Speed: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2015;45(12):1627-43.
176. Santos L, Ribeiro A, Schoenfeld B, Amarante do Nascimento M, Tomeleri C, Souza M, et al. The improvement in walking speed induced by resistance training is associated with increased muscular strength but not skeletal muscle mass in older women. *European Journal of Sport Science.* 2017;17:488-94.
177. Song J-M, Kim S-M. The Effect of Trunk Stability Exercise on Balance and Gait in Stroke Patients. *Journal of the Korean Society of Physical Medicine.* 2010;5.
178. Gross MM, Stevenson PJ, Charette SL, Pyka G, Marcus R. Effect of muscle strength and movement speed on the biomechanics of rising from a chair in healthy elderly and young women. *Gait Posture.* 1998;8(3):175-85.

179. van Lummel RC, Evers J, Niessen M, Beek PJ, van Dieën JH. Older Adults with Weaker Muscle Strength Stand up from a Sitting Position with More Dynamic Trunk Use. *Sensors (Basel)*. 2018;18(4):1235.
180. de Freitas MC, de Souza Pereira CG, Batista VC, Rossi FE, Ribeiro AS, Cyrino ES, et al. Effects of linear versus nonperiodized resistance training on isometric force and skeletal muscle mass adaptations in sarcopenic older adults. *J Exerc Rehabil*. 2019;15(1):148-54.
181. Alcazar J, Losa-Reyna J, Rodriguez-Lopez C, Alfaro-Acha A, Rodriguez-Mañas L, Ara I, et al. The sit-to-stand muscle power test: An easy, inexpensive and portable procedure to assess muscle power in older people. *Exp Gerontol*. 2018;112:38-43.
182. Chang RW, Dunlop D, Gibbs J, Hughes S. The determinants of walking velocity in the elderly. An evaluation using regression trees. *Arthritis Rheum*. 1995;38(3):343-50.
183. Sitja-Rabert M, Martinez-Zapata MJ, Fort Vanmeerhaeghe A, Rey Abella F, Romero-Rodriguez D, Bonfill X. Effects of a whole body vibration (WBV) exercise intervention for institutionalized older people: a randomized, multicentre, parallel, clinical trial. *J Am Med Dir Assoc*. 2015;16(2):125-31.
184. Fischer M, Vialleron T, Laffaye G, Fourcade P, Hussein T, Chèze L, et al. Long-Term Effects of Whole-Body Vibration on Human Gait: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Neurol*. 2019;10:627.
185. Lan C, Chou S-W, Chen S-Y, Lai J-S, Wong M-KJTAJoCM. The aerobic capacity and ventilatory efficiency during exercise in Qigong and Tai Chi Chuan practitioners. 2004;32(01):141-50.
186. Gielen S, Laughlin MH, O'Conner C, Duncker DJ. Exercise training in patients with heart disease: review of beneficial effects and clinical recommendations. *Progress in cardiovascular diseases*. 2015;57(4):347-55.
187. Steele J, Raubold K, Kemmler W, Fisher J, Gentil P, Giessing J. The Effects of 6 Months of Progressive High Effort Resistance Training Methods upon Strength, Body Composition, Function, and Wellbeing of Elderly Adults. *Biomed Res Int*. 2017;2017:2541090.
188. Strasser EM, Hofmann M, Franzke B, Schober-Halper B, Oesen S, Jandrasits W, et al. Strength training increases skeletal muscle quality but not muscle mass in old institutionalized adults: a randomized, multi-arm parallel and controlled intervention study. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2018;54(6):921-33.

