

Aus dem Institut/der Klinik für Radiologie und Nuklearmedizin
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Neuromuskuläres Assessment mit besonderer Betonung der spezifischen Sprungkraft im
Kontext mit Knochendichtemessungen bei postmenopausalen Frauen

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Franziska Luhn

aus Berlin

Gutachter/in:

1. Prof. Dr. med.D. Felsenberg
2. Prof. Dr. med. H.-W. Minne
3. Prof. Dr. med. J.D. Ringe
4. Prof. Dr. med. W. Reisinger

Datum der Promotion: 07.09.2012

Gliederung

1. Einleitung.....	5
1.1 Definition der Osteoporose.....	5
1.2 Osteoporotische Frakturen.....	5
1.3 Stürze im Alter.....	6
1.4 Prävention und Prädiktion der Osteoporose.....	7
1.5 Ziel der Untersuchung.....	8
2. Patientinnen und Methoden.....	9
2.1. Population.....	9
2.2. Untersuchungen.....	10
2.2.1. Anamnese und Risikofaktoren.....	10
2.2.2. Körperliche Untersuchung.....	11
2.2.3. Neuromuskuläre Tests.....	11
2.2.4. Ground Reaction Force Plate (Sprungtest).....	12
2.2.5. Dual X-Ray Absorptiometry-DXA.....	14
2.2.6. Periphere Quantitative Computer-Tomographie (pQCT).....	15
2.2.7. Statistische Methoden.....	16
3. Ergebnisse.....	17
3.1. Probandinnen.....	17
3.2. Neuromuskuläre Tests.....	18
3.3. Knochendichte & Alter.....	23
3.3. Knochendichte & neuromuskuläre Tests.....	25
3.5. Knochendichte & Anthropometrische Faktoren.....	30
4. Diskussion.....	36
4.1 Untersuchungskollektiv.....	36
4.2 Neuromuskuläre Tests und Alter.....	37
4.3 Zusammenhang zwischen Knochendichte und Alter.....	39
4.4 Zusammenhang zwischen Muskulatur und Knochendichte.....	40
4.5 Anthropometrische Maße und Knochendichte.....	42
4.6 Möglichkeit der Osteoporose-Prädiktion.....	43

4.7 Limitationen der Studie.....	44
4.8 Abschließende Bewertung und Ausblick.....	44
5. Zusammenfassung	45
Literaturverzeichnis.....	47
Tabellenverzeichnis.....	52
Abbildungsverzeichnis.....	53
Lebenslauf	
Danksagung	
Erklärung	

1. Einleitung

1.1 Definition der Osteoporose

Osteoporose ist eine Knochenerkrankung, die mit einer Verminderung der Knochenmasse einhergeht, die durch die Imbalance von Knochenaufbau und -abbau mit vermehrtem Abbau zustande kommt. Diese Dysbalance führt zu einer Änderung der Mikroarchitektur und einer Verminderung der Knochenfestigkeit (47). Es ergeben sich dabei eine erhöhte Knochenbrüchigkeit und somit ein erhöhtes Frakturrisiko (26,22). Da nicht nur Veränderungen der Knochenmasse für die Entstehung einer Osteoporose ursächlich sind, wurde die Osteoporose 2001 auf einer Consensus Conference vom „National Institute of Health“ neu definiert. Sie wird jetzt als eine durch verminderte Knochenfestigkeit charakterisierte Skeletterkrankung beschrieben, die Menschen für ein erhöhtes Frakturrisiko prädisponiert (20).

Als allgemein gültige Richtlinie für die Diagnosestellung einer Osteoporose gelten die Empfehlungen der World Health-Organization (WHO), die die Osteoporose anhand der Knochendichtemessung definiert. Nach dieser Definition liegt eine Osteoporose zum Beispiel dann vor, wenn die durch Dual X-ray Absorptiometry (DXA) gemessene Knochendichte im Bereich der Lendenwirbelsäule um mehr als 2,5 Standardabweichungen (SD) unter dem Mittelwert eines jungen gesunden Normalkollektives liegt (T-Score) (65).

