

Aus der Klinik für Radiologie und Nuklearmedizin  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin  
Zentrum für Muskel- und Knochenforschung

DISSERTATION

**Neuromuskuläre Funktion und ihr Einfluss auf Stürze,  
Sarkopenie und Funktionseinschränkungen im Alter**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor rerum medicinalium (Dr. rer. medic.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Roswitha Dietzel

aus Erlangen

Datum der Promotion: 09.12.2016

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. ABSTRAKT DEUTSCH</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. ABSTRACT ENGLISH</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3. EINLEITUNG</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4. PUBLIKATION 1</b> .....	<b>7</b>
<i>Fragestellungen</i> .....	<b>7</b>
<i>Methodik</i> .....	<b>7</b>
<i>Ergebnisse</i> .....	<b>9</b>
<b>1.5. PUBLIKATION 2</b> .....	<b>10</b>
<i>Fragestellungen</i> .....	<b>10</b>
<i>Methodik</i> .....	<b>10</b>
<i>Ergebnisse</i> .....	<b>12</b>
<b>1.6. PUBLIKATION 3</b> .....	<b>13</b>
<i>Fragestellungen</i> .....	<b>13</b>
<i>Methodik</i> .....	<b>13</b>
<i>Ergebnisse</i> .....	<b>14</b>
<b>1.7. DISKUSSION</b> .....	<b>16</b>
<b>1.8. LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>19</b>
<b>2. EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG</b> .....	<b>21</b>
<b>3. ANTEILSERKLÄRUNG</b> .....	<b>22</b>
<b>4. AUSGEWÄHLTE PUBLIKATIONEN</b> .....	<b>24</b>
<b>5. LEBENS LAUF</b> .....	<b>25</b>
<b>6. PUBLIKATIONS LISTE</b> .....	<b>26</b>
<b>7. DANKSAGUNG</b> .....	<b>27</b>

# 1. ZUSAMMENFASSUNG

## 1.1. Abstrakt Deutsch

**Einleitung:** Der Alterungsprozess ist charakterisiert durch einen Abbau von Muskelmasse und Muskelfunktion, wobei die Muskelfunktion stärker abnimmt als die Muskelmasse und auch in einem höheren Maße verantwortlich ist für Behinderungen im Alter. Zudem gibt es Hinweise, dass die Muskelleistung mit dem Alter früher und stärker abnimmt als die Maximalkraft. Für die Zukunft gilt es, Messmethoden zu entwickeln, die den funktionellen Abbau frühzeitig und präzise erfassen. In der vorliegenden Arbeit sollen die Messmethoden der Mechanographie und der Ganganalyse im Zusammenhang mit Stürzen, Sarkopenie und Beeinträchtigung in den Aktivitäten des täglichen Lebens untersucht werden.

**Methodik:** Grundlage der vorliegenden Arbeit bilden die Daten aus der populationsbasierten, altersstratifizierten Querschnittsstudie „Muscle\_Survey“ mit Männern und Frauen zwischen 20-85 Jahren (n=704) sowie einer Längsschnittstudie „VPHOP“ an 80 postmenopausalen Frauen über 60 Jahren aus Berlin. In der „Muscle\_Survey Studie“ wurden Stürze in den letzten 12 Monaten, Einschränkungen in den Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL), die Körperzusammensetzung mittels Dualer Röntgen-Absorptiometrie (DXA) sowie die Muskelfunktion (Mechanographie) erhoben. Mittels Regressionsanalysen wurde der Zusammenhang zwischen der Muskelfunktion mit Stürzen, Sarkopenie und Beeinträchtigung in den Aktivitäten des täglichen Lebens ermittelt. In der „VPHOP Studie“ wurde die Muskelkraft und die Kräfteinsatzdifferenzierungsfähigkeit der unteren Extremitäten, die statische Balance (Posturographie) sowie der Gang anhand von drei-dimensionalen Bewegungsanalyse mit einem optischen Messsystem (Vicon) ermittelt. Durch Hauptkomponentenanalyse wurden aussagekräftige Komponenten aus den Muskelfunktionsparametern extrahiert und auf ihre Prädiktionskraft in der Sturzvorhersage untersucht.

**Ergebnisse:** Sowohl Männer als auch Frauen zeigten einen Abbau der Muskelleistung von der dritten zur neunten Lebensdekade von 40-50%. Die Abnahme der Muskelleistung ( $R^2=0.54$  bis  $R^2=0.70$ ) lässt sich zu einem höheren Ausmaß durch Alter und Geschlecht erklären als die Abnahme der Muskelkraft ( $R^2=0.18$  bis  $R^2=0.36$ ). In der „VPHOP Studie“ zeigte sich ein signifikanter Einfluss auf Stürze im 12 Monats-Follow-up für die drei Hauptkomponenten räumliche Gangparameter ( $p=0.005$ ), Variabilität zeitlicher Gangparameter links ( $p=0.093$ ) und Variabilität zeitlicher Gangparameter rechts ( $p=0.022$ ). ADL-Einschränkung war

signifikant korreliert mit allen Mechanographie Tests. Die Muskelleistung im Zweibeinsprung (OR 0.88, 95%-CI 0.79-0.98) und die maximale Geschwindigkeit im Aufstehetest (OR 0.70, 95%-CI 0.53-0.93) blieben signifikante Korrelate für Sarkopenie unabhängig vom Alter in beiden Geschlechtern. Die Muskelleistung im Zweibeinsprung konnte über den Esslinger Fitness Index bei Frauen Stürzer von Nicht-Stürzern differenzieren (OR 0.96, 95%-CI 0.93-0.98).

**Schlussfolgerungen:** Es konnten modifizierbare Einflussgrößen im Zusammenhang mit Stürzen, Sarkopenie und Funktionseinschränkungen im Alltag benannt werden. Die Ergebnisse können dazu beitragen, von einem funktionellen Abbau gefährdete Personen frühzeitig zu identifizieren, um geeignete präventive Maßnahmen ergreifen und auf ihre Wirksamkeit überprüfen zu können.

## 1.2. Abstract English

**Introduction:** The process of aging is characterised by a reduction of muscle mass and function, with muscle function declining more strongly than muscle mass and being responsible to a larger extent for disability in old age. Furthermore, there is evidence that, with age, the decrease of muscle power takes place earlier and more strongly than the decrease of the muscles' maximum force. For the future, it is therefore necessary to develop measurement techniques that can detect functional decline at an early stage and accurately. For this purpose, the present thesis will examine the measuring techniques of mechanography and gait analysis in the context of falls, sarcopenia and impairment in the activities of daily living (ADL).

**Methods:** The data used for the present thesis were taken, on the one hand, from the population-based age-specific cross-sectional study named "Muscle\_Survey", including men and women aged between 20 and 85 years (n=704), and, on the other hand, from a longitudinal study, i.e. the "VPHOP Study", including 80 postmenopausal women from Berlin aged over 60 years. The "Muscle\_Survey Study" recorded falls during the last 12 months, impairment of ADL and measured the body composition using dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) as well as muscle function through mechanography. The correlations between muscle function and falls, sarcopenia and impairment of ADL were then determined by means of regression analyses. The "VPHOP Study", in turn, assessed muscle force, the

capacity of differentiated muscle force generation in the lower extremities, static posturography and gait by means of three-dimensional motion analysis using the optical measurement system of Vicon. Through principal component analysis, this thesis identified here the significant components among the muscle function parameters and assessed them as to their forecasting power with respect to falls.

**Results:** Both, men and women, showed a reduction of muscle power of 40 to 50% from the third decade to the ninth. The reduction of muscle power ( $R^2=0.54$  to  $R^2=0.70$ ) can therefore be better explained as consequence of age and biological sex than the decrease of muscle force ( $R^2=0.18$  to  $R^2=0.36$ ). Based on the data of the “VPHOP Study”, for the three main components, i.e. the spatial gait parameter ( $p=0.005$ ), the variability of the temporal gait parameter on the left side ( $p=0.093$ ) and the variability of the temporal gait parameter on the right side ( $p=0.022$ ), we could observe a significant influence on falls during the 12 months follow-up. Impairment of ADL significantly correlated with all mechanography tests. The muscle power in the single two-legged jump (OR 0.88, 95%-CI 0.79-0.98) and the maximum chair-rise test velocity (OR 0.70, 95%-CI 0.53-0.93), on the other hand, remained significant correlates for sarcopenia in case of both sexes and independently of the patient’s age. By using the Esslinger Fitness Index, and based on the muscle power in the single two-legged jump, we could differentiate between fall patients and non-fallers among women (OR 0.96, 95%-CI 0.93-0.98).

**Conclusions:** The present study could identify modifiable influencing factors in the context of falls, sarcopenia and impairment of ADL. These findings can contribute to the early detection of patients at risk of functional decline in order to be able to adopt the appropriate preventive measures and to review them with respect to their effectiveness.

### 1.3. Einleitung

Der Alterungsprozess ist gekennzeichnet durch einen stetigen Abbau der Muskelfunktion. Rosenberg prägte erstmals den Begriff der Sarkopenie abgeleitet aus dem griechischen „sarx“ für Fleisch und „penia“ für Mangel. In seiner ursprünglichen Form beschreibt der Begriff den Verlust an Muskelgewebe mit dem Alter. Im Zuge großer US-amerikanischer, epidemiologischer Studien wurde Sarkopenie auf verschiedene Weise operationalisiert. Als sarkopenisch gilt, wenn die Summe der Muskelmasse von Armen und Beinen normalisiert auf die Körpergröße geschlechtsspezifisch zwei Standardabweichungen unterhalb des Mittelwertes der Referenz der 20-30 Jährigen liegt. Alternativ wird als Schwellenwert auch die unterste Quintile der 60-70 Jährigen herangezogen

Sowohl für die isometrische Kraft als auch für das Drehmoment konnte ein altersbedingter Abbau nachgewiesen werden. Neuere Definitionen von Sarkopenie integrieren zusätzlich zum Abbau von Muskelgewebe auch die mit dem Alter abnehmende Muskelfunktion wie niedrige Handkraft oder Verlangsamung der Gehgeschwindigkeit in die Definition der Sarkopenie [1-3], da die Abnahme der Muskelfunktion mit funktioneller Beeinträchtigung und Behinderung im Alter assoziiert ist [4].

Eine steigende Anzahl an Studien belegt, dass Muskelmasse bzw. Muskelgröße und Muskelfunktion nicht in gleichem Maße mit dem Alter abnehmen. So weisen Untersuchungen über eine weite Altersspanne vom jungen Erwachsenen bis zum Hochaltrigen darauf hin, dass die Muskelfunktion früher und stärker abnimmt als die Muskelmasse bzw. Muskelgröße. Delmonico et al [4] zeigen in einer longitudinalen Studie an 1678 Älteren, dass nach 5 Jahren Männer im Schnitt 16% an Drehmoment der Knieextensoren, aber nur 5% an Muskelquerschnittsfläche des Quadrizeps verloren und bei Frauen im Schnitt 13% Drehmoment der Knieextensoren und 3% an Muskelquerschnittsfläche abnahmen. Studien an älteren Menschen lassen erkennen, dass die Abnahme der Muskelfunktion auch stärker mit funktioneller Einschränkung in den Aktivitäten des Lebens einhergeht als der Verlust der Muskelmasse.

Diverse Studien zum Thema Muskeln und Alter betonen die Rolle der Muskelleistung (Produkt aus Muskelkraft und Geschwindigkeit, mit der die Kraft generiert werden

kann), da diese stärker mit funktionellem Status assoziiert ist als Muskelkraft [5]. Zudem gibt es Hinweise aus zwei longitudinalen Studien, in denen sowohl Muskelkraft als auch Muskelleistung untersucht wurden, dass die Muskelleistung über die Lebensspanne zu einem früheren Zeitpunkt und in einem größeren Ausmaß abnimmt als die Muskelkraft [6].

Ein Review zu Muskelparametern und ihrem Einfluss auf Mobilität im Alter betont den Stellenwert der Muskelleistung, da diese einen höheren Anteil der Varianz im Regressionsmodell in Bezug auf Mobilität erklärt als Muskelkraft oder Drehmoment. Der Abbau der Muskelleistung wird in Verbindung gebracht mit einer Verringerung der Anzahl und der Größe von Typ II Muskelfasern, einer Zunahme an intramuskulärer Fettinfiltration, Veränderungen der Muskelarchitektur und der neuromuskulären Aktivierung sowie Veränderungen im Hormonstatus, in der Proteinsynthese und bei den Entzündungsmarkern.

In der älteren Bevölkerung stellen Stürze eine der häufigsten Gründe für Morbidität und Mortalität dar und sind, insbesondere auch in Kombination mit einer verminderten Knochenfestigkeit, für hohe Kosten im Gesundheits- und Sozialwesen verantwortlich. Stürze sind multikausal bedingt mit einer komplexen Interaktion von intrinsischen und extrinsischen Faktoren. Zu den wichtigsten Risikofaktoren zählen eine reduzierte neuromuskuläre Kapazität wie Muskelschwäche, Gleichgewichtsstörungen oder Gangunsicherheit, eine positive Sturzanamnese, Abhängigkeit von Hilfsmitteln, Sehstörungen, Arthrose, Depression, kognitive Einschränkungen sowie ein Alter über 80 Jahren.

Schnelle Bewegungen vor allem in den unteren Extremitäten generieren zu können, ist eine Voraussetzung dafür, die posturale Kontrolle gegen die Schwerkraft zu erhalten und damit altersassoziierte Stürze zu verhindern. Die üblicherweise gemessene Muskelleistung über einem Gelenk (z.B. Kniegelenk) erlaubt keine ausreichenden Schlüsse darüber, ob die erforderliche Muskelleistung unter Alltagbewegungen über mehrere Gelenke gegen die Schwerkraft entwickelt werden kann. Während eine Vielzahl an Studien eine verminderte Muskelkraft als unabhängigen Risikofaktor für Stürze dokumentiert, ist der Zusammenhang zwischen Muskelleistung und Stürzen weniger gut untersucht.

Epidemiologische Studien belegen, dass 30-70% der altersassoziierten Stürze sich beim Gehen ereignen. Die Gehgeschwindigkeit sowie das Ausmaß der Variabilität bei Gleichgewichtsaufgaben und im Gangmuster sind als prädiktive Parameter im Zusammenhang mit altersassoziierten Stürzen beschrieben worden und es gibt Hinweise, dass die Variabilität in Gangparametern die Ursache und nicht die Konsequenz von Stürzen sein könnte. Da eine positive Sturzanamnese einer der wichtigsten unabhängigen Risikofaktoren für inzidente Stürze darstellt, gilt es in prospektiven Erhebungen herauszuarbeiten, inwieweit die Variabilität im Gang, im Gleichgewicht oder in der Krafteinsatzfähigkeit für sich zur Identifizierung von „Erst-Stürzern“ herangezogen werden kann.

Eine grundlegende Schwäche der Studien zur Muskelfunktion ist die uneinheitliche Definition des Begriffs „muscle strength“, da hier unterschiedlichste Qualitäten der Muskelfunktion wie Muskelkraft, Muskelleistung oder Drehmoment mit verschiedensten Winkelgeschwindigkeiten unter einem Begriff subsumiert werden. Diese fehlende Differenzierung zwischen Kraft und Leistung ist problematisch, da nicht nur ein Vergleich zwischen Studienergebnissen erschwert wird, sondern auch zwei verschiedene Arten der Muskelaktivität zusammengefasst werden, die vom Alter unterschiedlich stark beeinflusst werden.

In zwei der vorliegenden Publikationen kommt daher die Methode der Mechanographie zum Einsatz, mit der akkurat zwischen Muskelkraft und -leistung während einer Bewegung differenziert werden kann. Das System zeichnet den Verlauf der Bodenreaktionskraft während einer Bewegung auf, die Geschwindigkeit der vertikalen Bewegung des Masseschwerpunkts sowie die Muskelleistung als Produkt von Kraft und Geschwindigkeit. Dieser mechanische Ansatz erlaubt den direkten Vergleich zwischen Muskelkraft und -leistung während eines komplexen physiologischen Bewegungsablaufs. Bei den Untersuchungen werden keine Zusatzgewichte eingesetzt, sondern es wird die Bewegung der Körpermasse gegen die Schwerkraft analysiert, wie es der Bewegung unter Alltagsbedingungen entspricht.

Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels mit einem wachsenden Anteil an alten und vor allem an hochaltrigen Menschen gilt es, geeignete Messverfahren zu entwickeln, die einen Abbau der muskulären Funktion frühzeitig erkennen. Die



Ergebnisse der Promotion können dazu beitragen, das komplexe Phänomen der altersassoziierten Stürze, der Sarkopenie und Einschränkungen in den Aktivitäten des täglichen Lebens besser zu verstehen, um Ansätze für zukünftige Screening Programme sowie präventive Trainingsinterventionen daraus ableiten zu können.

#### **1.4. Publikation 1**

Grundlage der vorliegenden Darstellungen bilden die Daten aus der populationsbasierten, alterstratifizierten Querschnittsstudie „Muscle\_Survey“ mit Männern und Frauen zwischen 20-85 Jahren (n=704) aus Berlin.

#### **Fragestellungen**

Untersuchung des Einflusses von Alter und Geschlecht auf die Muskelkraft und Muskelleistung der unteren Extremitäten gemessen mittels Mechanographie sowie die Erhebung von Referenzdaten für Männer und Frauen zwischen 20-85 Jahren zu Muskelkraft und -leistungsparametern.

#### **Methodik**

Es handelt sich um eine populationsbasierte, epidemiologische Querschnittsstudie. Die Rekrutierung erfolgte über eine repräsentative Zufallsstichprobe des Einwohnermeldeamtes Berlin Mitte. Ziel war es, 780 Teilnehmer im Alter von 20–85 Jahren zu rekrutieren, d.h. je 30 weibliche und männliche Teilnehmer pro 5-Jahres-Altersstratum. Die Studie wurde durch die Ethikkommission der Charité (Votum EA4/095/05) sowie durch das Bundesamt für Strahlenschutz (Votum Z5-22462/2-2005-063) genehmigt.