189. Pfeifer M, Gehlen M, Hinz C. [Spinal orthoses in the treatment of vertebral fractures with osteoporosis : A systematic review article]. *Z Rheumatol*. 2017;76(10):860-8.
190. Stagi S, Doneddu A, Mulliri G, Ghiani G, Succa V, Crisafulli A, et al. Lower Percentage of Fat Mass among Tai Chi Chuan Practitioners. *International journal of environmental research and public health*. 2020;17(4).
191. Legrand D, Vaes B, Matheï C, Adriaensen W, Van Pottelbergh G, Degryse JM. Muscle strength and physical performance as predictors of mortality, hospitalization, and disability in the oldest old. *J Am Geriatr Soc*. 2014;62(6):1030-8.
192. Cartee GD, Hepple RT, Bamman MM, Zierath JRJCM. Exercise promotes healthy aging of skeletal muscle. 2016;23(6):1034-47.
193. Vlietstra L, Hendrickx W, Waters DL. Exercise interventions in healthy older adults with sarcopenia: A systematic review and meta-analysis. *Australas J Ageing*. 2018;37(3):169-83.
194. Maruya K, Asakawa Y, Ishibashi H, Fujita H, Arai T, Yamaguchi H. Effect of a simple and adherent home exercise program on the physical function of community dwelling adults sixty years of age and older with pre-sarcopenia or sarcopenia. *J Phys Ther Sci*. 2016;28(11):3183-8.
195. Dhalwani NN, O'Donovan G, Zaccardi F, Hamer M, Yates T, Davies M, et al. Long terms trends of multimorbidity and association with physical activity in older English population. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. 2016;13(1):8.
196. Organization WH. Information sheet: global recommendations on physical activity for health 65 years and above 2011 [cited 2020. Available from: <https://www.who.int/dietphysicalactivity/physical-activity-recommendations-65years.pdf?ua=1>.
197. Boles DZ, DeSousa M, Turnwald BP, Horii RI, Duarte T, Zahrt OH, et al. Can Exercising and Eating Healthy Be Fun and Indulgent Instead of Boring and Depriving? Targeting Mindsets About the Process of Engaging in Healthy Behaviors. *Frontiers in psychology*. 2021;12:745950.

## **APPENDIX**

- I Abkürzungsverzeichnis
- II Abbildungsverzeichnis
- III Tabellenverzeichnis
- IV Anhang zu den Trainingsmethoden
- V Danksagung
- VI Lebenslauf
- VII Eigene Veröffentlichung

## Abkürzungsverzeichnis

ASM	Appendikuläre Skelettmuskelmasse
ASMI	Appendikulärer Skelettmuskelmassenindex
BIA	Bioelektrische Impedanzanalyse
cm	Zentimeter
CRP	C-reaktives Protein
CRT	Chair Rise Test
CT	Computertomographie
DXA	Dual-energy X-ray absorptiometry
DVO	Dachverband Osteologie
ESPEN-SIG	European Society for Clinical Nutrition and Metabolism - Special Interest Groups
EURO-QOL	European Quality of Life Scale
EWGSOP	European Working Group on Sarcopenia in Older People
FNIH	Foundation for the National Institutes of Health
FORMOsA	Forschungsverbund Muskelschwund (Sarkopenie) und Osteoporose – Folgen eingeschränkter Regeneration im Alter
GEDA	Gesundheit in Deutschland aktuell
GH	Growth Hormone/ Wachstumshormon
h	Höhe
Hz	Herz
ICD-10-CM	International Classification of Diseases, 10th Revision, Clinical Modification
IGF-1	Insulin-like growth factor 1
IL-1	Interleukin-1
IL-6	Interleukin-6
IWGS	International Working Group on Sarcopenia
kg	Kilogramm
KT	Krafttrainingsgruppe
L3/L4	Lendenwirbelkörper 3 und 4
m	Meter
m/s	Meter pro Sekunde
mm	Milimeter

MRT	Magnetresonanztomographie
N	Newton
Nm	Newtonmeter
OT	Orthesentrainingsgruppe
QG	Qi Gong Trainingsgruppe
R	Wirkwiderstand (Resistanz)
s	Sekunden
SMI	Skelettmuskelindex
SPPB	Short Physical Performance Battery
TUG	Timed-up and go Test
W	Watt
WBV	Whole Body Vibration (Ganzkörpervibrationstraining)
WHO	World Health Organization/ Weltgesundheitsorganisation
Xc	Kapazitiver Blindwiderstand (Reaktanz)
Xl	Induktiver Blindwiderstand (Induktanz)
Z	Impedanz
6MW	6 Minute Walk Test