Tritt eine Fraktur ohne adäquates Trauma auf, so spricht man unabhängig von der Knochendichtemessung von einer klinisch manifesten Osteoporose. Mit jährlich etwa 2,5-3 Milliarden Euro Behandlungskosten für osteoporotische Frakturen in Deutschland hat die Osteoporose auch ein großes volkswirtschaftliches Gewicht, und die Lebensqualität ist nach einer Fraktur erheblich eingeschränkt (53). Deshalb ist es wichtig, die Osteoporose und das damit verbundene Risiko zu erkennen noch bevor es zur osteoporotischen Fraktur kommt, damit rechtzeitig mit der Prävention begonnen werden kann (50).

1.2 Osteoporotische Frakturen

Proximale Femur-, distale Radius-, Humerus- und Wirbelkörperfrakturen stellen die häufigste Manifestation der Osteoporose dar und führen in einem erheblichen Maß zu Morbidität und

Mortalität der Erkrankung (36). Zum Beispiel führt die Osteoporose in Deutschland jährlich zu mehr als 250.000 Wirbelkörperbrüchen (12). Die Kosten für die Gesamtheit aller osteoporotischer Frakturen in Europa werden zurzeit auf mehr als 30 Milliarden Euro pro Jahr geschätzt (21,27).

Ungefähr drei Milliarden Euro pro Jahr werden in Deutschland zur Versorgung der proximalen Femurfraktur und deren Rehabilitation aufgebracht und circa fünf Milliarden jährliche Kosten fallen auf alle Fraktur-Patienten (33). Voraussichtlich werden sich diese hohen Ausgaben in den nächsten Jahrzehnten verdoppeln und so das Gesundheitssystem noch mehr belasten (28). Das Sturzrisiko steigt mit zunehmendem Alter und damit insbesondere das Risiko einer proximalen Femurfraktur (9,58). In Deutschland leben heute ca. 7,8 Millionen an Osteoporose erkrankter Menschen, davon betroffen ist etwa jede dritte postmenopausale Frau (23) und jeder fünfte Mann über 50 Jahre (42). Jährlich ereignen sich über 150.000 Hüftfrakturen in Deutschland und mit der demographischen Entwicklung wird sich diese Zahl weiter erhöhen (45).

1.3 Stürze im Alter

Als Sturzprädiktoren und Hauptkomponenten der ambulanten Mobilität gelten unter anderem Geh- und Balancestörungen sowie eine Verminderung der Kraft in Hüfte, Knie und im oberen Sprunggelenk. Zur klinischen Beurteilung von Defiziten eignen sich die lokomotorische und posturale Funktionsdiagnostik. Die lokomotorische Diagnostik untersucht das dynamische Gleichgewicht und das Vorliegen von möglichen Bewegungsstörungen. Die posturale Funktionsdiagnostik dagegen überprüft die Fähigkeit, den Körper aufrecht und statisch im Gleichgewicht zu halten. Bedeutsam ist vor allem die seitliche Haltungskontrolle, da der Sturz zur Seite ein Merkmal des höheren Alters ist (43).

Ein Sturz bei älteren Menschen kann neben Verletzungen auch zu einer sozialen Abhängigkeit führen. So sind nach einem Jahr 40% der Patienten, die eine Schenkelhalsfraktur erlitten haben, nicht in der Lage, selbstständig zu gehen. Sechzig Prozent der Gestürzten benötigen bei mindestens einer Alltagsbeschäftigung Hilfe, und 80% der Betroffenen sind nicht fähig, wenigstens eine nützliche Tätigkeit pro Tag zu verrichten (8). Während der ersten 12 Monate beträgt die Mortalität nach einer proximalen Femurfraktur >20%. Die Lebenszeitverkürzung nach diesen Frakturen variiert mit dem Alter der Patienten. Bei der Mitte 70-Jährigen liegt sie bei mehr als sieben Jahren, wohingegen sie bei dem Mitte 80-Jährigen nur noch bei einem Jahr

liegt (34). Verminderung der Gehfähigkeit, der körperlichen Aktivität und der neuromuskulären Kapazität können zu einem erhöhten Risiko für Frakturen führen. Außerdem hängt die Knochenfestigkeit erheblich von den auf den Knochen ausgeübten Kräften ab (16), was seinerseits das Frakturrisiko erhöhen kann.