#### Einschlusskriterien

- Männer und Frauen im Alter von 20 bis 85 Jahren
- Vorliegen einer schriftlichen Einwilligung nach Patientenaufklärung

#### Ausschlusskriterien

- Fehlende Durchführbarkeit einer validen Messung der Ganzkörperkomposition mittels DXA, z.B. Implantate, Ödeme, Amputationen

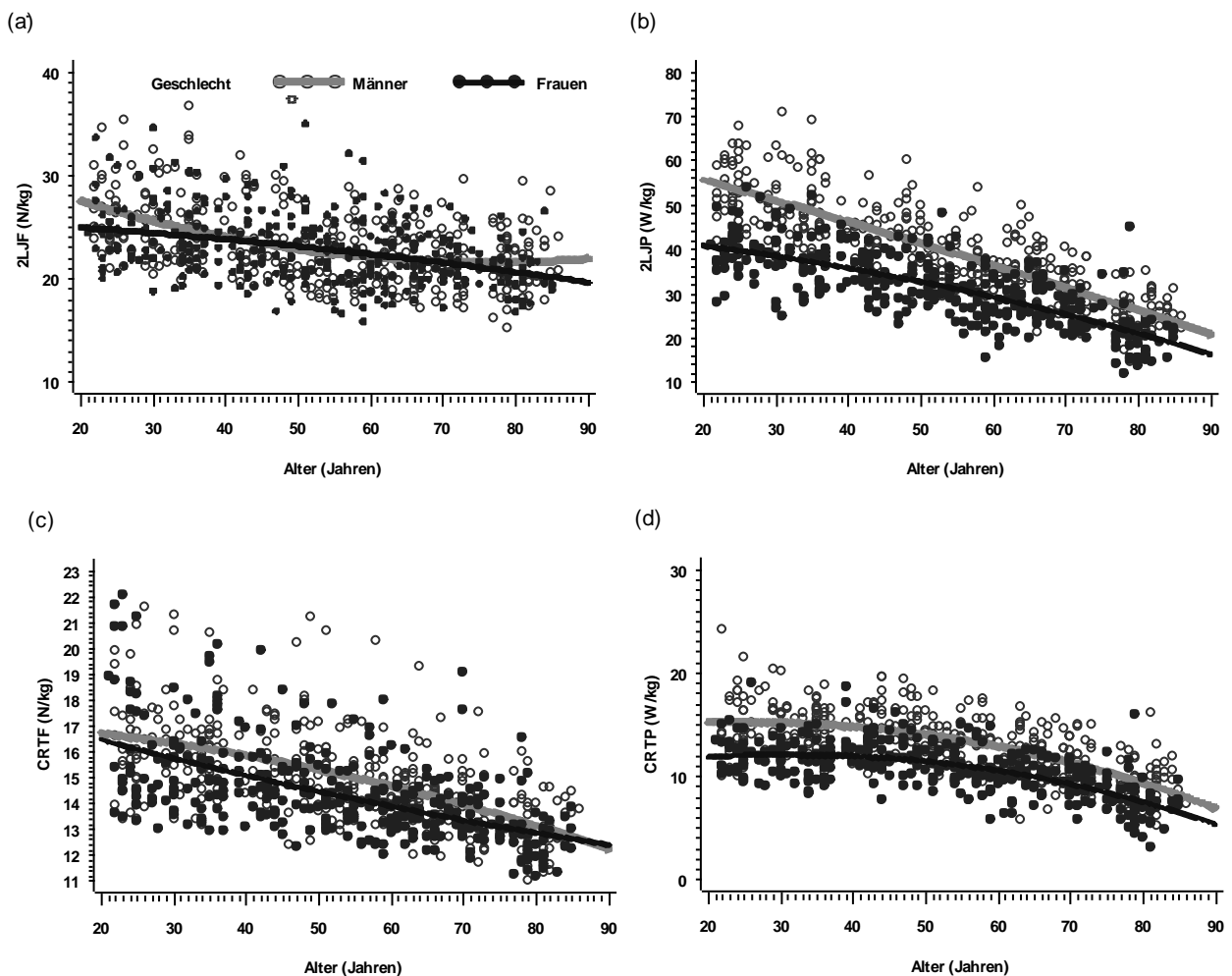
- Unfähigkeit, 10 m ohne Hilfsmittel gehen zu können
- Schwangerschaft
- gesetzliche Ausschlusskriterien gemäß RöVO und StrahlenschutzVO
- gleichzeitige Teilnahme an einer anderen klinischen Studie
- Teilnehmer, die außerstande sind, sich den im Protokoll vorgeschriebenen Untersuchungen zu unterziehen, oder die kognitive Einschränkungen aufweisen, die ein Verstehen des Studienprotokolls ausschließen.

Muskelkraft und Muskelleistung der unteren Extremitäten wurden mittels der Bodenreaktionsplatte Leonardo Mechanograph® (Novotec Medical, Pforzheim, Deutschland, Software Version 4.2) erhoben. Die Messung umfasste drei Zweibeinsprünge (two leg jump= 2LJ) mit einer Pause von 1 Minute zwischen jedem Test. Der Teilnehmer wurde aufgefordert, so hoch wie möglich zu springen. Für die Analyse wurden die maximale Kraft (N)/ Körpergewicht (kg) ( $2LJF_{rel}$ ), die maximale Leistung (W)/ Körpergewicht (kg) ( $2LJP_{rel}$ ) sowie die maximal vertikale Geschwindigkeit in m/s ( $2LJ_v$ ) in der Absprungphase herangezogen und der Beste aus den drei Tests bezüglich  $2LJP_{rel}$  ausgewertet. Zusätzlich wurde der Chair Rise Test (CRT) einmalig auf der Platte durchgeführt, bei dem der Proband 5-mal so schnell wie möglich ohne Zuhilfenahme der Arme aufsteht und sich wieder setzt. Für die Analyse wurden die maximale Kraft (N)/ Körpergewicht (kg) ( $CRTF_{rel}$ ), die maximale Leistung (W)/ Körpergewicht (kg) ( $CRTP_{rel}$ ) sowie die maximal vertikale Geschwindigkeit in m/s ( $CRT_v$ ) aus den fünf Aufstehphasen herangezogen.

Die Referenzdaten zur Mechanographie wurden alters- und geschlechtsstratifiziert in arithmetischen Mittelwerten±Standardabweichung dargestellt. Mittels einfaktorieller ANOVA wurden Unterschiede zwischen den Altersdekaden analysiert. Zur Bestimmung signifikanter Unterschiede wurde der Dunnett-Test als Post-Hoc-Test verwendet, wobei die Altersgruppe der 20-29 Jährigen als Referenzgruppe diente. Alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede in den Muskelfunktionstests wurden mittels linearer Regression ermittelt und in Streudiagrammen dargestellt. Alle Berechnungen wurden mit dem Statistikprogramm SAS (Statistical Analysis System, SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA) Version 9.2 durchgeführt. Für alle statistischen Tests wurde ein p-Wert von  $p < 0.05$  als Signifikanzlevel festgelegt.

## Ergebnisse

Valide Sprungdaten lagen von 351 Frauen und 352 Männern vor. In allen Altersgruppen wiesen Männer eine höhere Muskelleistung normalisiert auf das Körpergewicht auf als Frauen. Während die Kraftparameter einen Abfall von ca. 20% von der dritten zur neunten Dekade zeigen, sinkt die Muskelleistung im gleichen Zeitraum um 40-50% (Abb. 1). Frauen und Männer sind gleichermaßen betroffen. Die Abnahme der Muskelleistung ( $R^2=0.54$  bis  $R^2=0.70$ ) lässt sich zu einem höheren Ausmaß durch Alter und Geschlecht erklären als die Abnahme der Muskelkraft ( $R^2=0.18$  bis  $R^2=0.36$ ).



**Abbildung 1: Regressionsgrafiken zu Mechanographie Tests nach Alter und Geschlecht.**

Mittels Linearer Regression wurde stratifiziert nach Geschlecht der Einfluss von Alter auf die abhängigen Variablen (a) two leg jump force ( $2LJF_{rel}$ ), (b) chair rise test force ( $CRTF_{rel}$ ), (c) two leg jump power ( $2LJP_{rel}$ ), und (d) chair rise test power ( $C RTP_{rel}$ ) untersucht.

## **1.5. Publikation 2**

### **Fragestellungen**

In dem EU-Forschungsprojekt „The Osteoporotic Virtual Physiological Human (VPHOP)“ wurden Simulationsmodelle speziell für die Diagnose und Behandlung der Osteoporose erarbeitet (EU VPHOP FP7–223864). In diesem Zusammenhang galt es, neue Methoden zur Quantifizierung von Sturzgefahr im Alter zu entwickeln. Da altersassoziierte Stürze multifaktoriell bedingt sind, wird durch eine Hauptkomponentenanalyse ermittelt, welche motorischen Hauptkomponenten aus den vier Domänen Gang, statische Balance im Stand, Maximalkraft sowie Krafteinsatzdifferenzierungsfähigkeit der unteren Extremitäten als aussagekräftig für die Sturzvorhersage einzuordnen sind.

### **Methodik**

Über öffentliche Ausschreibungen in Krankenhäusern, Physiotherapiepraxen und Gesundheitssportvereinen wurden 90 Frauen im Alter von 60-85 Jahren rekrutiert. Die Probandinnen wurden so selektiert, dass 30 eine Frakturanamnese nach der Menopause als Folge eines Sturzes, 30 eine positive Sturzanamnese in den letzten 12 Monaten ohne Fraktur und 30 keine Sturz- und Frakturanamnese aufwiesen. Nach 12 Monaten erfolgte eine prospektive Sturzerhebung über einen postalischen Fragebogen. Die Studie wurde durch die Ethikkommission der Charité (Votum EA4/095/09) genehmigt.

### Einschlusskriterien

- Frauen im Alter von 60-85 Jahren
- Probandinnen mussten 10 m Meter ohne Hilfsmittel gehfähig sein
- Vorliegen einer schriftlichen Einwilligung nach ausführlicher Patientenaufklärung

### Ausschlusskriterien

- BMI<18 oder BMI>33
- Alkoholabusus (>3 Einheiten/ Tag)
- Typ1 Diabetes, Herzinfarkt, chronische Hepatitis, Zöliakie und Malabsorptionsstörungen, Rheumatoide Arthritis, Hyperparathyreodismus, Hyperthyreodismus, Krebserkrankungen

- Einnahme von oralen Kortikoiden länger als 3 Monate bzw. aktuelle Einnahme von oralen Kortikosteroiden
- Neurologische Erkrankungen, die das neuromuskuläre System beeinflussen wie Morbus Parkinson, muskuläre Dystrophie, ankylosierende Spondylitis, Myopatien, Myasthenia, Schädel-Hirn-Trauma, Schlaganfall, periphere Polyneuropathie
- Teilnehmer, die außerstande sind, sich den im Protokoll vorgeschriebenen Untersuchungen zu unterziehen, oder die kognitive Einschränkungen aufweisen, die ein Verstehen des Studienprotokolls oder ein selbständiges Ausfüllen des Fragebogens ausschließen
- Frakturen/ Osteosynthesen/ starke degenerative Veränderungen, die eine valide DXA Messung beeinflussen würden
- frische Femurfraktur oder Hüft-Total-Endoprothese (< 6 Monate)
- gleichzeitige Teilnahme an einer anderen klinischen Studie

Ein Sturz wurde gemäß der Empfehlungen der „Prevention of Falls Network Group (PROFANE)“ definiert als „jedes plötzliche unbeabsichtigte und unkontrollierte Herunterfallen oder -gleiten des Körpers aus dem Liegen, Sitzen oder Stehen auf eine tiefere Ebene“. Synkopale und unfallbedingte Stürze (z.B. nach einem Autounfall) wurden aus der Analyse ausgeschlossen.

Das **Neuromuskuläre Assessment** unterteilte sich in vier verschiedene Domänen:

- Die **Maximalkraft** der Knieextensoren und Plantarflexoren wurde in stabiler Sitzposition mittels Dynamometer (Biodex 3 Pro, Biodex Medical Systems Inc., USA) ermittelt und der jeweils beste Wert aus drei Messungen analysiert.
- Die **Krafteinsatzdifferenzierungsfähigkeit** der Knieextensoren und Plantarflexoren wurde im selben Set-up wie die Maximalkraft ermittelt. Die Probandinnen wurden dazu aufgefordert, eine vorgegebene Winkelgeschwindigkeit zwischen 20-30% der maximalen Winkelgeschwindigkeit unter visueller Kontrolle über einen Bildschirm zu reproduzieren.
- Die **statische Balance im Stand** wurde mittels Posturographie (AMTI OR6-7-1000, Watertown, MA, USA) im Rombergstand (30 sec. Augen offen, 30 sec. Augen geschlossen) ermittelt.

- Die **Ganganalyse** erfolgte über ein optisches Messsystem (Vicon, OMG Ltd, Oxford, UK), welches über reflektierende Hautmarker an beiden Füßen und 10 Kameras drei-dimensionale Körperbewegungen erfasst. Gemessen wurden die zeitlichen und örtlichen Gangparameter bei frei gewählter Gehgeschwindigkeit auf 10 m. Alle Berechnungen wurden mit MATLAB (R2011b, MathWorks, USA) durchgeführt.

In einem ersten Schritt wurden insgesamt 92 Variablen aus den vier Domänen z-standardisiert und mittels Hauptkomponentenanalyse mit dem Rotationsverfahren Varimax auf ihre Assoziation zu retrospektiven Stürzen untersucht. Anschließend wurde der Einfluss der ermittelten Hauptkomponenten auf die prospektiv erhobenen Stürze „Sturz in den letzten 12 Monaten“ versus „kein Sturz in den letzten 12 Monaten“ mittels logistischer Regression analysiert. Die statistischen Auswertungen wurden mit SPSS (v. 20, IBM, USA) durchgeführt und als Signifikanzlevel wurde ein p-Wert von  $p < 0.05$  festgelegt.

## **Ergebnisse**

Vollständige Datensätze aus den biomechanischen Messungen lagen von 80 Teilnehmerinnen vor (38 Stürzer, 42 Nicht Stürzer). In der prospektiven Sturzbefragung gaben 10 Teilnehmerinnen (12.5%) ein oder mehrere Sturzereignisse in den zurückliegenden 12 Monaten an. Von den 42 Frauen ohne positive Sturzanamnese stürzten 6 Teilnehmerinnen nach 12 Monaten.

Durch die Hauptkomponentenanalyse ließen sich die sieben Hauptkomponenten statisches Gleichgewicht, dynamisches Gleichgewicht, zeitliche Gangparameter, Variabilität zeitlicher Gangparameter rechts, Variabilität zeitlicher Gangparameter links, räumliche Gangparameter sowie die Variabilität räumlicher Gangparameter mit insgesamt 31 Variablen extrahieren. Weder Maximalkraft und Krafteinsatzdifferenzierungsfähigkeit der unteren Extremitäten noch statische Balance waren mit retrospektiv erhobenen Stürzen korreliert.

In der logistischen Regression zeigte sich bei einem  $\alpha$ -Level von 0.01 ein signifikanter Einfluss auf Stürze im 12 Monats-Follow-up für die drei Komponenten räumliche Gangparameter ( $p=0.005$ ), Variabilität zeitlicher Gangparameter links

( $p=0.093$ ) und Variabilität zeitlicher Gangparameter rechts ( $p=0.022$ ). Die Einbeziehung dieser drei Komponenten erlaubt eine Diskriminierung von Stürzern versus nicht Stürzern mit einer Sensitivität von 74% und einer Spezifität von 76%.

### **1.6. Publikation 3**

Zur Untersuchung der Fragestellung wurde die Altersgruppe der 60-85 Jährigen der unter Publikation 1 beschriebenen Studienpopulation aus der Studie „Muscle\_Survey“ herangezogenen.

#### **Fragestellungen**

Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Muskelfunktion der unteren Extremitäten mittels Mechanographie und klinisch relevanten Endpunkten wie Stürze, Sarkopenie und ADL-Einschränkung im Alter.

#### **Methodik**

Mittels Mechanographie wurde die Muskelfunktion über Zweibeinsprünge und den Chair Rise Test, wie unter Publikation 1 beschrieben, bestimmt. Zur Auswertung wurden für den Zweibeinsprung die maximale relative Leistung ( $2LJP_{rel}$ ), die maximale Sprunghöhe ( $2LJ_h$ ), die maximale Geschwindigkeit ( $2LJ_v$ ) und der Esslinger Fitness Index EFI herangezogen. Der EFI beschreibt die maximale relative Sprungleistung in Prozent bezogen auf den Mittelwert nach Alter und Geschlecht. Für den Chair Rise Test wurden die maximale relative Leistung ( $CRTP_{rel}$ ) und die maximale Geschwindigkeit ( $CRT_v$ ) in die Analyse einbezogen.

Die Körperzusammensetzung wurde mittels DXA (Lunar Prodigy Advance, GE Medical Systems, Wisconsin, USA; EnCore Software Version 9.3) ermittelt. Die appendikuläre Muskelmasse ASM (kg), definiert als die Summe der Magermasse von Armen und Beinen (kg), wurde für die Körpergröße adjustiert ( $ASM/h^2$ ) [7]. Sarkopenie basierend auf dem  $ASM/h^2$  wurde entsprechend der Cut-off Werte der Rosetta Studie definiert. Als sarkopenisch gilt ein  $ASM/h^2$  von zwei Standardabweichungen unterhalb des Mittelwertes der Referenz der 20-30 Jährigen (Frauen:  $ASM/h^2 < 5.5 \text{ kg/m}^2$ ; Männer:  $ASM/h^2 < 7.26 \text{ kg/m}^2$ ) [7].