## II) Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ursachen der Sarkopenie anlehnend an Cruz-Jenthoft 2010 – EWGSOP (48) Abkürzungen: CRP (C-reaktives Protein), IL-1 (Interleukin-1), IL-6 (Interleukin-6), GH (Growth Hormone/ Wachstumshormon), IGF-1 (Insulin-like growth factor 1) .....	7
Abbildung 2: Algorithmus EWGSOP angelehnt an Cruz-Jenthoft 2010 Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. (48) .....	10
Abb. 3: Ganzkörpervibrationstraining auf der Galileo Vibrationsplatte, Foto: Josiane Lindström (Würzburg, 2019).....	20
Abbildung 4: Schema der Probandenrekrutierung und Teilnehmer im Studienverlauf.....	25
Abbildung 5: Übungen des Krafttrainings von links nach rechts: Rumpfextension, Rumpfflexion, Rumpfpotation, Latissimuszug, Reverse Flys und Beinpresse, Fotos: Josiane Lindström (Würzburg, 2019).....	29
Abbildung 6: Training auf der Galileo Vibrationsplatte von links nach rechts: Einbeinstand, Kniebeuge, Vorfußstand und Kniebeuge tief, Foto: Josiane Lindström (Würzburg, 2019).....	30
Abbildung 7: „Spinomed active men“ Rumpforthese der Fa. Medi GmbH & Co. KG .....	31
Abbildung 8: Übungen des Qi Gong Training, Fotos: Josiane Lindström (Würzburg, 2019).....	32
Abbildung 9: (von links nach rechts) Messung der Extensionskraft und der Flexionskraft des Rumpfes, Foto: Josiane Lindström (Würzburg, 2019) .....	36
Abbildung 10: BIA- Gleichung zur Ermittlung des Skelettmuskelindex nach Janssen(162) .....	37
Abbildung 11: Messung der Handkraft, Foto: Josiane Lindström (Würzburg, 2019) .....	38
Abbildung 12: Short Physical Performance Battery mit Testinhalt, Graphik angelehnt an <i>Guralnik et al.</i> 1994 (15) (von links nach rechts) Side-by-Side Stand, Semi-Tandem Stand, Tandem Stand, Gehgeschwindigkeit und Chair Rise Test, Fotos: Josiane Lindström (Würzburg, 2019).....	40
Abbildung 13: Aufteilung der Teilnehmer in die verschiedenen Gruppen mit Medianen von Alter, Größe, Gewicht und BMI .....	44
Abbildung 14: Vorerkrankungen der Probanden .....	45
Abbildung 15: Medikamentenanamnese der Probanden.....	46
Abbildung 16: Altersverteilung der Gesamtkohorte .....	47
Abbildung 17: Entwicklung des SMI im Gruppenvergleich .....	52
Abbildung 18: Entwicklung der Extensionskraft im Gruppenvergleich.....	55
Abbildung 19: Entwicklung der Flexionskraft im Gruppenvergleich .....	57
Abbildung 20: Entwicklung der Rumpfbeweglichkeit im Gruppenvergleich .....	59
Abbildung 21: Entwicklung der Handkraft im Gruppenvergleich.....	61
Abbildung 22: Entwicklung der Gehgeschwindigkeit im Gruppenvergleich .....	63
Abbildung 23: Entwicklung des CRT im Gruppenvergleich .....	65
Abbildung 24: Entwicklung des SPPB im Verlauf der Studie.....	73
Abbildung 25: Entwicklung des TUG im Gruppenvergleich .....	75
Abbildung 26: Entwicklung des 6MW im Gruppenvergleich .....	77
Abbildung 27: Übersicht der Veränderungen in den 4 Trainingsgruppen nach 6 Monaten: .....	78
Abbildung 28: Prozentualer Anteil der Subgruppen an der Gesamtkohorte von oben nach unten: Probanden $\geq 80$ Jahre, Prä Sarkopene Probanden und multimorbide Probanden .....	80

Abbildung 29: Entwicklung des SMI in den Subgruppen .....	85
Abbildung 30: Entwicklung der Extensionskraft in den Subgruppen .....	87
Abbildung 31: Entwicklung der Flexionskraft in den Subgruppen.....	88
Abbildung 32: Entwicklung des Bewegungsumfang in den Subgruppen.....	90
Abbildung 33: Entwicklung der Handkraft in den Subgruppen .....	91
Abbildung 34: Entwicklung der Gehgeschwindigkeit in den Subgruppen.....	93
Abbildung 35: Entwicklung des CRT in den Subgruppen .....	95
Abbildung 36: Entwicklung der Summe der SPPB in den Subgruppen.....	99
Abbildung 37: Entwicklung des TUG in den Subgruppen.....	101
Abbildung 38: Entwicklung des 6MW in den Subgruppen .....	103
Abbildung 39: Übersicht der Veränderungen in den Subgruppen nach 6 Monaten Training: ..	104