1.4 Prävention und Prädiktion der Osteoporose

In den nächsten 30-40 Jahren wird mit einer Verdoppelung der Erkrankten sowie auch der Folgekosten der Osteoporose gerechnet. Hingegen wird für Prävention, Diagnostik und medikamentöse Therapie nur ein Bruchteil, circa 10% insgesamt, ausgegeben, obwohl die Osteoporose heute im frühen Stadium mit effektiver medikamentöser Therapie gut behandelt werden kann (32).

Die Osteoporose ist in Deutschland darum noch immer eine unterschätzte und vor allem untertherapierte Krankheit (1,2,3). So wird geschätzt, dass von circa 7,8 Millionen Osteoporose-Patienten nur 1,5 Millionen behandelt werden (2). Die DXA-Untersuchung zur Früherkennung wird bis heute von den Krankenversicherungen nur erstattet, wenn bereits eine Fraktur vorliegt.

Voraussetzung für die primäre Prävention von osteoporotischen Frakturen ist aber die sichere Identifizierung von Hochrisikopatienten. Zudem sollten solche Prädiktoren kostengünstig sein. Das Spektrum der anerkannten Risikofaktoren, die zu einer Osteoporose führen können, erweitert sich von Jahr zu Jahr, was sich in den DVO-Leitlinien widerspiegelt. Die Frühstadien der Osteoporose sind klinisch symptomlos und geeignete diagnostische Methoden zur Früherkennung stehen bislang nur in Form von Knochendichtemessverfahren zur Verfügung. In den letzten Jahren wird zunehmend diskutiert, dass auch ein Mangel an mechanischer Stimulation für einen Teil der Osteoporoseerkrankungen verantwortlich sein könnte (15). Biomechanische Untersuchungen weisen darauf hin, dass solche mechanischen Stimuli vorwiegend durch die Muskelkraft entwickelt werden (48). Es ist daher nur folgerichtig, einen Zusammenhang zwischen Muskelkraft und Knochendichte anzunehmen und an einem Risikokollektiv zu untersuchen.

1.5 Ziel der Untersuchung

Das Hauptziel der wissenschaftlichen Datenerhebung war es darum, eine Anzahl verschiedener neuromuskulärer Tests in Hinsicht auf die Prädiktion des Vorliegens einer Osteoporose zu überprüfen, um Risikopatienten in Zukunft schneller und zuverlässiger einer Knochendichtemessung zuführen zu können. Für dieses sogenannte neuromuskuläre Assessment¹ galt es gleichermaßen einfache wie aussagekräftige Tests zu berücksichtigen. Die Auswahl fiel dabei auf den Chair-rising-Test, den Timed-up-and-go-Test, vertikale Sprungtests und die Messung der Handgriffstärke. Der Chair-rising-Test misst die für das Aufstehen von einem Stuhl benötigte Zeit und ist ein Indikator für Muskelleistung der Hüft- und Kniegelenkstrecker. Vertikale Sprungtests fokussieren besonders auf die Hüftstrecker und die Rückenmuskulatur. Der Timed-up-and-go-Test macht Aussagen zur allgemeinen körperlichen Mobilität (37). Der Handgriffstärke-Test wurde zur Kraftmessung der Unterarme als Indikator der oberen Extremität verwendet. Um eine Einschätzung geben zu können, inwieweit diese Tests tatsächlich Risikofaktoren für eine Osteoporose identifizieren können, erfolgte begleitend für alle Frauen eine Knochendichtemessung der Lendenwirbelsäule, der Hüfte, sowie bei einem Teil der zu Untersuchenden zusätzlich eine Knochendichtemessung des Unterarmes und des Unterschenkels.

Die angegebenen Messungen wurden dann zwischen dem 05. Juli 2002 und dem 10. August 2002 in einer Querschnittsstudie an 1197 postmenopausalen Frauen durchgeführt.