Ein Sturz wurde gemäß der Empfehlungen der „Prevention of Falls Network Group (PROFANE)“ definiert und synkopale und unfallbedingte Stürze wurden aus der Analyse ausgeschlossen.

Zwölf Aktivitäten des täglichen Lebens wurden anhand des Fragebogens der European Vertebral Fracture Study erhoben und ein Summenscore von 0-24 ermittelt, wobei Null auf keinerlei Einschränkungen und 24 auf erhebliche Einschränkungen in der Bewältigung der Alltagsaktivitäten hinweist.

Unterschiede zwischen Stürzern und Nicht-Stürzern bzw. Teilnehmern mit und ohne Sarkopenie bezüglich der Muskelparameter wurden je nach Verteilung mittels Student T-Test oder Wilcoxon Test für unabhängige Stichproben und für kategoriale Variablen mittels exaktem Fisher Test ermittelt. Die Korrelation zwischen ADL-Einschränkungen und Muskelparametern wurde über den Spearman Korrelations Koeffizienten ohne und unter Berücksichtigung von Alter untersucht. Korrelate für Stürze und Sarkopenie wurden mittels logistischer Regression nach Geschlecht getrennt untersucht und in rohe Odds Ratios (OR) und für Alter adjustierte OR mit 95%-Konfidenzintervallen dargestellt. Alle Berechnungen wurden mit dem Statistikprogramm SAS (Statistical Analysis System, SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA) Version 9.2 durchgeführt. Für alle statistischen Tests wurde ein p-Wert von  $p < 0.05$  als Signifikanzlevel festgelegt.

## **Ergebnisse**

Es wurde eine Stichprobe von 142 Frauen und 146 Männer über 60 Jahren untersucht. Basierend auf der Sarkopenie Definition nach Baumgartner et al [7] wiesen 11.8% der über 60-Jährigen eine Sarkopenie auf, wobei Männer doppelt so häufig betroffen waren als Frauen (15.1% versus 8.5%). Insgesamt gaben 16% der Teilnehmer einen oder mehr Stürze in den letzten 12 Monaten an, mit einem doppelt so hohen Anteil an Frauen (22.2%) im Vergleich zu Männern (11%).

ADL-Einschränkung war signifikant korreliert mit allen Muskelfunktionsparametern.  $2LJP_{rel}$  (OR 0.88, 95%-CI 0.79-0.98), der EFI (OR 0.97, 95%-CI 0.94-1.00) und die maximale Geschwindigkeit im CRT (OR 0.70, 95%-CI 0.53-0.93) blieben signifikante Korrelate für Sarkopenie unabhängig vom Alter in beiden Geschlechtern (Tab. 1a). Der EFI konnte bei Frauen Stürzer von Nicht-Stürzern differenzieren (OR 0.96, 95%-



CI 0.93-0.98) (Tab. 1b). Es wurden keine unerwünschten Ereignisse mit den Mechanographie Tests verzeichnet.

**Tabelle 1a: Zusammenhang zwischen Sarkopenie und Mechanographie Tests**

	Frauen		Männer	
	Modell 1	Modell 2	Modell 1	Modell 2
	OR (95%-CI)	OR (95%-CI)	OR (95%-CI)	OR (95%-CI)
<b>2LJP<sub>rel</sub></b> (W/kg)	0.93 (0.83-1.05)	0.87 (0.74-1.01)	<b>0.86 (0.78-0.94) ***</b>	<b>0.88 (0.79-0.98) *</b>
<b>EFI</b> (%)	na #	0.97 (0.93-1.00)	na #	<b>0.97 (0.94-1.00) *</b>
<b>2LJ<sub>v</sub></b> (m/s) (unit 0.1)	0.92 (0.72-1.16)	0.80 (0.59-1.10)	<b>0.76 (0.64-0.90) **</b>	0.82 (0.66-1.01)
<b>2LJ<sub>h</sub></b> (m) (unit 0.1)	0.65 (0.21-2.10)	0.3% (0.08-1.54)	<b>0.35 (0.17-0.71) **</b>	0.49 (0.20-1.20)
<b>CRTP<sub>rel</sub></b> (W/kg)	1.24 (0.88-1.75)	1.24 (0.82-1.87)	<b>0.77 (0.62-0.95) *</b>	0.86 (0.68-1.08)
<b>CRT<sub>v</sub></b> (m/s) (unit 0.1)	1.10 (0.76-1.56)	1.02 (0.67-1.57)	<b>0.65 (0.50-0.84) **</b>	<b>0.70 (0.53-0.93) *</b>

Es wurde das Risiko „Sarkopenie“ versus „keine Sarkopenie“ modelliert,

**Tabelle 1b: Zusammenhang zwischen Stürzen und Mechanographie Tests**

	Frauen		Männer	
	Modell 1	Modell 2	Modell 1	Modell 2
	OR (95%-CI)	OR (95%-CI)	OR (95%-CI)	OR (95%-CI)
<b>ASM/h<sup>2</sup></b> (kg/m <sup>2</sup> )	0.95 (0.52-1.75)	1.00 (0.54-1.85)	0.71 (0.38-1.34)	0.82 (0.42-1.60)
<b>Sarcopenia</b> †	0.76 (0.16-3.69)	0.79 (0.16-3.87)	1.47 (0.38-5.72)	1.14 (0.28-4.65)
<b>2LJP<sub>rel</sub></b> (W/kg)	<b>0.90 (0.83-0.97) **</b>	0.91 (0.83-1.01)	0.99 (0.91-1.07)	1.05 (0.95-1.16)
<b>EFI</b> (%)	na #	<b>0.96 (0.93-0.98) **</b>	na #	1.01 (0.98-1.05)
<b>2LJ<sub>v</sub></b> (m/s) (unit 0.1)	<b>0.79 (0.67-0.94) **</b>	0.81 (0.66-1.00)	0.96 (0.81-1.14)	1.10 (0.87-1.39)
<b>2LJ<sub>h</sub></b> (m) (unit 0.1)	<b>0.42 (0.19-0.93) *</b>	0.56 (0.22-1.44)	0.75 (0.37-1.50)	1.21 (0.46-3.18)
<b>CRTP<sub>rel</sub></b> (W/kg)	<b>0.78 (0.64-0.96) *</b>	0.81 (0.63-1.04)	1.05 (0.84-1.30)	1.17 (0.91-1.50)
<b>CRT<sub>v</sub></b> (m/s) (unit 0.1)	<b>0.77 (0.61-0.98) *</b>	0.81 (0.61-1.08)	1.11 (0.86-1.43)	1.26 (0.94-1.70)

Es wurde das Risiko „≥1 Sturz“ versus „kein Sturz“ in den letzten 12 Monaten modelliert,

\* p<0.05, \*\* p<0.01, \*\*\* p<0.001;

Modell 1: roh; Modell 2: adjustiert für Alter;

† „Keine Sarkopenie“ wurde als Referenz gesetzt.

# Der Esslinger Fitness Index EFI ist auf Alter normalisiert.

ADL= activities of daily living, ASM= appendicular skeletal lean mass arms and legs (kg)

Sarcopenie: Frauen ASM/h<sup>2</sup>≤5.5, Männer ASM/h<sup>2</sup>≤7.26;

2LJP<sub>rel</sub>= maximum two leg jump power per kg body mass; EFI=Esslinger Fitness Index

2LJ<sub>v</sub>=maximum two leg jump velocity; 2LJ<sub>h</sub>=maximum two leg jump height

CRTP<sub>rel</sub>= maximum chair rise test power per kg body mass; CRT<sub>v</sub>=maximum chair rise test velocity

## 1.7. Diskussion

Im Zentrum der vorliegenden Arbeit standen Untersuchungsverfahren, die den Abbau der neuromuskulären Funktion über das Alter erfassen, um damit den Zusammenhang zwischen Muskelfunktion und altersassoziierten Stürzen, Sarkopenie und Einschränkungen in den Aktivitäten des täglichen Lebens zu beschreiben.

In der vorliegenden Arbeit war die appendikuläre Muskelmasse normalisiert auf Körpergröße weder mit Einschränkungen im ADL-Bereich noch mit Stürzen assoziiert, während der Zusammenhang zwischen den Mechanographie Tests und beiden Endpunkten gegeben war. Die Ergebnisse betonen den Stellenwert der Muskelleistung im Assessment der neuromuskulären Funktion im Alter. Analog zu publizierten Daten zeigte auch diese Arbeit, dass die Muskelleistung über das Alter stark abnimmt und bei über 70-Jährigen Männern und Frauen bis zu 50% unter dem Niveau der jungen Referenzgruppe der 20-30 Jährigen liegt. In der longitudinalen Studie von Metter et al [8] beträgt bei einem Vergleich der neunten mit der dritten Lebensdekade der Abbau der Muskelleistung der oberen Extremitäten bei Männern 42% und bei Frauen 46%. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt die InChianti Studie, in der eine Abnahme der Leistung der Knieextensoren bei Männern um 74% und bei Frauen um 76% beschrieben wird [6].

In der bivariaten Analyse zeigte sich in der vorliegenden Arbeit bei Männern mit Sarkopenie eine signifikant niedrigere Muskelleistung im Zweibeinsprung ( $2LJP_{rel}$   $p=0.0003$ ), die auch im adjustierten logistischen Modell bestehen blieb. Bei Frauen hingegen ließ sich dieser Zusammenhang nicht nachweisen, was möglicherweise auf die Selektion der Studienpopulation zurückzuführen ist. Die Prävalenz von Sarkopenie entsprechend der Definition nach Baumgartner et al [7] liegt in der vorliegenden Arbeit bei den Frauen mit 15.1% unter der von US-amerikanischen, epidemiologischen Studien, ist aber vergleichbar zu anderen europäischen Querschnittserhebungen.

Die hier präsentierten Ergebnisse bestätigen, dass Frauen häufiger von Stürzen betroffen sind als Männer (21.2% versus 11%). Die beobachtete Gesamtprävalenz von Stürzen in den letzten 12 Monaten von 16% liegt hingegen unter der beschriebenen Prävalenz von 20-30% bei über 60-Jährigen aus internationaler

Literatur. Bei Frauen blieb der EFI auch im logistischen Modell assoziiert mit einer positiven Sturzanamnese. Diese Beobachtung deckt sich weitestgehend mit den Studiendaten, in denen andere Messmethoden zur Bestimmung der Muskelleistung der unteren Extremitäten wie ein portabler Kraftaufnehmer oder ein Leg Extensor Power Rig eingesetzt wurden. Beide Studien bestätigen einen Zusammenhang zwischen niedriger Muskelleistung der unteren Extremitäten und Stürzen.

In Übereinstimmung mit bisherigen Veröffentlichungen [9] zeigen die Ergebnisse dieser Arbeit, dass vor allem die Variabilität zeitlicher Gangparameter sowie die Mittelwerte von räumlichen Gangparametern ein wichtiges Indiz für Sturzgefährdung im Alter darstellen. Es bestätigt sich zudem, dass komplexe, physiologische Bewegungen wie der Gang höher mit Stürzen korreliert sind als die Maximalkraft der unteren Extremitäten oder die statische Balance. Da Ganganalysen im Biomechaniklabor aufwendig und nicht überall zugänglich sind, sollten für die Zukunft portable, sensorbasierte Technologien entwickelt werden, mit denen die Gangvariabilität präzise auch unter Alltagsbedingungen gemessen werden kann.

Während eine Vielzahl an Studien den Abbau an Muskelkraft als unabhängigen Risikofaktor für Stürze dokumentiert [10], ist der Zusammenhang zwischen Muskelmasse und Stürzen weniger eindeutig. Diese Arbeit unterstreicht die Resultate größerer epidemiologischer Studien [6], die zeigen, dass die Muskelfunktion einen aussagekräftigeren Prädiktor für die funktionellen Fähigkeiten im Alter darstellt als die Muskelmasse. Eine aktuelle Arbeit untersucht die Assoziation zwischen Sarkopenie zu klinisch relevanten Endpunkten bei 5.934 Männern über 65 Jahren, wobei verschiedener Operationalisierungen von Sarkopenie herangezogen werden. Wenn Sarkopenie ausschließlich über eine niedrige Muskelmasse definiert wurde, zeigte sich auch hier kein Zusammenhang zu prospektiv erhobenen Stürzen oder Funktionseinschränkung in den Alltagsaktivitäten. Wurde Sarkopenie hingegen über eine niedrige Muskelmasse in Kombination mit einer erniedrigten Handkraft oder Verlangsamung der Gehgeschwindigkeit operationalisiert, ließ sich ein Zusammenhang zu prospektiv erhobenen Stürzen und der Einschränkung in den Aktivitäten des täglichen Lebens nachweisen [11].

Aus diesem Grunde fordern einige Autoren, dass im klinischen Alltag dem Assessment der Muskelfunktion bei selbständig lebenden, älteren Menschen ein höherer Stellenwert eingeräumt werden sollte als der alleinigen Bestimmung der Muskelmasse [12]. Andere Autoren merken an, dass der Abbau der Muskelmasse erst relevant wird, wenn ältere Menschen schon von einem gewissen Grad an funktioneller Beeinträchtigung betroffen sind und dass der Abbau der Muskelmasse eher einen Indikator für den allgemeinen Gesundheitszustand darstellt [13].

In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage, inwieweit der altersassoziierte Abbau von Muskelmasse und Muskelfunktion reversibel ist. Da körperliches Training in diversen randomisierten, kontrollierten Studien einen positiven Effekt sowohl auf die Muskelmasse als auch auf die Muskelfunktion und funktionelle Beeinträchtigung gezeigt hat, bieten sich körperliche Trainingsprogramme als erste präventive und auch therapeutische Maßnahme an. In verschiedenen Studien konnte zudem nachgewiesen werden, dass ein Widerstandstraining der Beine mit hohen Geschwindigkeiten nicht nur zu einer Erhöhung der Muskelleistung der unteren Extremitäten beitragen kann [14], sondern auch einen positiven Effekt zeigt auf das Gleichgewicht, auf Alltagsbewegungen wie den Aufstehtest [14] und auf die Gehgeschwindigkeit [15].

Im Hinblick auf die Interpretation der Ergebnisse der vorliegenden Arbeiten gilt es, verschiedene Aspekte zu beleuchten, welche die Repräsentativität der Ergebnisse verzerrt haben könnten. Bei der Muscle\_Survey Studie handelt es sich um eine Querschnittsbetrachtung, so dass nur auf Korrelatebene untersucht und nicht auf kausale Zusammenhänge zwischen Zielvariable und Einflussgrößen geschlossen werden kann. Da als Einschlusskriterium eine Gehfähigkeit von 10 m ohne Hilfsmittel gefordert war, könnte ein Selektionsbias zugunsten einer gesunden Studienpopulation die Ergebnisse beider Studien verzerrt haben. Zudem sind retrospektive Studien anfällig für Recall Bias, der die Prävalenz von Stürzen in den letzten 12 Monaten im Sinne einer Unterschätzung beeinflusst haben könnte. Zukünftige Studien sollten daher ein prospektives, engmaschiges Sturzmonitoring integrieren. Die vorliegenden Studien haben Pilot Charakter und können somit als Grundlage dienen, zukünftige prospektive Studien, die den Endpunkt Sturz, Sarkopenie oder Beeinträchtigung der Aktivitäten des täglichen Lebens mit einer

ausreichenden statistischen Power untersuchen, zu entwickeln, um damit die Ergebnisse der vorliegenden Daten bestätigen zu können.

In dieser Arbeit konnten modifizierbare Einflussgrößen im Zusammenhang mit altersassoziierten Stürzen, Sarkopenie und Funktionseinschränkungen im Alltag benannt werden. Die vorliegenden Resultate zeigen, dass das Assessment komplexer, physiologischer Bewegungen wie Springen, Aufstehen vom Stuhl oder Gehen geeignet sind, Stürzer von Nicht-Stürzern zu unterscheiden. Für die Zukunft sind prospektive Studien notwendig, um für diese Tests optimale Cut-off Werte zu generieren, die eine erhöhtes Sturzrisiko oder den Beginn eines funktionellen Abbaus zu einem frühen Zeitpunkt identifizieren können, um präventive Maßnahmen einleiten zu können.