### III) Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Cut-Off Werte der <i>European Working Group on Sarcopenia in Older People</i> (48) Abkürzungen: DXA (Dual-energy X-ray absorptiometry), BIA (Bioelektrische Impedanzanalyse), SMI (Skelettmuskelindex), SPPB (Short Physical Performance Battery), GS (Gehgeschwindigkeit), M (Männer), F (Frauen).....	11
Tabelle 2: Einschlusskriterien .....	26
Tabelle 3: Ausschlusskriterien .....	28
Tabelle 4: Übersicht der Untersuchungen im Studienzeitraum .....	34
Tabelle 5: Punktesystem zur Auswertung des SPPB nach Guralnik et al. 1994 (76).....	41
Tabelle 6: Entwicklung des Körpergewichts im Studienverlauf .....	48
Tabelle 7: Entwicklung des BMI im Studienverlauf.....	49
Tabelle 8: Entwicklung des SMI im Studienverlauf.....	51
Tabelle 9: Entwicklung der Rumpfkraft in Extension im Verlauf der Studie.....	54
Tabelle 10: Entwicklung der Rumpfkraft in Flexion im Verlauf der Studie .....	56
Tabelle 11: Veränderung der Bewegungsumfang des Rumpfes nach 6 Monaten .....	58
Tabelle 12: Entwicklung der Handkraft im Verlauf der Studie .....	60
Tabelle 13: Entwicklung der Gehgeschwindigkeit im Verlauf der Studie.....	62
Tabelle 14: Entwicklung des CRT im Verlauf der Studie .....	64
Tabelle 15: Entwicklung des Side-by-Side Test im Verlauf der Studie.....	66
Tabelle 16: Entwicklung des Semi-Tandem Test im Verlauf der Studie .....	68
Tabelle 17: Entwicklung des Tandem Test im Verlauf der Studie .....	70
Tabelle 18: Entwicklung des SPPB im Verlauf der Studie.....	72
Tabelle 19: Entwicklung des TUG im Verlauf der Studie.....	74
Tabelle 20: Entwicklung des 6MW im Verlauf der Studie .....	76
Tabelle 21: Entwicklung des Körpergewichts der Subgruppen im Studienverlauf.....	82
Tabelle 22: Entwicklung des BMI der Subgruppen im Studienverlauf .....	83
Tabelle 23: Entwicklung des SMI der Subgruppen im Studienverlauf.....	84
Tabelle 24: Entwicklung der Rumpfkraft in Extension in den Subgruppen im Verlauf der Studie .....	86
Tabelle 25: Entwicklung der Rumpfkraft in Flexion in den Subgruppen im Verlauf der Studie...	88

Tabelle 26: Entwicklung des Bewegungsumfang in den Subgruppen im Verlauf der Studie .....	89
Tabelle 27: Entwicklung der Handkraft in den Subgruppen im Verlauf der Studie .....	91
Tabelle 28: Entwicklung der Gehgeschwindigkeit in den Subgruppen im Verlauf der Studie ....	92
Tabelle 29: Entwicklung des CRT in den Subgruppen im Verlauf der Studie.....	94
Tabelle 30: Entwicklung des Side-by-Side Test in den Subgruppen im Verlauf der Studie .....	96
Tabelle 31: Entwicklung des Semi-Tandem Test in den Subgruppen im Verlauf der Studie .....	97
Tabelle 32: Entwicklung des Tandem Test in den Subgruppen im Verlauf der Studie.....	98
Tabelle 33: Entwicklung des SPPB-Punkttestands in den Subgruppen im Verlauf der Studie ...	99
Tabelle 34: Entwicklung des TUG in den Subgruppen im Verlauf der Studie .....	100
Tabelle 35: Entwicklung des 6MW in den Subgruppen im Verlauf der Studie.....	102

Ergänzung zum Nutzungsrecht der Fotografien:

Auf allen Fotografien ist die Doktorandin Sarah Lindström selbst abgebildet, daher wurde kein schriftlicher Nutzungsrechtvertrag angefertigt.

## IV) Anhang zu den Trainingsmethoden

### Übungen des Krafttraining

Die Probanden trainierten zweimal in der Woche unter fachkundiger Anleitung an geführten Geräten im PREDIA - Sport & Gesundheitszentrum (Novum Medicum III. Stock, Schweinfurter Str. 7, 97080 Würzburg). Das Training beinhaltete eine Aufwärmphase von 10 Minuten Radfahren auf dem Fahrradergometer bei geringem Widerstand (50 bis 100 Watt). Anschließend erfolgte ein Kraftaufbautraining mit folgenden Übungen:

A) Extensionsübung des Rumpfes:

Mit fixierten Beinen sitzend drückt der Proband mit dem oberen Rücken gegen einen mit Gewichten verbundenen Hebelarm nach hinten. So werden vorrangig die Muskeln zur Rückenextension trainiert. Die Übung geht 2 Minuten ohne Pause. Die Anzahl an durchgeführten Wiederholungen in diesem Zeitraum ist je nach Probanden unterschiedlich. Alle 3 Wochen wurde das Gewicht individuell gesteigert (+0,5 kg bis + 1 kg)