Das konkrete Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die erhobenen Daten auszuwerten und zu überprüfen, ob sich anhand von Muskelkraft-Untersuchungen und von speziellen neuromuskulären Tests eine Voraussage hinsichtlich einer erniedrigten Knochendichte ableiten lässt. Können ambulant durchgeführte Muskeluntersuchungen und neuromuskuläre Tests das Frakturrisiko vorhersagen? Sind Sprungtests und neuromuskuläre Tests Surrogate für die Knochendichte? Inwieweit spielt die neuromuskuläre Funktion eine Rolle bei der Entstehung und Ausprägung der Osteoporose?

Die angegebene Querschnittsstudie war ein gemeinsames Projekt des Zentrums für Muskel- und Knochenforschung in Berlin (Charité, Campus Benjamin Franklin, Berlin, Deutschland) und dem Kuratorium Knochengesundheit (Sinsheim, Deutschland). Alle Untersuchungen wurden

¹ Der Begriff Assessment wurde in Anlehnung an den Sprachgebrauch in der Physiotherapie und in der geriatrischen Medizin gewählt.

entsprechend der Erklärung von Helsinki durchgeführt und sind von der Ethikkommission des Fachbereiches Humanmedizin in Berlin und dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) geprüft und genehmigt worden. Die Messungen in der Studie wurden von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Zentrums für Muskel- und Knochenforschung durchgeführt. Der eigenständige Anteil der vorliegenden Promotionsarbeit setzt sich zusammen aus der Sichtung und Zusammenführung des Datenmaterials, der statistischen Auswertung und der Diskussion der Ergebnisse.

2. Patientinnen und Methoden

2.1. Population

Die Querschnittsstudie fand vom 05. Juli 2002 bis zum 10. August 2002 in 20 deutschen Städten statt. Um eine derartige Studie durchführen zu können, wurde ein Truck eingesetzt, in dem das gesamte Equipment für die Studie untergebracht war und in dem die Untersuchungen stattfanden.

Es wurden Frauen im Alter von 60 - >80-Jahren in 5-Jahres-Altersstrata eingeladen, sich an der Untersuchung zu beteiligen. Sie wurden unter Mitwirkung der Medien (Radio, Informationsflugblätter und Lokalpresse) in jeder der 20 Städte rekrutiert.

Für die Untersuchungen stand ein Team von Ärzten, röntgentechnischen Assistenten und studentischen Hilfskräften zur Verfügung, die speziell qualifiziert und ausgebildet waren.

Von der Studie ausgeschlossen wurden Frauen, die nicht selbständig stehen oder gehen konnten, Zustand nach Hüftoperationen mit beidseitigen Endoprothesen-Implantaten, neuromuskuläre Erkrankungen, wie Polyneuropathie, oder degenerative Muskel- oder Nervenerkrankungen (ALS, etc.), zerebral oder ossär metastasierende Tumore, M. Parkinson, schwere Arthrosen der unteren Extremität, schwere periphere arterielle Durchblutungsstörungen der unteren Extremität, Osteogenesis imperfecta, sowie Frauen, die mit Fluoriden therapiert worden waren.

Die Frauen, die die Kriterien erfüllten, gaben nach mündlicher und schriftlicher Information zu Beginn der Untersuchung ihr schriftliches Einverständnis zur Studienteilnahme.

30 - 40 Frauen wurden täglich untersucht, die zuvor in 5 Altersgruppen (60-64,65-69, etc., bis > 80) stratifiziert worden sind. Die 80+-Altersgruppe konnte mit weniger Teilnehmerinnen

rekrutiert werden. Die Auswahl der teilnehmenden Frauen wurde nach der Reihenfolge der Anmeldung vorgenommen.

1197 Frauen konnten eingeschlossen und untersucht werden. Jede Altersgruppe umfasste jeweils circa 180 Probandinnen.

2.2. Untersuchungen

Die Untersuchungen beinhalteten verschiedene klinische, densitometrische und neuromuskuläre Tests, die weiter unten aufgeführt werden und dauerten pro Probandin ein bis zwei Stunden.

Jede Probandin erhielt am Ende der Untersuchungsreihe einen Ergebnisbericht für den Hausarzt.

2.2.1. Anamnese und Risikofaktoren

Durch ärztliche Begutachtung wurden aktuelle oder chronische Erkrankungen durch die allgemeine Anamnese erfasst, um Risikofaktoren zu erörtern.