## 1.8. Literaturverzeichnis

1. Cruz-Jentoft, AJ, Baeyens, JP, Bauer, JM, Boirie, Y, Cederholm, T, Landi, F, Martin, FC, Michel, JP, Rolland, Y, Schneider, SM, Topinkova, E, Vandewoude, M, Zamboni, M. 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.
2. Fielding, RA, Vellas, B, Evans, WJ, Bhasin, S, Morley, JE, Newman, AB, Abellan van Kan, G, Andrieu, S, Bauer, J, Breuille, D, Cederholm, T, Chandler, J, De Meynard, C, Donini, L, Harris, T, Kannt, A, Keime Guibert, F, Onder, G, Papanicolaou, D, Rolland, Y, Rooks, D, Sieber, C, Souhami, E, Verlaan, S, Zamboni, M. 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.
3. Studenski, SA, Peters, KW, Alley, DE, Cawthon, PM, McLean, RR, Harris, TB, Ferrucci, L, Guralnik, JM, Fragala, MS, Kenny, AM, Kiel, DP, Kritchevsky, SB, Shardell, MD, Dam, TT, Vassileva, MT. The FNIH sarcopenia project: rationale, study description, conference recommendations, and final estimates. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2014. 69(5): 547-58.
4. Delmonico, MJ, Harris, TB, Visser, M, Park, SW, Conroy, MB, Velasquez-Mieyer, P, Boudreau, R, Manini, TM, Nevitt, M, Newman, AB, Goodpaster, BH. Longitudinal study of muscle strength, quality, and adipose tissue infiltration. *Am J Clin Nutr*. 2009. 90(6): 1579-85.
5. Bean, JF, Leveille, SG, Kiely, DK, Bandinelli, S, Guralnik, JM, Ferrucci, L. A comparison of leg power and leg strength within the InCHIANTI study: which influences mobility more? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2003. 58(8): 728-33.
6. Lauretani, F, Russo, CR, Bandinelli, S, Bartali, B, Cavazzini, C, Di Iorio, A, Corsi, AM, Rantanen, T, Guralnik, JM, Ferrucci, L. Age-associated changes in

- skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. *J Appl Physiol*. 2003. 95(5): 1851-60.
7. Baumgartner, RN, Koehler, KM, Gallagher, D, Romero, L, Heymsfield, SB, Ross, RR, Garry, PJ, Lindeman, RD. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *Am J Epidemiol*. 1998. 147(8): 755-63.
  8. Metter, EJ, Conwit, R, Tobin, J, Fozard, JL. Age-associated loss of power and strength in the upper extremities in women and men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 1997. 52(5): B267-76.
  9. Hausdorff, JM, Rios, DA, Edelberg, HK. Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001. 82(8): 1050-6.
  10. Moreland, JD, Richardson, JA, Goldsmith, CH, Clase, CM. Muscle weakness and falls in older adults: a systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc*. 2004. 52(7): 1121-9.
  11. Cawthon, PM, Blackwell, TL, Cauley, J, Kado, DM, Barrett-Connor, E, Lee, CG, Hoffman, AR, Nevitt, M, Stefanick, ML, Lane, NE, Ensrud, KE, Cummings, SR, Orwoll, ES. 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.
  12. Patil, R, Uusi-Rasi, K, Pasanen, M, Kannus, P, Karinkanta, S, Sievanen, H. Sarcopenia and osteopenia among 70-80-year-old home-dwelling Finnish women: prevalence and association with functional performance. *Osteoporos Int*. 2013. 24(3): 787-96.
  13. Newman, AB, Kupelian, V, Visser, M, Simonsick, EM, Goodpaster, BH, Kritchevsky, SB, Tylavsky, FA, Rubin, SM, Harris, TB. Strength, but not muscle mass, is associated with mortality in the health, aging and body composition study cohort. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2006. 61(1): 72-7.
  14. Henwood, TR, Taaffe, DR. Improved physical performance in older adults undertaking a short-term programme of high-velocity resistance training. *Gerontology*. 2005. 51(2): 108-15.
  15. Ramirez-Campillo, R, Castillo, A, de la Fuente, CI, Campos-Jara, C, Andrade, DC, Alvarez, C, Martinez, C, Castro-Sepulveda, M, Pereira, A, Marques, MC, Izquierdo, M. High-speed resistance training is more effective than low-speed resistance training to increase functional capacity and muscle performance in older women. *Exp Gerontol*. 2014. 58: 51-7.

## 2. EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG

„Ich, Roswitha Dietzel, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: *„Neuromuskuläre Funktion und ihr Einfluss auf Stürze, Sarkopenie und Funktionseinschränkungen im Alter“* selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -[www.icmje.org](http://www.icmje.org)) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o.) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an den ausgewählten Publikationen entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Betreuer, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o.) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Berlin, den 02.12.2015

---

### 3. ANTEILSERKLÄRUNG

Roswitha Dietzel hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

#### Publikation 1:

**Dietzel R**, Gast U, Heine T, Felsenberg D, Armbrecht G. Cross-sectional assessment of neuromuscular function using mechanography in women and men aged 20-85 years. J Musculoskelet Neuronal Interact. 2013 Sep;13(3):312-9.

**Beitrag: 90 Prozent**

*Beitrag im Einzelnen*

- *Mitarbeit an der Studienkonzeption*
- *Durchführung des neuromuskulären Assessments und Fragebogenerhebung*
- *Datenanalyse*
- *Manuskriptverfassung- und -überarbeitung*

#### Publikation 2:

König N, Taylor WR, Armbrecht G, **Dietzel R**, Singh NB. Identification of functional parameters for the classification of older female fallers and prediction of 'first-time' fallers. J R Soc Interface. 2014 Aug 6;11(97).

**Beitrag: 40 Prozent**

*Beitrag im Einzelnen*

- *Mitarbeit an der Studienkonzeption*
- *Probandenrekrutierung und Studienorganisation*
- *Datenerhebung klinischer Fragebogen*
- *Mitarbeit bei der Manuskriptverfassung und -überarbeitung*

#### Publikation 3:

**Dietzel R**, Felsenberg D, Armbrecht G. Mechanography performance tests and their association with sarcopenia, falls and impairment in the activities of daily living - a pilot cross-sectional study in 293 older adults. J Musculoskelet Neuronal Interact. 2015 Sep;15(3):249-56.

**Beitrag: 90 Prozent**

*Beitrag im Einzelnen*



- *Mitarbeit an Studienkonzeption*
- *Durchführung des neuromuskulären Assessments und Fragebogenerhebung*
- *Datenanalyse*
- *Manuskriptverfassung und -überarbeitung*

Unterschrift, Datum und Stempel des betreuenden Hochschullehrers

Berlin, den 02.12.2015

---

Unterschrift der Doktorandin

Berlin, den 02.12.2015

---

#### 4. AUSGEWÄHLTE PUBLIKATIONEN

##### Publikation 1:

**Dietzel R**, Gast U, Heine T, Felsenberg D, Armbrecht G. Cross-sectional assessment of neuromuscular function using mechanography in women and men aged 20-85 years. J Musculoskelet Neuronal Interact. 2013 Sep;13(3):312-9.

**Impact factor: 2.4**

##### Publikation 2:

König N, Taylor WR, Armbrecht G, **Dietzel R**, Singh NB. Identification of functional parameters for the classification of older female fallers and prediction of 'first-time' fallers. J R Soc Interface. 2014 Aug 6;11(97).

**Impact factor: 3.917**

Diese Publikation wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

<http://dx.doi.org.10.1098/rsif.2014.0353>

##### Publikation 3:

**Dietzel R**, Felsenberg D, Armbrecht G. Mechanography performance tests and their association with sarcopenia, falls and impairment in the activities of daily living - a pilot cross-sectional study in 293 older adults. J Musculoskelet Neuronal Interact. 2015 Sep;15(3):249-56.

**Impact factor: 1.744**

# Cross-sectional assessment of neuromuscular function using mechanography in women and men aged 20-85 years

R. Dietzel, U. Gast, T. Heine, D. Felsenberg, G. Armbrecht

Centre of Muscle and Bone Research, Charite Berlin, Germany

## Abstract

**Objectives:** The aim of this cross-sectional study was to examine the influence of age and sex on neuromuscular function of the lower limbs using mechanography. 704 adults aged 20-85 years from Germany participated in this study. **Methods:** Ground reaction force and power were assessed with countermovement jumps and the chair rising test on a ground reactions force plate. **Results:** While ground reaction force per unit body mass declined by about 20% from the third to the ninth decade, the decline of power per unit body mass was much greater, varying between 40-50%. Men and women are affected equally by the decline. Age and sex explained the variability of the power parameters to a much greater extent ( $R^2=0.54$  to  $R^2=0.70$ ) than the force parameters ( $R^2=0.18$  to  $R^2=0.36$ ). **Conclusions:** Our reference values can help to identify those who might be affected by the development of sarcopenia. Preventive exercise programs should focus on preserving muscle power in addition to the training of muscle force.

**Keywords:** Jumping Performance, Sit-to-stand Performance, Ageing, Sex Differences, Reference Values

## Introduction

It is well established that the aging process is accompanied by the gradual loss of muscle function. Age associated changes in muscle function are characterized by a decrease in lean body mass<sup>1-3</sup> and in muscle strength. A major problem in the literature is the ambiguous use of the term “muscle strength” as it is used for different qualities of muscle function, such as isometric force, isokinetic torque or power. Age related decline has been reported for isometric force<sup>4-10</sup> and for torque<sup>5,6,8,11,12</sup>. The loss of muscle mass as well as the loss of muscle force respectively torque are strongly linked to physical impairment and disability in the elderly<sup>5,13-18</sup>. Some studies indicate that the loss of isometric force<sup>7</sup> and torque<sup>11</sup> is even higher than the decline in muscle mass<sup>7,11</sup>.

An increasing number of studies on muscle and aging em-

phasize the role of muscle power as its relationship to functional status is more significant than muscle force<sup>19,20</sup>, muscle torque<sup>21,22</sup> or muscle mass<sup>23</sup>. Cross-sectional studies have illustrated the muscle power decline in men<sup>24,25</sup> as well as in both genders<sup>5,26</sup>. Two cross-sectional studies in which muscle force/torque and muscle power have been described in a large representative sample, indicate that muscle power declines to a larger extent than isometric force<sup>7</sup> and torque<sup>5</sup>.

Though force plate technology is widely used in clinical and research settings, a review of the literature reveals a deficiency of norm values on ground reaction force plate measurement as it relates to age and sex in a large population-based study. In the present study we used mechanography for motion analysis with the Leonardo force platform system (Novotec Medical, Pforzheim, Germany). The system records the time course of ground reaction forces, velocity of the vertical movements of the centre of gravity and power as the product of force and velocity. This mechanical approach allows the assessment of complex physiological movements such as jumping or sit-to-stand movement which can be utilized as an indicator for global neuromuscular function<sup>27-30</sup>. Instead of employing additional weights, the individual body weight against gravity is analysed, which makes the testing procedures comparable to everyday conditions. The primary aim of this population based cross-sectional study is to examine the influence of age and sex on neuromuscular function using mechanography. An ad-

The authors have no conflict of interest.

Corresponding author: Roswitha Dietzel, Centre of Muscle and Bone Research, Charite - Campus Benjamin Franklin, Hindenburgdamm 30, 12200 Berlin, Germany

E-mail: [roswitha.dietzel@charite.de](mailto:roswitha.dietzel@charite.de)

Edited by: J. Rittweger

Accepted 11 July 2013

ditional objective of our study is to determine reference data across the life span for jumping performance as well as the sit-to-stand performance for this device.

## Methods

### Study sample

For this population-based cross-sectional study participants were recruited from a random sample of all districts in Berlin/Germany provided by the resident registration office. Sample size was calculated to be 30 women and 30 men in each 5-years band between 20 and 85 years stratified for sex. The entry criteria for the study excluded those with (a) invalid estimates of body composition due to the presence of metal implants or artificial prostheses, oedema or medications affecting water-mineral homeostasis, (b) inability to walk without walking aid, (c) pregnancy, (d) no allowance for X-ray exposure or (e) inability to understand the nature of the study and to follow the instructions.

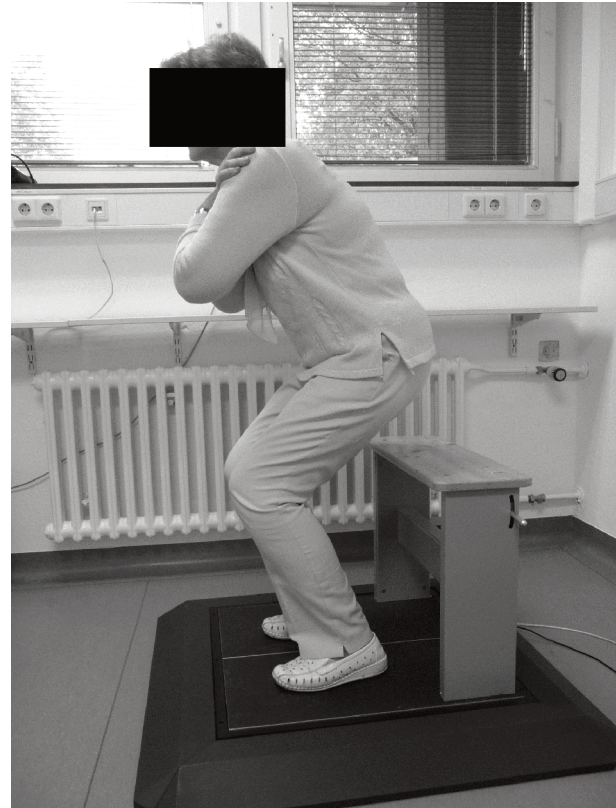
### Measures

**Anthropometry.** Body weight was determined to the nearest 0.1 kg, and stature was assessed to the nearest 0.1 cm using a digital weight scale and stadiometer (Seca 764). All participants were measured between 9 and 11 am in underwear without shoes. Body mass index (BMI) was calculated as weight (kg) divided by height ( $m^2$ ).

**Assessment of physical performance.** To assess ground reaction force and peak mechanical power of the lower extremity we used the Leonardo Mechanograph<sup>®</sup> Ground Reaction Force Plate (Novotec Medical, Pforzheim, Germany; software package 4.2). The platform is composed of two symmetrical force plates measuring the vertical ground reaction force exerted onto the platform. Before every test, the device determines subjects' body weight for use in subsequent calculations. The examiner demonstrated all testing procedures to the participants prior to the measurement.

Three two-leg jumps (2LJ) were performed as a counter-movement jump (brief squat before the jump with freely moving arms) with a break of 1 min between each jump. Participants were instructed to jump as high as possible and verbal encouragement was given for every jump. For analysis, the maximal total relative force per body weight during lift off in N/kg (2LJF), maximal total relative power per body weight during lift off in W/kg (2LJP) and the maximal vertical velocity during lift off in m/s (2LJvV) were used and the best of the three tests was taken.

In analogy to the chair rise test commonly used in geriatric assessment<sup>31</sup> the chair-rise test (CRT) was performed on a bench of 45 cm height without arm rests, which is anchored onto the force plate (Figure 1). The participants were instructed to fold their arms in front of their chest. The time was measured for the duration each participant needed to stand up and sit down five times at maximum speed without using the arms under continual verbal encouragement. This test was performed only once. For analysis, the maximal total relative



**Figure 1.** Chair rise test on the Leonardo platform.

force per body weight during the rise phases of five chair stands in N/kg (CRTF), total relative power per body weight during the rise phases of five chair stands in W/kg (CRTP) and the vertical velocity during lift off in m/s (CRTvV) were used.

Sufficient reproducibility for both tests has been documented in children, young adults as well as in physically competent older individuals<sup>32,33</sup>. To ensure consistency the same examiner performed all testing procedures.

### Statistical analysis

Descriptive statistics for anthropometric data and neuromuscular performance parameters are presented as means±standard deviations. Additionally, neuromuscular performance parameters are presented in median and as a percentage compared to the mean of the youngest age-decade. One-way ANOVA was performed to evaluate differences between age-decades in the performance tests. Significant differences were determined with Dunnetts' tests using the young adults (20-29 years) as a reference group.

We performed linear regression analysis to investigate age and sex-related differences in the performance tests. Exploratory graphical analysis was conducted using residual plots and scatter plots with LOESS curves. A quadratic term for age was entered into the models to account for possible curve-linear associations. Sex-specific differences for slope were eval-

	Women (n=351)						
	Age decade						
	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80+
n	43	55	56	62	62	50	23
Age (yrs)*	24.9±2.2	34.3±2.8	44.9±2.7	54.8±2.9	64.0±2.6	74.2±3.4	81.8±1.7
Weight (kg)	63.7±11.0	68.2±11.6	69.9±11.5	68.9±12.9	68.2±10.3	69.6±10.2	64.0±6.0
Height (cm)	168.7±6.2	167.8±7.6	166.5±6.5	164.3±4.7	161.6±4.9	160.2±6.6	159.4±6.5
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	22.3±3.1	24.3±4.3	25.3±4.5	25.5±4.4	26.1±3.7	27.2±4.1	25.3±3.2
	Men (n=353)						
	Age decade						
	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80+
n	46	58	49	58	57	56	29
Age (yrs)	25.2±2.2	33.9±2.3	45.1±2.9	54.5±3.0	64.7±2.6	75.0±3.5	82.6±1.7
Weight (kg)	78.8±13.2	81.7±11.9	84.1±13.8	83.8±10.8	84.0±13.0	81.8±11.7	78.5±11.8
Height (cm)	180.3±7.0	178.7±6.4	179.0±7.6	178.3±6.7	173.2±6.1	171.1±6.5	173.3±6.1
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	24.2±3.4	25.6±3.4	26.2±3.5	26.4±3.2	28.0±3.9	27.9±3.3	26.1±3.4