B) Flexionsübung des Rumpfes:

Mit fixierten Beinen sitzend drückt der Proband mit der Brust gegen einen mit Gewichten verbundenen Hebelarm nach vorne. So werden vorrangig die Muskeln zur Rückenflexion trainiert. Die Übung geht 2 Minuten ohne Pause. Die Anzahl an durchgeführten Wiederholungen in diesem Zeitraum ist je nach Probanden unterschiedlich. Alle 3 Wochen wurde das Gewicht individuell gesteigert (+0,5 kg bis + 1 kg)

C) Rotationsübung des Rumpfes:

Mit fixierten Beinen sitzend drückt der Proband mit dem Oberkörper gegen mit Gewichten verbundenen parallelen Hebelarmen abwechselnd nach links und rechts bis zur maximalen Rotation. So werden die Muskeln zur Rückenrotation trainiert. Die Übung geht 2 Minuten ohne Pause. Die Anzahl an durchgeführten Wiederholungen in diesem Zeitraum ist je nach

Probanden unterschiedlich. Alle 3 Wochen wurde das Gewicht individuell gesteigert (+0,5 kg bis + 1 kg)

D) Latissimuszug:

Der Proband zieht mit beiden Händen an einer mit Gewichten verbundenen schwebenden Stange, welche er zur Brust nach unten zieht. Die Arme winkeln sich dabei zur Seite axial zum Körper nach unten. Die Hauptkraft wird durch den breiten Rückenmuskel (M. latissimus dorsi) erzeugt.

Bei der Übung wurden jeweils 3 Sets von 15 Zügen mit einer Pause dazwischen durchgeführt. Alle 3 Wochen wurde das Gewicht individuell gesteigert (+0,5 kg bis + 1 kg).

E) Revers Flys:

Der Proband drückt mit der Oberarmrückseite gegen zwei mit Gewichten verbundenen Hebelarme nach hinten. Die Arme des Probanden sind im 90° Winkel gebeugt. Die Reverse Flys zielen hauptsächlich auf die Stärkung vom mittlern Teil vom Trapezmuskel (Musculus trapezius pars transversa) und den hinteren Deltamuskel (Musculus deltoideus pars spinalis) der Schultermuskulatur. Ebenfalls wird dabei der große und kleine Rautenmuskel (Musculus rhomboideus major und Musculus rhomboideus minor). Diese liegen unterhalb des Trapezius. Bei der Übung wurden jeweils 3 Sets von 15 Zügen mit einer Pause dazwischen durchgeführt. Alle 3 Wochen wurde das Gewicht individuell gesteigert (+0,5 kg bis + 1 kg).

F) Beinpresse:

Der Proband liegt auf dem Rücken und drückt mit beiden Beinen gegen eine senkrechte Gewichtsplatte. Beginnend sind die Beine im 90° Winkel gebeugt. Bei der Kraftausübung wird der Körper auf der Liegefläche nach oben gedrückt, bis die Beine fast gestreckt sind. Dann erfolgt die Bewegung langsam zurück in die Ausgangsposition. In dieser Übung werden der vierköpfige Oberschenkelmuskel (Musculus. quadrizeps femoris), der Beinbizeps (Musculus biceps femoris) und der große Gesäßmuskel (M. gluteus maximus) trainiert. Es wurden ebenfalls jeweils 3 Sets von 15 Zügen mit einer Pause dazwischen durchgeführt. Alle 3 Wochen wurde das Gewicht individuell gesteigert (+0,5 kg bis + 1 kg).

## Anhang zum Vibrationstraining

### A) Einstiegstest Galileo Vibrationsplatte

B)

Um einen optimalen Trainingsreiz setzen zu können und den Trainingsplan somit zu strukturieren, erfolgt bei allen Probanden ein Einstiegstest. Dieser Test ermöglicht eine Einteilung in jeweils eine der drei Gruppen. Voraussetzung ist eine unterzeichnete Einwilligungserklärung und das Überprüfen der Ein- und Ausschlusskriterien.

### Testablauf

#### 1. Position:

- Hüftbreite Position
- auf Gelenkachse achten
- Tiefe Kniebeuge einnehmen, nicht festhalten Fußposition/ Amplitude 2

#### 2. Durchführung:

Das Gerät wird auf 22 Hz für 5 Minuten eingestellt. Mit dem Start der Vibration erfolgt die Zeitmessung. Gemessen wird die Dauer, die sich der Proband in o.g. Position halten kann.