Dies beinhaltete die fragebogenorientierte Abfrage von Menarche- und Menopausealter, Einnahmedauer von Kontrazeptiva und Hormontherapie, Resektionen an Magen oder Darm, bilaterale Ovariectomie bzw. prämenopausale Ovariectomie, Transplantationen, Dialyse, entzündliche Erkrankungen wie Rheumatoide Arthritis oder Morbus Crohn und endokrinologische Erkrankungen an Nebenschilddrüse, Nebenniere oder Hypophyse. Bezüglich der Medikamente wurde die orale Einnahme von Kortison mit $\geq 2,5$ mg Prednisolonäquivalent, von Bisphosphonaten, selektiven Östrogenrezeptormodulatoren (SERM^{-s}), Tamoxifen, Calcitonin, MTX und Cyclosporin A für eine Dauer von mehr als sechs Monate erfasst. Erfragt wurde außerdem die Familienanamnese hinsichtlich einer bekannten Osteoporose und Hüftfrakturen mütterlicherseits. Genaue Angaben wurden zu stattgefundenen Frakturen mit dem entsprechenden Lebensalter, zur Frakturlokalisation (Hüfte, Radius, Humerus, Rippen oder andere) und zum Frakturhergang erhoben.

2.2.2. Körperliche Untersuchung

Die körperliche Untersuchung umfasste die Bestimmung der Körpergröße und des Körpergewichtes (Standardmessungen mit dem geeichten Gerät SECA 764 der Firma SECA, Hamburg) und automatisierter Berechnung des Body Mass Index (BMI). Zusätzlich wurde der Occipital-Wand-Abstand gemessen zur Bewertung einer möglichen Hyperkyphose. Die Intensität von Rückenschmerzen ergab sich anhand einer visuellen Analogskala (VAS) und war kodiert mit dem Zahlenwert <60%, entsprechend null Punkten und >60%, entsprechend einem Punkt. Die Wirbelkörper wurden auf Klopfschmerzhaftigkeit untersucht und die oberflächlich liegende Rückenmuskulatur auf den Nachweis eines Hartspans und/oder von Myogelosen.

2.2.3. Neuromuskuläre Tests

Zur Erfassung der neuromuskulären Kapazität wurden folgende Tests durchgeführt: der Romberg-Test, der Semi-Tandemstand, der Tandemstand, der Tandemgang, der Chair-rising-Test sowie der Timed-up-and-go-Test. In dieser Arbeit werden nur die Daten des Chair-rising-Test und des Timed-up-and-go-Test ausgewertet.

- Chair-rising-Test (Stuhl-Aufstehetest): dieser Test misst die muskuläre Leistung als Produkt aus Kraft und Geschwindigkeit, eine Meßgröße die sehr hilfreich ist zur Beurteilung des Sturzrisikos. Der Aufstehetest besteht darin, dass die Probandin so schnell wie möglich fünf Mal hintereinander, ohne Einsatz der Arme, aus einem Stuhl üblicher Höhe (ca. 46cm Sitzhöhe) aufstehen soll. Der Test soll in Maximalgeschwindigkeit durchgeführt werden. Die Probandinnen werden während der Untersuchung aufmunternd und energisch angefeuert. Ein Aufstützen mit den Händen ist nicht gestattet. Um dies zu verhindern, werden die Probandinnen aufgefordert ihre Arme vor der Brust zu kreuzen. Per Stoppuhr wird der Zeitbedarf in Sekunden gemessen für fünf Mal Aufstehen und Hinsetzen. Den Probandinnen wird verbal vermittelt und praktisch vorgeführt, dass sie sich ganz bis zu ihrer subjektiv üblichen Streckung in Hüfte und Knie aufrichten sollen. Wenn eine Probandin sich nicht ganz hinstellt und/oder deutlich in Hüfte, und/oder in Knie gebeugt bleibt, wird die Untersuchung unterbrochen, nachinstruiert und nach 1 Minute erneut zur Durchführung aufgefordert.

Wenn die Probandin habituell deutliche Streckdefizite in Hüfte und Knie hat, ist dies zu notieren. Das Aufstehen ist dann bis zu ihrer alltagsüblichen Streckung durchzuführen.