\* Data are presented in mean±SD

**Table 1.** Study characteristics by sex and age decade.

	Women (n=351)						
	Age decade						
	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80+
<b>2LJF (N/kg), mean±SD (%)</b> <sup>†</sup>	24.6±3.2 (100)	24.3±3.6 (99)	23.3±3.2 (95)	23.0±3.7 (93)*	22.1±2.7 (90)*	21.5±2.0 (87)*	19.9±2.4 (81)*
Median	24.4	23.3	22.3	22.8	21.5	21.3	19.5
<b>2LJP (W/kg), mean±SD (%)</b>	40.0±5.4 (100)	37.7±5.9 (94)	34.2±5.0 (86)*	30.8±5.8 (77)*	27.9±4.4 (70)*	24.2±5.8 (61)*	19.3±3.2 (48)*
Median	39.3	37.8	34.1	30.3	27.8	23.0	20.1
<b>2LJvV (m/s), mean±SD (%)</b>	2.2 (±0.2) (100)	2.1 (±0.2) (95)	2.0 (±0.2) (91)*	1.8 (±0.2) (84)*	1.7 (±0.2) (79)*	1.5 (±0.3) (70)*	1.3 (±0.2) (60)*
Median	2.2	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5	1.3
<b>CRTF (N/kg), mean±SD (%)</b>	16.1±2.6 (100)	15.5±1.8 (96)	14.8±1.4 (92)*	14.2±1.3 (88)*	13.7±0.9 (85)*	13.4±1.4 (83)*	12.5±0.8 (77)*
Median	15.0	14.9	14.6	14.0	13.6	13.0	12.3
<b>CRTP (W/kg), mean±SD (%)</b>	12.1±1.9 (100)	12.1±2.0 (100)	12.1±1.7 (100)	10.9±1.9 (90)*	10.1±1.4 (84)*	8.7±2.1 (72)*	6.9±1.5 (57)*
Median	11.7	12.1	11.7	10.8	10.2	8.7	7.1
<b>CRTvV (m/s), mean±SD (%)</b>	1.1 (±0.2) (100)	1.1 (±0.2) (100)	1.1 (±0.1) (102)	1.0 (±0.2) (93)	1.0 (±0.1) (89)*	0.9 (±0.2) (77)*	0.8 (±0.1) (67)*
Median	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	0.8	0.7
	Men (n=353)						
	Age decade						
	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80+
<b>2LJF (N/kg), mean±SD (%)</b>	26.4±3.4 (100)	24.9±3.8 (94)	24.1±4.1 (91)*	21.7±2.8 (82)*	22.1±2.8 (84)*	21.5±3.0 (81)*	21.9±3.0 (83)*
Median	26.6	23.9	22.9	20.9	21.9	21.3	22.4
<b>2LJP (W/kg), mean±SD (%)</b>	53.5±6.3 (100)	49.0±7.9 (92)*	44.4±5.5 (83)*	38.0±5.5 (71)*	35.2±6.1 (66)*	27.8±5.9 (52)*	26.1±4.2 (49)*
Median	52.4	47.6	43.9	37.1	35.2	27.4	25.7
<b>2LJvV (m/s), mean±SD (%)</b>	2.7 (±0.2) (100)	2.6 (±0.2) (96)*	2.5 (±0.2) (91)*	2.2 (±0.2) (83)*	2.1 (±0.2) (78)*	1.8 (±0.3) (65)*	1.7 (±0.2) (62)*
Median	2.7	2.6	2.5	2.2	2.1	1.8	1.7
<b>CRTF (N/kg), mean±SD (%)</b>	16.9±1.9 (100)	16.0±1.7 (96)	15.8±1.7 (95)*	15.0±1.6 (90)*	14.3±1.3 (86)*	13.5±1.3 (81)*	13.0±0.9 (78)*
Median	16.4	15.8	15.4	14.7	14.2	13.2	12.9
<b>CRTP (W/kg), mean±SD (%)</b>	15.5±3.0 (100)	14.8±2.1 (95)	15.2±2.3 (98)	13.4±2.1 (86)*	12.0±2.2 (78)*	10.2±2.3 (66)*	9.5±2.3 (61)*
Median	15.0	14.8	15.2	13.5	12.1	9.8	9.7
<b>CRTvV (m/s), mean±SD (%)</b>	1.4 (±0.2) (100)	1.3 (±0.2) (98)	1.4 (±0.2) (103)	1.3 (±0.2) (93)	1.2 (±0.2) (85)*	1.0 (±0.2) (74)*	1.0 (±0.2) (71)*
Median	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0

<sup>†</sup> % = percentage of mean of the youngest age group. \* Significant age-related change compared to the third decade ( $p < 0.05$ )

2LJF = two leg jump force (N/kg), 2LJP = two leg jump power (W/kg), 2LJvV = two leg jump vertical velocity (m/s)

CRTF = chair rise test force (N/kg), CRTP = chair rise test power (W/kg), CRTvV = chair rise vertical velocity (m/s)

**Table 2.** Reference values for muscle performance by sex and age-decade.

		Intercept	Age	Sex	Age*age	Sex*age
<b>2LJF (N/kg)</b>	$\beta$	29.824	-0.171	-1.174	0.001	0.015
	SEM	1.114	0.043	0.747	0.000	0.013
	p	<0.0001	<0.0001	0.117	0.047	0.271
R <sup>2</sup> =0.18						
<b>2LJP (W/kg)</b>	$\beta$	63.006	-0.368	-16.691	-0.001	0.151
	SEM	1.948	0.076	1.307	0.001	0.023
	p	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.094	<0.0001
R <sup>2</sup> =0.71						
<b>2LJvV (m/s)</b>	$\beta$	2.8369	-0.0014	-0.6092	-0.0002	0.0039
	SEM	0.0739	0.0029	0.0496	0.0000	0.0009
	p	<0.0001	0.6160	<0.0001	<0.0001	<0.0001
R <sup>2</sup> =0.74						
<b>CRTF (N/kg)</b>	$\beta$	18.011	-0.050	-0.803	0.000	0.003
	SEM	0.538	0.021	0.360	0.000	0.006
	p	<0.0001	0.017	0.026	0.556	0.629
R <sup>2</sup> =0.36						
<b>CRTP (W/kg)</b>	$\beta$	13.951	0.103	-3.842	-0.002	0.025
	SEM	0.730	0.028	0.487	0.000	0.009
	p	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.005
R <sup>2</sup> =0.54						
<b>CRTvV (m/s)</b>	$\beta$	1.2009	0.0110	-0.2790	-0.0002	0.0011
	SEM	0.0604	0.0023	0.0403	0.0000	0.0007
	p	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.1164
R <sup>2</sup> =0.5						
*coding: men=0; women=1; 2LJF=two leg jump force (N/kg), 2LJP=two leg jump power (W/kg), 2LJvV=two leg jump vertical velocity (m/s), CRTF=chair rise test force (N/kg), CRTP=chair rise test power (W/kg), CRTvV=chair rise vertical velocity (m/s)						

**Table 3.** Association between muscle parameters and age and sex using linear regression analysis.

uated by adding an interaction term of sex\*age. A p-value of  $p < 0.05$  was considered as significant. Scatter plots showing age and gender differences in the neuromuscular performance are presented. The statistical calculations were performed using the Statistical Analysis System SAS version 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA).

#### Ethics

The present study was approved by the local ethics committee (EA4/095/05). Written informed consent was obtained from all participants before they were included into the study.

## Results

#### Participants

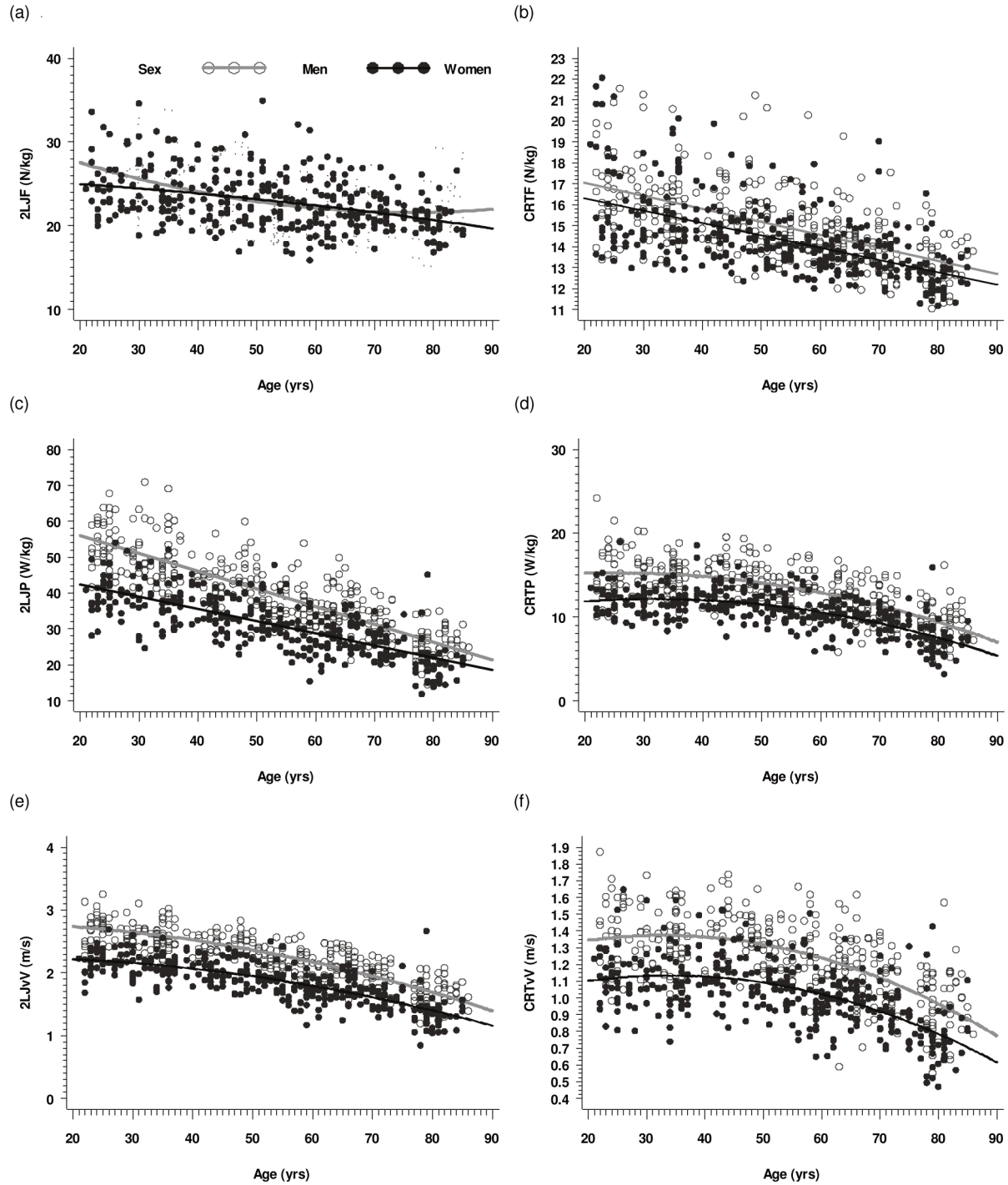
771 individuals participated in the study. Leonardo measurements were available for 351 women and 353 men. The distribution of participants by age decades and sex and the anthropometric measures are presented in Table 1. With increasing age, height declined while weight and BMI increased in both sexes.

#### Age and sex effects

In all neuromuscular performance tests a significant decline across the life span in both women and men was observed (Table 2 and Table 3). While force decreased by about 20% from the third to the ninth decade, the decline of power was much higher, varying between 40-50% (Table 2). Age-related decline of 2LJ power and CRT force became significant in the age-group 40-49 in women while the decline of 2LJ force and CRT power became significant not until the sixth decade ( $p < 0.05$ ). In men however, the decline of 2LJ force and 2LJ power became significant already in the fifth decade, respectively in the fourth decade (Table 2).

The decline was linear for 2LJ power and for CRT force, whereas CRT power showed a curvilinear decline, which was modest or nonexistent in the under 40 year old groups, and thereafter a more robust decline was present (Figure 2d). For 2LJ force, the decline was linear for women and curvilinear for men showing no further decline after the age of 50 in men (quadratic term for age: women  $p = 0.48$ , men  $p = 0.001$ ).

Men showed significantly higher values for all performance tests except for the 2LJ force values (Figure 2, Table 3). A sig-



**Figure 2.** Regression plots of age and sex-related differences for the muscle parameters. Linear regression analysis of age and sex-related differences for the dependent variables (a) two leg jump force (2LJF), (b) chair rise test force (CRTF), (c) two leg jump power (2LJP), (d) chair rise test power (CRTP), (e) two leg jump vertical velocity (2LJvV) and (f) chair rise test vertical velocity (CRTvV).

nificant interaction between age and sex can be observed in both power parameters, which was confirmed by different slopes in the regression plots where men showed a steeper decline than women (Figure 2c, Figure 2d). Consequently, the differences between jumping and sit-to-stand power in men

and women decreased with advancing age.

Analogue to mechanical power, vertical velocity in both tests declined by about 30-40%. Velocity was significantly higher in men than in women with a slightly steeper decline in the 2LJ test but not in the CRT. While the decline of 2LJvV was a con-

tinuous process across the life span in the CRTvV, a slight increase of 2-3% was observed until the fifth decade with a significant decrease in the seventh decade when compared to the young reference group (Table 2, Figure 2e, Figure 2f).

Results from the linear regression analysis are depicted in Table 3. Age and sex explained the variability of the power parameters to a much greater extent (power:  $R^2=0.54$  to  $R^2=0.70$ ; vertical velocity  $R^2=0.5$  to  $R^2=0.74$ ) than the force parameters ( $R^2=0.18$  to  $R^2=0.36$ ).

## Discussion

The analyses presented in this article examine the influence of age and gender on neuromuscular performance. Confirming previous reports, this study demonstrates that neuromuscular function declines considerably with aging.

We observed a decline in 2LJ peak mechanical power of about 50% in both sexes from the third to the ninth decade which is in agreement with former cross-sectional studies applying the same jumping performance tests assessed with mechanography<sup>28,30,34</sup>. In contrast to the aforementioned studies, our reference values on peak mechanical power in countermovement jumps differ from the ones previously described in the literature. In a Japanese cross-sectional study<sup>34</sup> mean values for 2LJP adjusted for body mass are up to 15% higher in both sexes than the values reported in our study. These findings might result from a selection bias towards a physically more competent population, as participants in the Japanese study were recruited from a local gym and participants with a chair rise time (5 stands) of more than 10 seconds were excluded from the study. As Tsubaki et al report that the Japanese values did not differ significantly from the normative values of another German cross-sectional study with identical exclusion criteria<sup>30</sup>, the observed differences are unlikely due to racial or ethnic differences. A small Greek cross-sectional study in women however, presents lower mean values on 2LJ power than our study<sup>28</sup>. As those women were recruited from a screening program on osteoporosis with a larger number of participants in the older age groups, the lower 2LJ power values might result from differences in the study population. No reference values on ground reaction force in countermovement jumps and chair rising across the life span using mechanography could be found in the literature.

In our study ground reaction force declined by about 20% in both sexes when the ninth decade is compared to the third. Previous cross-sectional studies using dynamometry describe a loss of knee extension force/ torque from age 20 to 80 varying between 30-60%<sup>5-7,10,12</sup>. However, the direct comparison between ground reaction force data and isometric force respectively torque data is problematic as the amount of force produced during a muscle contraction varies with the velocity of shortening. Thus, the force-velocity relationship dictates an optimal force and an optimal velocity at which maximal power can be developed. As our testing procedures focused on maximal power generation during a countermovement jump respectively five chair stands, the force values have to be

interpreted as optimal values for the examined performance rather than maximal values. With isokinetic or isometric muscle testing procedures, higher force values will be obtained as speed of movement is slower or non-existent. However, these tests do not reflect everyday activity of the lower limb where body mass has to be moved against gravity.

Furthermore, an earlier study on vertical jumping performance suggests that vertical ground reaction force depends on countermovement magnitude and volitional effort<sup>35</sup>. A jumping pattern with the instruction “Jump as forceful as you can” is performed with a rather short eccentric countermovement and therefore with a short acceleration phase, a high vertical ground reaction force during lift off, which will finally result in lower jumping height and lower velocity. In contrast, a jumping pattern with the instruction “Jump as high as you can” leads to a longer countermovement with a longer acceleration phase and a lower, but longer force curve, resulting in a greater jumping height and a higher final velocity. As in our study the latter instruction was used the participants had to reduce the ground reaction force in order to increase velocity and jumping height.

Observational studies throughout a wide age range highlighted the importance of assessing power as it declines earlier in life and at a faster rate than force<sup>5,26</sup>. These findings support the observation of studies on muscle morphology which have shown that age-related loss of muscle function is associated with a loss of both slow and fast motor units, with a greater loss of fast motor units<sup>36,37</sup> and a decreased sliding speed of the myosin molecule<sup>38</sup>. As muscles and tendons act as a unit when transforming contractile forces to the skeleton, the velocity of force production is not only influenced by contractile properties but also by the mechanical properties of the tendons. Investigating the Achilles tendon *in vivo* using ultrasound, Narici et al report a decrease in the stiffness (-36%) and in the Young's modulus (-48%) between young and old adults<sup>39</sup>. In order to counteract the larger slack of the tendon, greater contractile efforts would be necessary to produce the same velocity as with a stiffer tendon. A loss of this compensation might contribute to the decrease in the velocity of force production<sup>40</sup>.

As a limitation of our study one has to consider that individuals unable to walk without a walking aid were excluded from the study and generalised statements to persons with walking impairment living in the community or in nursing homes cannot be made. Hence, selection bias towards well functioning adults might have influenced the results, leading to an underestimation of the true decline in muscle function in the lower limb. Most recently, Zech et al reported a significant difference between non-frail and pre-frail older persons concerning muscle power<sup>41</sup>. Future research is needed to extend our results to pre-frail and frail older people and to confirm the applicability and safety of the force plate tests in this population.

A curvilinear association with an increased loss after 50 was observed in the CRT power results. However, given the generally high level of physical function in the study population, the use of the chair rise test might be of limited value, in particular in the younger adults as it might have induced a ceiling effect into this data set.



The cross-sectional design of the current study limits the ability to give a true estimate of age trends. Limited data from longitudinal studies present conflicting results. While some studies found a similar pattern for longitudinal decline of muscle force and torque as for cross-sectional decline<sup>42,43</sup>, others report a smaller longitudinal decline<sup>7,44,45</sup> and one study notes a larger decline for force<sup>46</sup>. Importantly, most of those studies were relatively small, and only the study of Metter et al seems to be large enough (n=837 men in the follow-up) to allow for a generalisation<sup>7</sup>. The longitudinal decline in power from age 20 to 80 has been reported to be 10% greater than isometric force decline in men<sup>7</sup>. For women, no longitudinal decline in isometric force and power was described in the aforementioned investigation. However, the relatively small group of women in the follow-up visit (n=44) limits the scope of the analysis and the generalisability of the results. So far, no longitudinal data on mechanography have been published.