Kann er die Position nicht mehr halten, ist er angehalten aus der Position in den Stand zu kommen. Dies kann durch muskuläre Ermüdung, Unwohlsein, „brennende Oberschenkel“ oder zu starke Vibration im Kopf erfolgen.

Die Zeit wird sofort abgelesen und die Vibration durch Betätigen der Stopptaste beendet.

#### 3. Gruppeneinteilung:

Die Zeiten entnehmen Sie bitte nachfolgender Tabelle.

22Hz	Leicht-Gruppe 1	Mittel-Gruppe 2	Schwer-Gruppe 3
Fußposition	2	2	2
Dauer in Sekunden	0-30 Sekunden	31-60 Sekunden	>60 Sekunden

#### 4. Ergebnis:

Haltedauer in Sekunden: \_ \_ \_ \_ \_

Einteilung in Gruppe: \_ \_ \_ \_ \_

Bemerkungen:

## C) Galileo Vibrationsplatte Trainingsprogramm

### Übungen:

1. Einbeinstand: 30 Sekunden je Seite auf Amplitude 0 (Fußstellung in der Mitte der Platte)
2. Kniebeuge beidbeinig: Fersen bleiben auf der Platte, Knie kommen nicht über die Fußspitze  
Amplitude je nach Schwierigkeitsgrad
3. Vorfußstand: Vorfuß befindet sich am Rand der Vibrationsplatte, freistehende Fersen gehen hoch und runter (Wadentraining), Amplitude je nach Schwierigkeitsgrad
4. Kniebeuge tief: Fersen bleiben auf der Platte, langsam in die Hocke gehen bis 110°, langsam wieder hoch, Amplitude je nach Schwierigkeitsgrad

Die Pausendauer zwischen den Übungen beträgt 1 Minute.

### Wichtige Information:

- Während der gesamten Trainingsdauer ist es unumgänglich, dass geschultes Personal den Probanden überwacht.
- Das gesundheitliche Wohl des Probanden ist zu gewährleisten. Bei Unwohlsein oder Schwindel des Probanden ist das Training sofort zu unterbrechen.
- Nicht jede Fußstellung und Frequenzstufe wird von jedem Probanden toleriert und vertragen. Sollte die Vibration zu stark sein oder die Position vom Probanden nicht gehalten werden können, ist diese zu korrigieren und dies zu notieren.
- Die Probanden bitte keine Übungen mit direkter Armauflage auf dem Galileo durchführen lassen, wie z.B. Liegestütze (Shunt!)
- Wenn es die Übung erfordert, halten sich alle Probanden fest. Probanden mit Stand- oder Gleichgewichtsproblemen halten sich generell fest.
- Alle standsicheren Probanden führen die Übungen, ohne festzuhalten durch.



i) Trainingsprogramm Gruppe 1 -leicht

	Übung	Amplitude	Frequenz	Dauer in Sekunden	Anzahl	Datum
Woche 1-4	Einbeinstand	0	5 Hz	30/Seite	1x	
	Kniebeuge	0,5	14 Hz	30	1x	
	Vorfußstand	0,5	20 Hz	30	1x	
	Kniebeuge tief	0,5	20 Hz	30	1x	
Woche 5-8	Einbeinstand	0	5,5 Hz	30/Seite	1x	
	Kniebeuge	0,5	14,5 Hz	45	1x	
	Vorfußstand	0,5	20,5 Hz	45	1x	
	Kniebeuge tief	0,5	20,5 Hz	45	1x	
Woche 9-12	Einbeinstand	0	6 Hz	30/Seite	1x	
	Kniebeuge	1	15 Hz	45	2x	
	Vorfußstand	1	21 Hz	45	2x	
	Kniebeuge tief	1	21 Hz	45	2x	
Woche 13-16	Einbeinstand	0	6,5 Hz	30/Seite	1x	
	Kniebeuge	1	15,5 Hz	60	2x	
	Vorfußstand	1	21,5 Hz	60	2x	
	Kniebeuge tief	1	21,5 Hz	60	2x	
Woche 17-20	Einbeinstand	0	7 Hz	30/Seite	1x	
	Kniebeuge	1,5	16 Hz	60	2x	
	Vorfußstand	1,5	22 Hz	60	2x	
	Kniebeuge tief	1,5	22 Hz	60	2x	
Woche 21-24	Einbeinstand	0	7,5 Hz	30/Seite	1x	
	Kniebeuge	1,5	16,5 Hz	75	2x	
	Vorfußstand	1,5	22,5 Hz	75	2x	
	Kniebeuge tief	1,5	22,5 Hz	75	2x	