In conclusion, the present study found a decline of peak mechanical power from the third to the ninth decade of about 50% in both sexes using mechanography as a standardized assessment of motor performance. Our data provide researchers and clinicians with valuable reference data for physical performance tests across the adult life span. In line with previous research our findings confirm the importance of assessing neuromuscular power of the lower limb for understanding age-associated decline in functional performance and the development of sarcopenia. Physical performance using mechanography may provide a useful tool to monitor and evaluate proactive strategies for combating sarcopenia. Further research is necessary to translate the presented results into clinically meaningful endpoints, such as mobility limitation or fall risk in older people.

#### Acknowledgement

*We gratefully acknowledge the cooperation of all individuals who participated in this study.*

## References

- Gallagher D, Visser M, De Meersman RE, et al. Appendicular skeletal muscle mass: effects of age, gender, and ethnicity. *J Appl Physiol* 1997;83:229-39.
- Janssen I, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *J Appl Physiol* 2000;89:81-8.
- Kelly TL, Wilson KE, Heymsfield SB. Dual energy X-Ray absorptiometry body composition reference values from NHANES. *PLoS One* 2009;4:e7038.
- Araujo AB, Chiu GR, Kupelian V, et al. Lean mass, muscle strength, and physical function in a diverse population of men: a population-based cross-sectional study. *BMC Public Health* 2010;10:508.
- Lauretani F, Russo CR, Bandinelli S, et al. Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. *J Appl Physiol* 2003;95:1851-60.
- Lindle RS, Metter EJ, Lynch NA, et al. Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20-93 yr. *J Appl Physiol* 1997;83:1581-7.
- Metter EJ, Lynch N, Conwit R, Lindle R, Tobin J, Hurley B. Muscle quality and age: cross-sectional and longitudinal comparisons. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1999;54:B207-18.
- Reed RL, Pearlmutter L, Yochum K, Meredith KE, Mooradian AD. The relationship between muscle mass and muscle strength in the elderly. *J Am Geriatr Soc* 1991;39:555-61.
- Sinaki M, Nwaogwugwu NC, Phillips BE, Mokri MP. Effect of gender, age, and anthropometry on axial and appendicular muscle strength. *Am J Phys Med Rehabil* 2001;80:330-8.
- Stoll T, Huber E, Seifert B, Michel BA, Stucki G. Maximal isometric muscle strength: normative values and gender-specific relation to age. *Clin Rheumatol* 2000;19:105-13.
- Frontera WR, Hughes VA, Lutz KJ, Evans WJ. A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women. *J Appl Physiol* 1991;71:644-50.
- Lynch NA, Metter EJ, Lindle RS, et al. Muscle quality. I. Age-associated differences between arm and leg muscle groups. *J Appl Physiol* 1999;86:188-94.
- Reid KF, Naumova EN, Carabello RJ, Phillips EM, Fielding RA. Lower extremity muscle mass predicts functional performance in mobility-limited elders. *J Nutr Health Aging* 2008;12:493-8.
- Baumgartner RN, Koehler KM, Gallagher D, et al. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *Am J Epidemiol* 1998;147:755-63.
- 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;50:889-96.
- Visser M, Kritchevsky SB, Goodpaster BH, et al. Leg muscle mass and composition in relation to lower extremity performance in men and women aged 70 to 79: the health, aging and body composition study. *J Am Geriatr Soc* 2002;50:897-904.
- Hicks GE, Shardell M, Alley DE, et al. Absolute Strength and Loss of Strength as Predictors of Mobility Decline in Older Adults: The InCHIANTI Study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2011.
- Puthoff ML, Janz KF, Nielson D. The relationship between lower extremity strength and power to everyday walking behaviors in older adults with functional limitations. *J Geriatr Phys Ther* 2008;31:24-31.
- Bean JF, Leveille SG, Kiely DK, Bandinelli S, Guralnik JM, Ferrucci L. A comparison of leg power and leg strength within the InCHIANTI study: which influences mobility more? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2003;58:728-33.
- Skelton DA, Greig CA, Davies JM, Young A. Strength, power and related functional ability of healthy people

- aged 65-89 years. *Age Ageing* 1994;23:371-7.
21. Cuoco A, Callahan DM, Sayers S, Frontera WR, Bean J, Fielding RA. Impact of muscle power and force on gait speed in disabled older men and women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2004;59:1200-6.
  22. Foldvari M, Clark M, Laviolette LC, et al. Association of muscle power with functional status in community-dwelling elderly women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2000;55:M192-9.
  23. Kidde J, Marcus R, Dibble L, Smith S, Lastayo P. Regional muscle and whole-body composition factors related to mobility in older individuals: a review. *Physiother Can* 2009;61:197-209.
  24. Kostka T. Quadriceps maximal power and optimal shortening velocity in 335 men aged 23-88 years. *Eur J Appl Physiol* 2005;95:140-5.
  25. Martin JC, Farrar RP, Wagner BM, Spirduso WW. Maximal power across the lifespan. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2000;55:M311-6.
  26. Metter EJ, Conwit R, Tobin J, Fozard JL. Age-associated loss of power and strength in the upper extremities in women and men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1997;52:B267-76.
  27. Buehring B, Krueger D, Binkley N. Jumping mechanography: a potential tool for sarcopenia evaluation in older individuals. *J Clin Densitom* 2010;13:283-91.
  28. Dionyssiotis Y, Galanos A, Michas G, Trovas G, Lyritis GP. Assessment of musculoskeletal system in women with jumping mechanography. *Int J Womens Health* 2009;1:113-8.
  29. Fricke O, Weidler J, Tutlewski B, Schoenau E. Mechanography - a new device for the assessment of muscle function in pediatrics. *Pediatr Res* 2006;59:46-9.
  30. Runge M, Rittweger J, Russo CR, Schiessl H, Felsenberg D. Is muscle power output a key factor in the age-related decline in physical performance? A comparison of muscle cross section, chair-rising test and jumping power. *Clin Physiol Funct Imaging* 2004;24:335-40.
  31. Guralnik JM, Simonsick EM, Ferrucci L, 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:M85-94.
  32. Veilleux LN, Rauch F. Reproducibility of jumping mechanography in healthy children and adults. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2010;10:256-66.
  33. Rittweger J, Schiessl H, Felsenberg D, Runge M. Reproducibility of the jumping mechanography as a test of mechanical power output in physically competent adult and elderly subjects. *J Am Geriatr Soc* 2004;52:128-31.
  34. Tsubaki A, Kubo M, Kobayashi R, Jigami H, Takahashi HE. Normative values for maximum power during motor function assessment of jumping among physically active Japanese. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2009;9:263-7.
  35. Salles AS, Baltzopoulos V, Rittweger J. Differential effects of countermovement magnitude and volitional effort on vertical jumping. *Eur J Appl Physiol* 2011;111:441-8.
  36. Lexell J, Taylor CC, Sjostrom M. What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. *J Neurol Sci* 1988;84:275-94.
  37. Lexell J, Downham DY. The occurrence of fibre-type grouping in healthy human muscle: a quantitative study of cross-sections of whole vastus lateralis from men between 15 and 83 years. *Acta Neuropathol* 1991;81:377-81.
  38. Hook P, Sriramoju V, Larsson L. Effects of aging on actin sliding speed on myosin from single skeletal muscle cells of mice, rats, and humans. *Am J Physiol Cell Physiol* 2001;280:C782-8.
  39. Narici MV, Maganaris CN. Plasticity of the muscle-tendon complex with disuse and aging. *Exerc Sport Sci Rev* 2007;35:126-34.
  40. Narici MV, Maffulli N. Sarcopenia: characteristics, mechanisms and functional significance. *Br Med Bull* 2010;95:139-59.
  41. Zech A, Steib S, Sportwiss D, Freiburger E, Pfeifer K. Functional Muscle Power Testing in Young, Middle-Aged, and Community-Dwelling Nonfrail and Prefrail Older Adults. *Arch Phys Med Rehabil* 2011;92:967-71.
  42. Aniansson A, Hedberg M, Henning GB, Grimby G. Muscle morphology, enzymatic activity, and muscle strength in elderly men: a follow-up study. *Muscle Nerve* 1986;9:585-91.
  43. Kallman DA, Plato CC, Tobin JD. The role of muscle loss in the age-related decline of grip strength: cross-sectional and longitudinal perspectives. *J Gerontol* 1990;45:M82-8.
  44. Greig CA, Botella J, Young A. The quadriceps strength of healthy elderly people remeasured after eight years. *Muscle Nerve* 1993;16:6-10.
  45. Hughes VA, Frontera WR, Wood M, et al. Longitudinal muscle strength changes in older adults: influence of muscle mass, physical activity, and health. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2001;56:B209-17.
  46. Clement FJ. Longitudinal and cross-sectional assessments of age changes in physical strength as related to sex, social class, and mental ability. *J Gerontol* 1974;29:423-9.

# Mechanography performance tests and their association with sarcopenia, falls and impairment in the activities of daily living – a pilot cross-sectional study in 293 older adults

R. Dietzel, D. Felsenberg, G. Armbrecht

Centre of Muscle and Bone Research, Charite University Hospital Berlin

## Abstract

**Objectives:** Muscle mass and muscle power considerably decline with aging. The aim of the present study was to determine the association between muscular function using mechanography and sarcopenia, falls and impairment in the activities of daily living (ADL) in a sample of 293 community-dwelling women and men aged 60-85 years in Berlin, Germany. **Methods:** Muscle function was determined by muscle power per body mass in vertical countermovement jumps ( $2LJP_{rel}$ ) and the chair rising test ( $CRT_{rel}$ ) on a force plate. Sarcopenia status was assessed by estimating appendicular muscle mass with dual-X-ray absorptiometry. Self-reported ADL impairment and falls in the last 12 months were determined. **Results:** ADL impairment was significantly correlated with all performance tests but not with muscle mass. The  $2LJP_{rel}$  (OR 0.88, 95%-CI 0.79-0.98), the Esslinger Fitness Index (EFI) (OR 0.97, 95%-CI 0.94-1.00) and the maximal velocity of the CRT (OR 0.70, 95%-CI 0.53-0.93) remained significant correlates for sarcopenia independent of age in men but not in women. The EFI could differentiate female individuals who had past fall events (OR 0.96, 95%-CI 0.93-0.98). **Conclusion:** The results of the present study highlight the importance of assessing muscle power in older individuals as a relevant correlate for functional decline.

**Keywords:** Falls, Sarcopenia, Muscle Power, Mechanography, Aged

## Introduction

One of the serious consequences of aging is the gradual loss of muscle function, a phenomenon called sarcopenia. While this term was originally used solely to describe the age-associated decrease in muscle mass, it has been suggested that age-related muscle weakness should also be included in the definition<sup>1,2</sup>. Indeed, both have been strongly linked to physical impairment and disability among the elderly<sup>3-6</sup>. Muscle force and muscle power also decrease with advancing age, particu-

larly in the lower body, and to a greater degree than muscle mass<sup>7,8</sup>. Skeletal muscle power declines earlier than muscle force with advancing age<sup>5,9</sup> and current evidence suggests that it is more strongly related to functional status than isometric muscle force<sup>10,11</sup> or knee extensor torque<sup>12</sup>. A review of muscle parameters and their relation to mobility in older individuals highlights the role of muscle power, as it explains more variance in mobility than muscle force or torque<sup>13</sup>. The decrease of muscle power with aging has been linked to a decrease in the number and size of type II muscle fibres, an increase in muscle fat infiltration, changes in muscle architecture and neuromuscular activation, as well as alteration in hormonal status, protein synthesis and inflammatory mediators<sup>14,15</sup>.

Age-associated falls frequently occur during circumstances with increased environmental demands, when older people are unable to manage these conditions<sup>16</sup>. A decreased capacity for high-velocity movements - especially in the legs - has been linked to delayed responses in maintaining postural stability and thus with age-associated fall risk in older adults<sup>17</sup>.

The muscle power required for a single-joint movement does

The authors have no conflict of interest.

Corresponding author: Roswitha Dietzel, MPH, Centre of Muscle and Bone Research, Charite Berlin, Hindenburgdamm 30, 12200 Berlin, Germany  
E-mail: [roswitha.dietzel@charite.de](mailto:roswitha.dietzel@charite.de)

Edited by: J. Rittweger  
Accepted 26 May 2015

not accurately reflect the necessary muscle power for coordinated multiple-joint movements in daily life activities. In the present study, mechanography was used to assess leg extensor power. The system measures the time course of ground reaction forces, the velocity of the vertical movements of the centre of gravity and derives power as the product of force and velocity.

With this mechanical approach, the assessment of muscle function and the integration with the neural coordination of the muscle contraction in complex physiological movements such as jumping or sit-to-stand against gravity is possible, which has been shown as a robust indicator of muscle function that is relevant for daily life<sup>18-21</sup>.

The purpose of this population-based, cross-sectional study in older men and women living in Berlin, Germany was to test the hypothesis that in older adults muscle power output derived by mechanography performance tests is significantly associated with sarcopenia, self-reported falls and impairment in the activities of daily living (ADL) independent of sex and age in a quick and precise way.

## Materials and methods

### *Study sample*

For this population-based cross-sectional study, subjects were recruited from a random sample of all districts in Berlin, Germany, provided by the resident registration office. The sample size was calculated to be 30 subjects in each five-year band between 60 and 85 years, stratified for sex. The entry criteria for the study excluded those with: i) invalid estimates of body composition due to the presence of metal implants or artificial prostheses, edema or medications affecting water-mineral homeostasis; ii) the inability to walk without an walking aid; iii) no allowance for X-ray exposure; or iv) the inability to understand the nature of the study and follow the instructions.

The present study was approved by the local ethics committee (EA4/095/05), as well as the German Radiation Protection Ordinance (Z5-22462/2-2005-063). Written informed consent was obtained from all participants before they were included in the study.

### *Measurements dependent variable*

#### Anthropometry

Body weight was determined to the nearest 0.1 kg and stature was assessed to the nearest 0.1 cm using a digital weight scale and stadiometer (Seca 764). Body mass index (BMI) was calculated as weight (kg) divided by height (m<sup>2</sup>).

#### Sarcopenia

DXA (Lunar Prodigy Advance, GE Medical Systems, Wisconsin, USA; EnCore Software v9.3) total body scans were performed according to the standard GE LUNAR operator manual by the same operator. Appendicular skeletal muscle mass (ASM), described as the sum of arms and legs lean mass (kg)<sup>22</sup>, was adjusted to the stature index (ASM/h<sup>2</sup>)<sup>3</sup>. Sarcopenia

employing ASM/h<sup>2</sup> was defined using the cut-off values of the Rosetta Study, which are based upon two standard deviations below the mean of young adults (men: ASM/h<sup>2</sup><7.26 kg/m<sup>2</sup>, women: ASM/h<sup>2</sup><5.5 kg/m<sup>2</sup>)<sup>3</sup>.

#### Falls

Fall history was taken retrospectively for the last 12 months. According to the recommendations of the PROFANE group, a fall was defined as “an unexpected event in which the participants come to rest on the ground, floor, or lower level”<sup>23</sup>. Syncopal falls and “high-trauma falls” (e.g. due to an external force like a car accident) were excluded from the analysis. For analysis, subjects were categorized into “no fall” versus “one or more falls” within the last 12 months.

#### Activities of daily living

Activities of daily living (ADL) were assessed using the subscale of the questionnaire used in the European Vertebral Fracture Study, where subjects are asked if they are able to perform twelve functional tasks related to dressing, washing, rising from bed, mobility, sitting on a chair for one hour, standing in line for 30 minutes, reaching an object, picking something from a floor or lifting and carrying a heavy object<sup>24</sup>. A maximum sum score of 24 points was derived, where zero is equivalent to no impairment and 24 to severe impairment in the ADL.

#### Assessment of neuromuscular performance

To assess muscle function of the lower extremity, the Leonardo Mechanograph® Ground Reaction Force Plate (Novotec Medical, Pforzheim, Germany) with software package 4.2 was used. Three two-leg jumps (2LJ) were performed as a vertical countermovement jump with a break of one minute between each jump. Subjects were asked to jump as high as possible, whereby the jump achieving the greatest power per body mass of the valid tests was used for this study analysis. Variables of interest included the maximal total relative power per body weight during lift off (2LJP<sub>rel</sub>), maximal jump height (2LJ<sub>h</sub>), maximal velocity (2LJ<sub>v</sub>) and the Esslinger Fitness Index (EFI). The EFI describes the maximal 2LJP per body mass normalized to age and gender, expressed as the percentage of the mean value of the sex matched age group. The chair-rise test (CRT) was performed on a bench of 45 cm height, anchored onto the force plate<sup>25</sup>. The time was measured to stand up to full extend and sit down five times at maximum speed without break and without using the arms. For analysis, the maximal total relative power per body weight during the rise phases of five chair stands (CRTP<sub>rel</sub>) and the maximal velocity (CRT<sub>v</sub>) were used. Sufficient reproducibility and reliability for both tests have been documented in healthy young adults as well as physically competent older subjects<sup>19,21,26,27</sup>.

#### *Statistical analysis*

Descriptive statistics for anthropometric data, ADL, muscle mass and muscle function are reported as means ± standard deviation for quantitative variables and as percentages in cat-

	Females n=142			Males n=146		
	normal n=130	sarcopenia n=12	p-value	normal n=124	sarcopenia n=22	p-value
Age (yrs)	71.4 (±7.2)	70.3 (±8.6)	0.60	71.6 (±7.4)	76.9 (±6.5)	<b>0.003</b>
Height (cm)	160.4 (±6.1)	163.7 (±5.7)	0.07	172.6 (±6.4)	171.1 (±6.0)	0.3
Weight (kg)	68.0 (±9.4)	58.9 (±5.7)	<b>0.001</b>	84.0 (±11.7)	71.5 (±11.9)	<b>&lt;0.0001</b>
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	26.5 (±3.4)	22.0 (±2.3)	<b>&lt;0.0001</b>	28.2 (±3.3)	24.4 (±4.0)	<b>&lt;0.0001</b>
ADL score (0-24)	4.7 (±4.2)	4.3 (±3.2)	0.90	2.8 (±3.6)	4.5 (±4.5)	0.06
>=1 fall (n,%)	27 (20.8)	2 (16.7)	1.00	12 (9.7)	3 (13.6)	0.70
2LJP <sub>rel</sub> (W/kg)	25.1 (±5.4)	23.1 (±4.6)	0.25	31.4 (±6.7)	25.6 (±5.6)	<b>0.0003</b>
EFI (%)	97.8 (±17.5)	88.3 (±14.0)	0.09	93.0 (±15.3)	84.7 (±20.1)	<b>0.03</b>
2LJ <sub>v</sub> (m/s)	1.6 (±0.3)	1.5 (±0.2)	0.50	1.9 (±0.3)	1.7 (±0.3)	<b>0.0009</b>
2LJ <sub>h</sub> (m)	0.2 (±0.1)	0.2 (±0.0)	0.50	0.3 (±0.1)	0.2 (±0.1)	<b>0.002</b>
CRTP <sub>rel</sub> (W/kg)	8.9 (±2.1)	9.7 (±1.2)	0.30	11.1 (±2.4)	9.5 (±2.5)	<b>0.01</b>
CRT <sub>v</sub> (m/s)	0.9 (±0.2)	0.9 (±0.1)	0.60	1.1 (±0.2)	0.9 (±0.2)	<b>0.0004</b>

**Table 1a.** Characteristics of participants by sarcopenia status.

	Females n=146			Males n=147		
	no fall n=115	>=1 fall n=31	p-value	no fall n=131	fall n=16	p-value
Age (yrs)	70.7 (±7.2)	73.6 (±7.4)	0.10	72.1 (±7.4)	75.3 (±7.8)	0.07
Height (cm)	160.5 (±6.3)	160.9 (±5.2)	0.77	172.4 (±6.4)	172.3 (±6.4)	0.85
Weight (kg)	66.8 (±9.4)	70.8 (±11.3)	<b>0.05</b>	82.8 (±12.5)	78.9 (±15.0)	0.25
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	25.9 (±3.5)	27.4 (±4.4)	0.06	27.8 (±3.7)	26.4 (±3.9)	0.16
ADL score (0-24)	4.5 (±4.1)	5.5 (±4.1)	0.36	3.0 (±3.7)	3.6 (±4.4)	0.47
ASM/h <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	6.4 (±0.7)	6.4 (±0.7)	0.66	8.1 (±0.9)	7.9 (±0.8)	0.23
Sarcopenia (n,%)	10 (8.9)	2 (6.9)	1.0	19 (14.5)	3 (20.0)	0.70
2LJP <sub>rel</sub> (W/kg)	25.7 (±5.1)	22.6 (±7.1)	<b>0.03</b>	30.5 (±6.9)	29.9 (±6.7)	0.75
EFI (%)	99.2 (±16.5)	87.5 (±18.1)	<b>0.001</b>	91.1 (±16.4)	95.1 (±16.4)	0.37
2LJ <sub>v</sub> (m/s)	1.6 (±0.2)	1.5 (±0.4)	<b>0.03</b>	1.9 (±0.3)	1.9 (±0.3)	0.63
2LJ <sub>h</sub> (m)	0.2 (±0.1)	0.2 (±0.1)	0.10	0.3 (±0.1)	0.3 (±0.1)	0.41
CRTP <sub>rel</sub> (W/kg)	9.2 (±1.9)	8.2 (±2.6)	0.07	10.8 (±2.5)	11.1 (±2.6)	0.69
CRT <sub>v</sub> (m/s)	0.9 (±0.2)	0.8 (±0.2)	0.08	1.1 (±0.2)	1.1 (±0.2)	0.45

All continuous variables are presented as mean±SD, categorical variables as number and percentage.

ADL= activities of daily living, ASM= appendicular skeletal lean mass arms and legs (kg).

Sarcopenia: females ASM/h<sup>2</sup>≤5.5, males ASM/h<sup>2</sup>≤7.26;

2LJP<sub>rel</sub>= maximum two leg jump power per kg body mass; EFI=Esslinger Fitness Index.

2LJ<sub>v</sub>=maximum two leg jump velocity; 2LJ<sub>h</sub>=maximum two leg jump height.

CRTP<sub>rel</sub>= maximum chair rise test power per kg body mass; CRT<sub>v</sub>=maximum chair rise test velocity.

**Table 1b.** Characteristics of participants by fall status.

egorical variables. Differences between subjects with and without sarcopenia and falls were examined in quantitative variables using a Student T-Test or Wilcoxon Test for independent samples based upon data distribution and with exact Fisher Test for categorical variables. The correlation between ADL score and muscle parameters was determined by calculating the Spearman correlation coefficient with and without

adjustment for age. Correlates for sarcopenia and falls are presented in odds ratios with 95% confidence intervals using logistic regression analysis. Odds ratios were determined before and after adjusting for age. A p-value of p<0.05 was considered as the significance level. The statistical calculations were performed using the Statistical Analysis System SAS version 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, North Carolina, USA).

	Females		Males	
	Correlation 1	Correlation 2	Correlation 1	Correlation 2
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	r=0.119 p=0.156	r=0.142 p=0.119	r=0.190 <b>p=0.021</b>	r=0.244 <b>p=0.004</b>
ASM/h <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	r=-0.019 p=0.828	r=-0.007 p=0.940	r=-0.119 p=0.152	r=-0.028 p=0.750
2LJP <sub>rel</sub> (W/kg)	r=-0.355 <b>p&lt;0.0001</b>	r=-0.247 <b>p=0.006</b>	r=-0.391 <b>p&lt;0.0001</b>	r=-0.308 <b>p=0.0003</b>
EFI (%)	na <sup>#</sup>	r=-0.266 <b>p=0.002</b>	na <sup>#</sup>	r=-0.300 <b>p=0.0003</b>
2LJ <sub>v</sub> (m/s)	r=-0.326 <b>p=0.0001</b>	r=-0.209 <b>p=0.020</b>	r=-0.394 <b>p&lt;0.0001</b>	r=-0.309 <b>p=0.0003</b>
2LJ <sub>h</sub> (m)	r=-0.298 <b>p=0.0005</b>	r=-0.170 <b>p=0.060</b>	r=-0.396 <b>p&lt;0.0001</b>	r=-0.314 <b>p=0.0002</b>
CRTP <sub>rel</sub> (W/kg)	r=-0.359 <b>p&lt;0.0001</b>	r=-0.221 <b>p=0.014</b>	r=-0.479 <b>p&lt;0.0001</b>	r=-0.401 <b>p&lt;0.0001</b>
CRT <sub>v</sub> (m/s)	r=-0.342 <b>p&lt;0.0001</b>	r=-0.192 <b>p=0.034</b>	r=-0.502 <b>p&lt;0.0001</b>	r=-0.434 <b>p&lt;0.0001</b>

Correlation1: crude; Correlation 2: partial correlation with age

<sup>#</sup>: The EFI is already adjusted for age.

For abbreviations see Table 1.

**Table 2.** Correlation between ADL score and muscle mass and mechanography performance.

## Results

146 women and 147 men between 60-85 years participated in the study. Based upon the sarcopenia definition by Baumgartner et al.<sup>3</sup>, 11.8% of the participants were classified as sarcopenic. Men were affected almost twice as much as women (15.1% versus 8.5%) (Table 1a). In both sexes, subjects with sarcopenia presented with significantly lower body mass and BMI than participants without sarcopenia (Table 1a). Only in men were sarcopenic subjects significantly older and presented with significant lower values in all neuromuscular performance tests than normal subjects (Table 1a). No differences in retrospective falls were observed between sarcopenic and non-sarcopenic subjects (Table 1a). 16% of the participants had experienced one or more falls in the last 12 months. Self-reported falls occurred twice as often in women compared to men (21.2% versus 11%) (Table 1b). In bivariate analysis, fallers presented with significant lower values in the 2LJP<sub>rel</sub> (p=0.03), EFI (p=0.001) and 2LJ<sub>v</sub> (p=0.03) in women, but not in men (Table 1b). No difference in muscle mass was observed between fallers and non-fallers (Table 1b).

A negative correlation between ADL score and muscle parameters were found for all muscle performance tests but not for muscle mass (Table 2). The correlation was stronger in men than in women and became weaker after adjustment for age. In men the partial correlation was strongest for CRT<sub>v</sub> (r=0.434, p<0.0001) and in women for the EFI (r=0.266, p=0.002).

After logistic regression analysis, the 2LJP<sub>rel</sub> (OR 0.88, 95%-CI 0.79-0.98), the EFI (OR 0.97, 95%-CI 0.94-1.00) and the CRT<sub>v</sub> (OR 0.70, 95%-CI 0.53-0.93) remained significant

correlates for sarcopenia independent from age in men, but not in women (Table 3a). Although the crude ORs of 2LJ<sub>h</sub>, 2LJ<sub>v</sub> and CRTP<sub>rel</sub> were significantly associated with sarcopenia status in men, the observed association diminished after adjustment for age. In females, all mechanography performance tests were associated with falls in the last 12 months in the unadjusted model (Table 3b). After adjustment for age, only the EFI remained a significant correlate for falls in women (OR 0.96, 95%-CI 0.93-0.98) (Table 3b). No association between falls and muscle mass was observed.

No adverse events were observed in the neuromuscular tests on the Leonardo platform.

## Discussion

In the present study, we examined neuromuscular performance applying mechanography and their association with sarcopenia, fall status and ADL impairment in 293 older adults.

Through bivariate analysis, we found significant differences in jumping and chair rising power between sarcopenic and non-sarcopenic subjects in men, but not in women. In a previous comparable American study using mechanography, a significant difference in 2LJP<sub>rel</sub> between normal subjects and those with sarcopenia in a sample of females and males aged 55-75 years was also reported<sup>28</sup>. However, reference data on 2LJP<sub>rel</sub> show that men present with higher values in all age groups<sup>29</sup>, indicating that analysis should take into account sex as a confounder. Additionally, our results might be partly explained by differences in subject selection, given that 15.1% of men in our study were classified as sarcopenic based upon

	Females		Males	
	Model 1 OR (95%-CI)	Model 2 OR (95%-CI)	Model 1 OR (95%-CI)	Model 2 OR (95%-CI)
2LJP <sub>rel</sub> (W/kg)	0.93 (0.83-1.05)	0.87 (0.74-1.01)	<b>0.86 (0.78-0.94) ***</b>	<b>0.88 (0.79-0.98) *</b>
EFI (%)	na <sup>#</sup>	0.97 (0.93-1.00)	na #	<b>0.97 (0.94-1.00) *</b>
2LJ <sub>v</sub> (m/s) (unit 0.1)	0.92 (0.72-1.16)	0.80 (0.59-1.10)	<b>0.76 (0.64-0.90) **</b>	0.82 (0.66-1.01)
2LJ <sub>h</sub> (m) (unit 0.1)	0.65 (0.21-2.10)	0.3% (0.08-1.54)	<b>0.35 (0.17-0.71) **</b>	0.49 (0.20-1.20)
CRTP <sub>rel</sub> (W/kg)	1.24 (0.88-1.75)	1.24 (0.82-1.87)	<b>0.77 (0.62-0.95) *</b>	0.86 (0.68-1.08)
CRT <sub>v</sub> (m/s) (unit 0.1)	1.10 (0.76-1.56)	1.02 (0.67-1.57)	<b>0.65 (0.50-0.84) **</b>	<b>0.70 (0.53-0.93) *</b>

*The risk was modeled for having sarcopenia versus no sarcopenia.*

**Table 3a.** Association between sarcopenia and mechanography performance tests.

	Females		Males	
	Model 1 OR (95%-CI)	Model 2 OR (95%-CI)	Model 1 OR (95%-CI)	Model 2 OR (95%-CI)
ASM/h <sup>2</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	0.95 (0.52-1.75)	1.00 (0.54-1.85)	0.71 (0.38-1.34)	0.82 (0.42-1.60)
Sarcopenia <sup>†</sup>	0.76 (0.16-3.69)	0.79 (0.16-3.87)	1.47 (0.38-5.72)	1.14 (0.28-4.65)
2LJP <sub>rel</sub> (W/kg)	<b>0.90 (0.83-0.97) **</b>	0.91 (0.83-1.01)	0.99 (0.91-1.07)	1.05 (0.95-1.16)
EFI (%)	na <sup>#</sup>	<b>0.96 (0.93-0.98) **</b>	na <sup>#</sup>	1.01 (0.98-1.05)
2LJ <sub>v</sub> (m/s) (unit 0.1)	<b>0.79 (0.67-0.94) **</b>	0.81 (0.66-1.00)	0.96 (0.81-1.14)	1.10 (0.87-1.39)
2LJ <sub>h</sub> (m) (unit 0.1)	<b>0.42 (0.19-0.93) *</b>	0.56 (0.22-1.44)	0.75 (0.37-1.50)	1.21 (0.46-3.18)
CRTP <sub>rel</sub> (W/kg)	<b>0.78 (0.64-0.96) *</b>	0.81 (0.63-1.04)	1.05 (0.84-1.30)	1.17 (0.91-1.50)
CRT <sub>v</sub> (m/s) (unit 0.1)	<b>0.77 (0.61-0.98) *</b>	0.81 (0.61-1.08)	1.11 (0.86-1.43)	1.26 (0.94-1.70)

*The risk was modeled for one or more falls versus no falls in the last 12 months.*  
\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ ;  
Model 1: crude; Model 2: adjusted for age;  
<sup>†</sup> No sarcopenia was set as the reference.  
<sup>#</sup> The EFI is already adjusted for age.  
For abbreviations see Table 1.

**Table 3b.** Association between falls and low muscle mass and mechanography performance tests respectively.

ASM/ height<sup>2</sup> in contrast to 8.5% in women, whereas Singh et al.<sup>28</sup> report sarcopenia in 15% males and 24% females, applying the same operational definition for sarcopenia. The prevalence of sarcopenia based upon the ASM/ height<sup>2</sup> definition in our female study population is less than in the large American epidemiological studies<sup>3,30,31</sup>, although it is comparable to other European populations<sup>32-34</sup>. Muscle function and muscle size considerably decrease with age. While the prevalence of sarcopenia increases with aging<sup>3,30,31,35</sup>, the decline of muscle power adjusted for body mass in the 2LJ test and CRT from the third to the ninth decade varied between 40-50% in both sexes<sup>29</sup>. Hence, the analysis of the neuromuscular performance tests should be age-adjusted. For men, our results showed a significant association of the performance tests with sarcopenia status in bivariate analysis. After controlling for potential confounders, the 2LJP<sub>rel</sub>, the EFI and chair rise velocity remained strongly associated with sarcopenia.

Consistent with previous research, in our investigation females were more affected by age-associated falls in the last 12 months compared to males<sup>35</sup>. However, self-reported falls only occurred in 16% of our study population, which is less than the commonly reported 25-30% in subjects 60 years and older<sup>36,37</sup>. Through bivariate analysis, we could show that muscle power performance tests were significantly associated with falls in women. Further multiple logistic regression analysis results indicated that only the EFI could differentiate female individuals who had past fall events. Similar to our results, Cheng et al.<sup>38</sup> displayed an inverse association of maximum power normalized for body mass during sit-to-stand movement with previous falls using force plate technology (OR 0.5, 95% CI 0.4-0.8), indicating that the larger the muscle power, the lower the possibility of previous falling events. However, the effects of age and sex were not included in the analysis, which means that confounding might have biased the results. In line

with our findings, previous articles applying other measurement techniques to estimate muscle power output have described the relationship between muscle power and retrospective falls using a portable force transducer<sup>39</sup> or a leg extensor power rig<sup>40</sup>, suggesting that low muscle power output of the lower legs could be a relevant predictor of fall risk among the elderly.

Former studies have demonstrated that there is no clear linearity between muscle function and muscle mass<sup>41,42</sup> and that the age-associated decline in muscle function is much stronger related to adverse health outcomes than loss of muscle mass<sup>43,44</sup>. In line with those findings our results illustrate that ASM/h<sup>2</sup> was neither associated with self-reported falls nor with impairment in the activities of daily living indicating that muscle power output might be more relevant for functional ability in older adults than muscle mass alone. Because of this disassociation, other authors argue that the loss of muscle function should be discussed separately from the loss of muscle mass and the term “dynapenia” has been coined to define the loss of muscle force and torque associated with aging<sup>45</sup>. Others have suggested that lean mass measures may become relevant only after subjects are already affected by physical impairments because the amount of lean mass reflects not only the level of physical impairment but also the overall health status<sup>43</sup>. Hence, in well-functioning community-dwellers as in our study the assessment of muscle power might be more meaningful than the assessment of muscle mass.

The Esslinger Fitness Index (EFI) reflects the percentage of the mean value of the peak 2LJP<sub>rel</sub> matched for sex and age group. Accordingly, it takes into account the most relevant confounding factors. The EFI was about 10% lower in sarcopenic females and female fallers and 15% lower in sarcopenic males compared to controls. However, future research should focus on the determination of optimal cut-off values of the EFI concerning the onset of disability and fall risk in a larger longitudinal study to identify those who might benefit from a preventive exercise intervention for reducing or postponing the consequences of sarcopenia, age-associated falls and ADL impairment.

In line with other studies in physical competent elderly subjects<sup>20</sup> as well as older subjects with osteoporosis and vertebral fractures<sup>46</sup>, no adverse events with jumping mechanography occurred in our population-based study. Older adults who are unable to jump might benefit from CRT mechanography as a safe meaningful tool<sup>38</sup>.