ii) Trainingsprogramm Gruppe 2 -mittel

	Übung	Amplitude	Frequenz	Dauer in Sekunden	Anzahl	Datum
Woche 1-4	Einbeinstand	0	6 Hz	30/Seite	1x	
	Kniebeuge	1,5	15 Hz	30	1x	
	Vorfußstand	1,5	22 Hz	30	1x	
	Kniebeuge tief	1,5	22 Hz	30	1x	
Woche 5-8	Einbeinstand	0	6,5 Hz	30/Seite	1x	
	Kniebeuge	1,5	15,5 Hz	45	1x	
	Vorfußstand	1,5	22,5 Hz	45	1x	
	Kniebeuge tief	1,5	22,5 Hz	45	1x	
Woche 9-12	Einbeinstand	0	7 Hz	30/Seite	1x	
	Kniebeuge	2	16 Hz	45	2x	
	Vorfußstand	2	23 Hz	45	2x	
	Kniebeuge tief	2	23 Hz	45	2x	
Woche 13-16	Einbeinstand	0	7,5 Hz	30/Seite	1x	
	Kniebeuge	2	16,5 Hz	60	2x	
	Vorfußstand	2	23,5 Hz	60	2x	
	Kniebeuge tief	2	23,5 Hz	60	2x	
Woche 17-20	Einbeinstand	0	8 Hz	30/Seite	1x	
	Kniebeuge	2,5	17 Hz	60	2x	
	Vorfußstand	2,5	24 Hz	60	2x	
	Kniebeuge tief	2,5	24 Hz	60	2x	
Woche 21-24	Einbeinstand	0	8,5 Hz	30/Seite	1x	
	Kniebeuge	2,5	17,5 Hz	75	2x	
	Vorfußstand	2,5	24,5 Hz	75	2x	
	Kniebeuge tief	2,5	24,5 Hz	75	2x	

iii) Trainingsprogramm Gruppe 3 -schwer

	Übung	Amplitude	Frequenz	Dauer in Sekunden	Anzahl	Datum
Woche 1-4	Einbeinstand	0	7 Hz	30/Seite	1x	
	Kniebeuge	2	16 Hz	30	1x	
	Vorfußstand	2	23 Hz	30	1x	
	Kniebeuge tief	2	23 Hz	30	1x	
Woche 5-8	Einbeinstand	0	7,5 Hz	30/Seite	1x	
	Kniebeuge	2	16,5 Hz	45	1x	
	Vorfußstand	2	23,5 Hz	45	1x	
	Kniebeuge tief	2	23,5 Hz	45	1x	
Woche 9-12	Einbeinstand	0	8 Hz	30/Seite	1x	
	Kniebeuge	2,5	17 Hz	45	2x	
	Vorfußstand	2,5	24 Hz	45	2x	
	Kniebeuge tief	2,5	24 Hz	45	2x	
Woche 13-16	Einbeinstand	0	8,5 Hz	30/Seite	1x	
	Kniebeuge	2,5	17,5 Hz	60	2x	
	Vorfußstand	2,5	24,5 Hz	60	2x	
	Kniebeuge tief	2,5	24,5 Hz	60	2x	
Woche 17-20	Einbeinstand	0	9 Hz	30/Seite	1x	
	Kniebeuge	3	18 Hz	60	2x	
	Vorfußstand	3	25 Hz	60	2x	
	Kniebeuge tief	3	25 Hz	60	2x	
Woche 21-24	Einbeinstand	0	10 Hz	30/Seite	1x	
	Kniebeuge	3	19 Hz	75	2x	
	Vorfußstand	3	25,5 Hz	75	2x	
	Kniebeuge tief	3	25,5 Hz	75	2x	

## Anhang zum Qi Gong Training

### Übungen des Qi Gong

Die Probanden führten nach einer kurzen Aufwärmphase, von Entspannungsmusik begleitet, verschiedene Übungen des Qi Gong durch. Die Trainingsdauer beträgt 25-30 Minuten. Die einzelnen Übungen wurden jeweils mehrmals hintereinander durchgeführt:

- 1) Augen schließen und Atmen (durch die Nase ein und durch den Mund aus)
- 2) Schwingen von einem Bein auf das Andere, die Arme mitschwingen lassen, die Bewegung wird größer, der Kopf dreht sich mit nach hinten und Arme kommen gestreckt auf Schulterhöhe
- 3) „Den Mond anblicken“: die Bewegung wird viel langsamer, die Arme schwingen diagonal von einer Seite zur anderen
- 4) „Qi wecken“: den ganzen Körper abklopfen
- 5) „Den Tag begrüßen“: die Hände in den Lendenbereich legen und einatmen, dann ausatmen dabei mit den Armen an der Beinaußenseite nach unten wandern, einmal die Zehen mit den Händen umkreisen, langsam wieder hoch
- 6) „Den Wolken teilen und den Mond umfassen“: die Hände mit den Handflächen nach oben vor dem Becken halten, dann mit einer Einatmung zur Seite nach oben führen (Wolken teilen). Auf Höhe des Gesichts die Finger zusammenführen und die Position halten (Mond halten)
- 7) „Den Regenbogen schieben“: die Arme gestreckt über den Kopf von einer Seite zur anderen führen
- 8) „Nach vorne Boxen“: den Oberkörper anspannen und mit den Händen zu einer Faust geballt langsam nach vorne boxen
- 9) „Den Berg schieben“: im Ausfallschritt die Hände auf Gesichtshöhe nach vorne schieben, das Gewicht wird dabei auf den vorderen Fuß gelegt, ggf. auch in Einbeinstand
- 10) „Kondor breitet seine Flügel aus“: Beginn im Ausfallschritt, das Gewicht auf das vordere Bein verlagern, den Oberkörper nach vorne beugen und dabei die Arme wie Flügel zur Seite anheben, wenn möglich das hintere Bein vom Boden abheben, dann wieder in den Ausfallschritt zurück

- 11) „Am großen Rad drehen“: im hüftbreiten Stand die Arme über den Kopf strecken, dann mit gestreckten Armen eine kreisende Bewegung bis zum Boden und wieder hinauf durchführen
- 12) „Bogen spannen und einatmen“: den Oberkörper und den Kopf zur Seite drehen, dabei ausatmen, mit den Armen auf Brusthöhe einen Bogen spannen und dabei einatmen, den Bogen loslassen und ausatmen und Füße wieder zusammenstellen
- 13) „Zwei Ringe umarmen den Mond“: mit den Armen auf Höhe des Unterbauchs einen Kreis formen und die Position halten, gleichmäßig atmen
- 14) „Das Qi beruhigen“: die Hände auf die Brust legen, die Augen schließen, durch die Nase einatmen und durch den Mund ausatmen

## V) Danksagung

Den ersten Dank würde ich gerne Herr Doktor Seefried widmen, der mir ermöglichte in seiner Abteilung meine Dissertation anfertigen zu dürfen. Als Leiter des Schwerpunkt Osteologie und Osteoporose der Universität Würzburg, hat er mich für dieses Fachgebiet begeistert und mich sehr gefördert.

Ein ganz besonderer Dank gilt Frau Dr. Franca Genest für ihre ausgezeichnete und liebevolle Betreuung während der gesamten Zeit, von der Datenerhebung bis hin zur Erstellung der Dissertationsschrift. Ihre wissenschaftliche Expertise, ihre Anregungen und ihre motivierende Unterstützung haben mich über den gesamten Zeitraum gestärkt. Durch sie habe ich sehr viel über das wissenschaftliche Arbeiten lernen können. Ich hätte mir keine bessere Betreuerin für diese Arbeit wünschen können.

Weiterhin danke ich Frau Nicole Lutschke. Durch Ihre Hilfe und gute Organisation konnte ich die vielen Tests mit den Probanden problemlos durchführen.

Ein großer Dank geht auch an das Predia Sport und Gesundheitszentrum Würzburg, das mir ermöglichte das Krafttraining in ihrem hervorragenden Zentrum durchzuführen. Insbesondere danke ich, Frau Yvonne Müller, die mich dort sehr unterstützt hat und mir viel Wissen über das Krafttraining weitergegeben hat.

Ein weiterer besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mich während der Erarbeitung dieser Doktorarbeit stetig unterstützt haben. Insbesondere danke ich meiner Mutter für die vielen Gespräche und ihre unermüdliche, liebevolle Hilfe.

## **VII) Eigene Veröffentlichung**

Genest F, Lindström S, Scherer S, Schneider M, Seefried L. Feasibility of simple exercise interventions for men with osteoporosis - A prospective randomized controlled pilot study. Bone Rep. 2021 Jun 24;15:101099. doi: 10.1016/j.bonr.2021.101099. PMID: 34258330; PMCID: PMC825517

## **Eidesstattliche Erklärung**

„Ich, Sarah Ingrid Lindström, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Evaluation von Analysemethoden zur Validierung der Effektivität alltagstauglicher Trainingsmethoden bei älteren Männern mit osteoporotischen Veränderungen“ selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Berlin, den 23.09.2022

Sarah Ingrid Lindström