As physical exercise directly affects muscle function and muscle size, it might be considered as the first therapeutic option. In a meta-analysis of 49 trials, Peterson et al.<sup>47</sup> demonstrate that lean body mass can be increased with resistance training among healthy older adults, particularly through higher volume programs. In a Cochrane meta-analysis of 121 trials, Liu and Latham show that progressive resistance training performed 2-3 times per week not only has a modest to large effect on muscle function but also a small but significant effect on functional disability in older adults<sup>48</sup>. In the present study, we discovered an association between muscle power

output and sarcopenia or falls among the elderly, which raises the question of whether muscle power can be reversed by specific exercise regimes and whether this increase is helpful to postpone functional disability. Current evidence suggests that a high-velocity resistance muscle power program can not only restore muscle power of the lower legs<sup>49,50</sup>, but also shows a benefit on balance<sup>51</sup> and functional performance such as sit-to-stand time<sup>17,52</sup> or gait speed<sup>17,53</sup>. Although no adverse events with high velocity training have been reported amongst elderly persons with a self-reported disability<sup>54</sup> or subjects older than 80 years<sup>55</sup>, the efficacy and safety in older adults suffering from osteoarthritis or osteoporosis as well as the value in the prevention of falls still needs to be determined.

Our study has some limitations that must be considered. When retrospectively assessing falls, the data might be inaccurate due to recall bias<sup>56</sup>. For this reason, prospective fall monitoring with regular postal questionnaires or telephone interviews are recommended<sup>23</sup>. All of the subjects in this study were relatively healthy, well-functioning older men and women, given that participants unable to walk without a walking aid were excluded. The degree of impairment in the activities of daily living was comparatively low and no significant difference in the ADL score between sarcopenic and non-sarcopenic subjects or between fallers and non-fallers could be observed. Therefore, selection bias towards well-functioning adults might have influenced the results. Furthermore, the study had an explanatory character and was not powered for the outcomes sarcopenia or fall status; hence, the unequal prevalence of falls and sarcopenia between the sexes could have resulted in diverse parameters found to be statistically significant. After all, the results of this preliminary study can be helpful for estimating the optimal sample size in future longitudinal studies focusing on the association of muscle power tests applying mechanography and the outcomes sarcopenia, falls and ADL impairment.

## Conclusions

In conclusion, measuring the peak power of countermovement jumps and chair-rising with mechanography is a safe and useful tool to assess muscular function in older adults. The findings of our study suggest that low muscle power needs to be considered as a relevant and modifiable risk factor of sarcopenia, age-associated falls and ADL impairment. From the perspective of primary prevention, the assessment of peak muscle power with mechanography can be helpful to identify those who are at high risk for future functional decline at an early stage. Additionally, it may provide a useful tool to monitor and evaluate preventive strategies for combating functional decline.

### Acknowledgements

*We gratefully acknowledge the cooperation of all subjects who participated in this study.*



---

**References**

1. 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;39:412-423.
2. Newman AB, Kupelian V, Visser M, Simonsick E, Goodpaster B, Nevitt M, et al. Sarcopenia: alternative definitions and associations with lower extremity function. *J Am Geriatr Soc* 2003;51:1602-1609.
3. 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;147:755-763.
4. 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;50:889-896.
5. Lauretani F, Russo CR, Bandinelli S, Bartali B, Cavazzini C, Di Iorio A, et al. Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. *J Appl Physiol* 2003;95:1851-1860.
6. Visser M, Kritchevsky SB, Goodpaster BH, Newman AB, Nevitt M, Stamm E, et al. Leg muscle mass and composition in relation to lower extremity performance in men and women aged 70 to 79: the health, aging and body composition study. *J Am Geriatr Soc* 2002;50:897-904.
7. Frontera WR, Hughes VA, Lutz KJ, Evans WJ. A cross-sectional study of muscle strength and mass in 45- to 78-yr-old men and women. *J Appl Physiol* 1991;71:644-650.
8. Metter EJ, Lynch N, Conwit R, Lindle R, Tobin J, Hurley B. Muscle quality and age: cross-sectional and longitudinal comparisons. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1999; 54:B207-218.
9. Metter EJ, Conwit R, Tobin J, Fozard JL. Age-associated loss of power and strength in the upper extremities in women and men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1997; 52:B267-276.
10. Bean JF, Leveille SG, Kiely DK, Bandinelli S, Guralnik JM, Ferrucci L. A comparison of leg power and leg strength within the InCHIANTI study: which influences mobility more? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2003; 58:728-733.
11. Skelton DA, Greig CA, Davies JM, Young A. Strength, power and related functional ability of healthy people aged 65-89 years. *Age Ageing* 1994;23:371-377.
12. Foldvari M, Clark M, Laviolette LC, Bernstein MA, Kaliton D, Castaneda C et al. Association of muscle power with functional status in community-dwelling elderly women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2000;55:M192-199.
13. Kidde J, Marcus R, Dibble L, Smith S, Lastayo P. Regional muscle and whole-body composition factors related to mobility in older individuals: a review. *Physiother Can* 2009;61:197-209.
14. Aagaard P, Suetta C, Caserotti P, Magnusson SP, Kjaer M. Role of the nervous system in sarcopenia and muscle atrophy with aging: strength training as a countermeasure. *Scand J Med Sci Sports* 2010;20:49-64.
15. Lexell J. Human aging, muscle mass, and fiber type composition. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1995;50 Spec No:11-16.
16. Connell BR, Wolf SL. Environmental and behavioral circumstances associated with falls at home among healthy elderly individuals. Atlanta FICSIT Group. *Arch Phys Med Rehabil* 1997;78:179-186.
17. Pereira A, Izquierdo M, Silva AJ, Costa AM, Bastos E, Gonzalez-Badillo JJ, et al. Effects of high-speed power training on functional capacity and muscle performance in older women. *Exp Gerontol* 2012;47:250-255.
18. Fricke O, Weidler J, Tutlewski B, Schoenau E. Mechanography - a new device for the assessment of muscle function in pediatrics. *Pediatr Res* 2006;59:46-49.
19. Rittweger J, Schiessl H, Felsenberg D, Runge M. Reproducibility of the jumping mechanography as a test of mechanical power output in physically competent adult and elderly subjects. *J Am Geriatr Soc* 2004;52:128-131.
20. Runge M, Rittweger J, Russo CR, Schiessl H, Felsenberg D. Is muscle power output a key factor in the age-related decline in physical performance? A comparison of muscle cross section, chair-rising test and jumping power. *Clin Physiol Funct Imaging* 2004;24:335-340.
21. Veilleux LN, Rauch F. Reproducibility of jumping mechanography in healthy children and adults. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2010;10:256-266.
22. Heymsfield SB, Smith R, Aulet M, Bensen B, Lichtman S, Wang J, et al. Appendicular skeletal muscle mass: measurement by dual-photon absorptiometry. *Am J Clin Nutr* 1990;52:214-218.
23. Lamb SE, Jorstad-Stein EC, Hauer K, Becker C. Development of a common outcome data set for fall injury prevention trials: the Prevention of Falls Network Europe consensus. *J Am Geriatr Soc* 2005;53:1618-1622.
24. O'Neill TW, Cooper C, Cannata JB, Diaz Lopez JB, Hozowski K, Johnell O, et al. Reproducibility of a questionnaire on risk factors for osteoporosis in a multicentre prevalence survey: the European Vertebral Osteoporosis Study. *Int J Epidemiol* 1994;23:559-565.
25. 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:M85-94.
26. Matheson LA, Duffy S, Maroof A, Gibbons R, Duffy C, Roth J. Intra- and inter-rater reliability of jumping mechanography muscle function assessments. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2013;13:480-486.
27. Buehring B, Krueger D, Fidler E, Gangnon R, Heiderscheidt B, Binkley N. Reproducibility of jumping mechanography and traditional measures of physical and muscle function in older adults. *Osteoporos Int* 2014.

28. Singh H, Kim D, Kim E, Bemben MG, Anderson M, Seo DI, et al. Jump test performance and sarcopenia status in men and women, 55 to 75 years of age. *J Geriatr Phys Ther* 2014;37:76-82.
29. Dietzel R, Gast U, Heine T, Felsenberg D, Armbrrecht G. Cross-sectional assessment of neuromuscular function using mechanography in women and men aged 20-85 years. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2013;13:312-319.
30. Iannuzzi-Sucich M, Prestwood KM, Kenny AM. Prevalence of sarcopenia and predictors of skeletal muscle mass in healthy, older men and women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2002;57:M772-777.
31. Delmonico MJ, Harris TB, Lee JS, Visser M, Nevitt M, Kritchevsky SB, et al. Alternative definitions of sarcopenia, lower extremity performance, and functional impairment with aging in older men and women. *J Am Geriatr Soc* 2007;55:769-774.
32. Tanko LB, Movsesyan L, Mouritzen U, Christiansen C, Svendsen OL. Appendicular lean tissue mass and the prevalence of sarcopenia among healthy women. *Metabolism* 2002;51:69-74.
33. Gillette-Guyonnet S, Nourhashemi F, Andrieu S, Cantet C, Albaredo JL, Vellas B, et al. Body composition in French women 75+ years of age: the EPIDOS study. *Mech Ageing Dev* 2003;124:311-316.
34. Verschueren S, Gielen E, O'Neill TW, Pye SR, Adams JE, Ward KA, et al. Sarcopenia and its relationship with bone mineral density in middle-aged and elderly European men. *Osteoporos Int* 2013;24:87-98.
35. Ganz DA, Bao Y, Shekelle PG, Rubenstein LZ. Will my patient fall? *JAMA* 2007;297:77-86.
36. de Rekeneire N, Visser M, Peila R, Nevitt MC, Cauley JA, Tylavsky FA, et al. Is a fall just a fall: correlates of falling in healthy older persons. *The Health, Aging and Body Composition Study. J Am Geriatr Soc* 2003;51:841-846.
37. Tinetti ME, Speechley M, Ginter SF. Risk factors for falls among elderly persons living in the community. *N Engl J Med* 1988;319:1701-1707.
38. Cheng YY, Wei SH, Chen PY, Tsai MW, Cheng IC, Liu DH, et al. Can sit-to-stand lower limb muscle power predict fall status? *Gait Posture* 2014;40:403-407.
39. Fleming BE, Wilson DR, Pendergast DR. A portable, easily performed muscle power test and its association with falls by elderly persons. *Arch Phys Med Rehabil* 1991;72:886-889.
40. Skelton DA, Kennedy J, Rutherford OM. Explosive power and asymmetry in leg muscle function in frequent fallers and non-fallers aged over 65. *Age Ageing* 2002;31:119-125.
41. Goodpaster BH, Carlson CL, Visser M, Kelley DE, Scherzinger A, Harris TB, et al. Attenuation of skeletal muscle and strength in the elderly: The Health ABC Study. *J Appl Physiol* 2001;90:2157-2165.
42. Visser M, Newman AB, Nevitt MC, Kritchevsky SB, Stamm EB, Goodpaster BH, et al. Reexamining the sarcopenia hypothesis. Muscle mass versus muscle strength. *Health, Aging, and Body Composition Study Research Group. Ann N Y Acad Sci* 2000;904:456-461.
43. Newman AB, Kupelian V, Visser M, Simonsick EM, Goodpaster BH, Kritchevsky SB, et al. Strength, but not muscle mass, is associated with mortality in the health, aging and body composition study cohort. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2006;61:72-77.
44. Visser M, Deeg DJ, Lips P, Harris TB, Bouter LM. Skeletal muscle mass and muscle strength in relation to lower-extremity performance in older men and women. *J Am Geriatr Soc* 2000;48:381-386.
45. Clark BC, Manini TM. Sarcopenia  $\neq$  dynapenia. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2008;63:829-834.
46. Buehring B, Krueger D, Binkley N. Jumping mechanography: a potential tool for sarcopenia evaluation in older individuals. *J Clin Densitom* 2010;13:283-291.
47. 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;43:249-258.
48. Liu CJ, Latham NK. Progressive resistance strength training for improving physical function in older adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2009:CD002759.
49. de Vos NJ, Singh NA, Ross DA, Stavrinou TM, Orr R, Fitarone Singh MA. Optimal load for increasing muscle power during explosive resistance training in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2005;60:638-647.
50. Henwood TR, Taaffe DR. Improved physical performance in older adults undertaking a short-term programme of high-velocity resistance training. *Gerontology* 2005;51:108-115.
51. Orr R, de Vos NJ, Singh NA, Ross DA, Stavrinou TM, Fitarone-Singh MA. Power training improves balance in healthy older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2006;61:78-85.
52. Correa CS, LaRoche DP, Cadore EL, Reischak-Oliveira A, Bottaro M, Krueger LF, et al. 3 Different types of strength training in older women. *Int J Sports Med* 2012;33:962-969.
53. Ramirez-Campillo R, Castillo A, de la Fuente CI, Campos-Jara C, Andrade DC, Alvarez C, et al. High-speed resistance training is more effective than low-speed resistance training to increase functional capacity and muscle performance in older women. *Exp Gerontol* 2014;58:51-57.
54. Marsh AP, Miller ME, Rejeski WJ, Hutton SL, Kritchevsky SB. Lower extremity muscle function after strength or power training in older adults. *J Aging Phys Act* 2009;17:416-443.
55. Caserotti P, Aagaard P, Larsen JB, Puggaard L. Explosive heavy-resistance training in old and very old adults: changes in rapid muscle force, strength and power. *Scand J Med Sci Sports* 2008;18:773-782.
56. Hale WA, Delaney MJ, Cable T. Accuracy of patient recall and chart documentation of falls. *J Am Board Fam Pract* 1993;6:239-242.

## **5. LEBENSLAUF**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

## 6. PUBLIKATIONSLISTE

### Peer-reviewed Journals:

Taddei F, Falcinelli C, Balistreri L, Henys P, Baruffaldi F, Sigurdsson S, Gudnason V, Harris TB, **Dietzel R**, Armbrecht G, Boutroy S, Schileo E. Left-right differences in the proximal femur's strength of post-menopausal women: a multicentric finite element study. *Osteoporos Int*. 2015 Nov 17. [Epub ahead of print] PubMed PMID: 26576543.

**Dietzel R**, Felsenberg D, Armbrecht G. Mechanography performance tests and their association with sarcopenia, falls and impairment in the activities of daily living - a pilot cross-sectional study in 293 older adults. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2015 Sep;15(3):249-56.

**Dietzel R**, Reissauer A, Jahr S, Calafiore D, Armbrecht G. Body composition in lipoedema of the legs using dual-energy X-ray absorptiometry: a case-control study. *Br J Dermatol*. 2015 Aug;173(2):594-6.

König N, Taylor WR, Armbrecht G, **Dietzel R**, Singh NB. Identification of functional parameters for the classification of older female fallers and prediction of 'first-time' fallers. *J R Soc Interface*. 2014 Aug 6;11(97).

**Dietzel R**, Gast U, Heine T, Felsenberg D, Armbrecht G. Cross-sectional assessment of neuromuscular function using mechanography in women and men aged 20-85 years. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2013 Sep;13(3):312-9.

Holzhausen M, Fuchs J, Busch M, Ernert A, Six-Merker J, Knopf H, Hapke U, Gaertner B, Kurzawe-Seitz I, **Dietzel R**, Schodel N, Welke J, Wiskott J, Wetzstein M, Martus P, Scheidt-Nave C (2011): Operationalizing multimorbidity and autonomy for health services research in aging populations - the OMAHA study. *BMC Health Serv Res* (11/ 47).

**Dietzel R**, Begerow B, Bollert G, Kladny B, Kleinöder H, Kwiet A, Pientka L, Preisinger E, Runge M, Swanenburg J, Wieland E, Felsenberg D (2009): Leitlinie Physiotherapie und Bewegungstherapie bei Osteoporose. *Physioscience* (2): 65-75.

### Abstracts

**Dietzel R**, Felsenberg D, Armbrecht G: Erniedrigte apparente Knochendichte in jungen Erwachsenen zwischen 20–49 Jahren in Deutschland – Ergebnisse einer Pilotstudie in Deutschland. *Osteologie* 2015, 24 (1). A33.

**Dietzel R**, Felsenberg D, Armbrecht G. Zusammenhang zwischen Sarkopenie, Muskelfunktion, Stürzen und früher Mobilitätseinschränkung. *Osteologie* 2014, 23 (Suppl. 1), S21.

Gast U, Heine T, **Dietzel R**, Felsenberg D, Armbrecht G. Reference values for grip strength and lean and bone mass of the dominant arm by DXA and their correlation in males aged 20-40 years. *Osteoporosis Int*, 2010. 21 (Suppl 1): p. S71.

Armbrecht G, Heine T, Gast U, **Dietzel R**, Felsenberg D (2010): Reference values for grip strength and lean and bone mass of the dominant arm by DXA and their correlation in females aged 20-40 years. *Osteoporos Int*, 2010 (21, Suppl 1): p. S71.

## **7. DANKSAGUNG**

Mein ausdrücklicher Dank gilt meinem Betreuer Herrn Prof. Dr. Felsenberg, der mir im Zentrum für Muskel- und Knochenforschung die Möglichkeit gegeben hat, als Teil seines Teams medizinische Forschung kennenzulernen und aktiv mitzugestalten. Sein unerschütterlicher Optimismus hat mich auch in anstrengenden Zeiten immer wieder mitgerissen und motiviert.

Frau Dr. Armbrecht möchte ich zudem sehr herzlich für den kontinuierlichen persönlichen Austausch und die maßgebliche Unterstützung in allen Phasen meiner Doktorarbeit danken. Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei allen Koautoren meiner wissenschaftlichen Publikationen sowie den Mitarbeitern des Zentrums für Muskel- und Knochenforschung für die kollegiale und fachliche Zusammenarbeit.

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie und meinen Freunden, die mich immer unterstützt haben und mir damit die notwendige Ruhe und Kraft für die Erstellung dieser Arbeit gegeben haben.