- Timed-up-and-go-Test: hiermit sind Aussagen zur Muskelleistung und -koordination möglich (37). Die Probandin muss aus einem Stuhl mit Armlehnen und üblicher Höhe (46cm) aufstehen, 3m gehen, sich umdrehen, zurückgehen und sich wieder in den Stuhl setzen. Die von der Probandin üblicherweise benützten Gehhilfen sind erlaubt, Personenhilfe ist bei Testdurchführung nicht gestattet. Es erfolgt eine Zeitnahme in ganzen Sekunden. Die Durchführung der Aufgabe soll in „üblicher Gehgeschwindigkeit“ erfolgen. Wenn die Probandin die komplette Aufgabe inklusive selbstständigen Aufstehens nicht erfüllen kann, wird das Ergebnis als „nicht gehfähig“ notiert. Ebenfalls ist eine unmittelbare imminente Sturzgefahr zu notieren.

2.2.4. Ground Reaction Force Plate (Sprungtest)

Die Sprungtests sind eine Methode, um muskuläre Kraft und Leistung zu messen.

Die Sprungtests wurden auf zwei nebeneinander liegenden Platten, eine für den rechten Fuß, die andere für den linken Fuß, ausgeführt. Die Bodenreaktionskraft wurde über acht Kraftsensoren gemessen.

Im Gegensatz zu Tests, die hauptsächlich die Muskelkraft messen, wie die Durchführung von isometrischen Kontraktionen, kann man mit Sprungtests dynamische Muskelfunktionen untersuchen.

Jede der teilnehmenden Frauen sprang in drei Versuchen den sogenannten counter-movement-Sprung auf der Sprungplatte (Typ Leonardo GRFP Version 2.01, Novotec Medical Corp.). Der counter-movement-Sprung setzt sich aus verschiedenen Phasen zusammen. Bei dieser Sprungform wird die Probandin aufgefordert, aus dem aufrechten Stand mit den Händen an der Hüfte einen Sprung auszuführen, bei dem sie sich kurz aus der Hocke abdrückt. Der Körperschwerpunkt wird somit nach unten verlagert, um Schwung zu holen. Ohne Pause drückt sie sich aus dieser Position mit beiden Füßen gleichzeitig ab. Während der Flugphase erreicht die Probandin die maximale Sprunghöhe und bereitet sich dann auf die Landung vor. Die durch den Sprung entstandene kinetische Energie wird in der Phase des Bodenkontaktes aufgenommen.

Dies geschieht durch Abbremsen des Körpers und durch exzentrische Kontraktion der Knieflexoren und des Oberkörpers.

Das Procedere wurde dreimal wiederholt und vor jedem neuen Sprung nahm die Probandin wieder die ursprüngliche aufrechte Haltung ein. Zu beachten war, dass die Probandinnen ihre Hände zu jedem Zeitpunkt an den Hüften hatten und sie vor und nach dem eigentlichen Sprung ruhig standen. Als Parameter wurden die maximale Sprunghöhe, Sprungkraft/kg Körpergewicht und die Sprungleistung/kg Körpergewicht verwendet. Die Berechnung der Sprungkinetik lässt sich zusammenfassend folgendermaßen erklären: die Sprungleistung errechnet sich aus dem Produkt aus Kraft multipliziert mit Geschwindigkeit. Aus der Sprungkraft lässt sich nach Division der Masse der Probandin, die in der Standphase bestimmt wird, die Beschleunigung errechnen, die wiederum durch Integration nach der Zeit die Geschwindigkeit und nach nochmaliger Integration nach der Zeit die Sprunghöhe ergibt.

Es ergeben sich folgende Formeln:

$$\text{Beschleunigung (a [m/s}^2\text{])} = \text{Kraft [F [N]]} / \text{Masse (m [kg])}$$

$$\text{Geschwindigkeit (v [m/s])} = \int \text{Beschleunigung (a [m/s}^2\text{])} * \text{Zeitintegral (s)}$$

$$\text{Höhe (s[m])} = \int \text{Geschwindigkeit (v [m/s])} * \text{Zeitintegral (s)}$$

$$\text{Leistung (p [W])} = \text{Kraft [F [N]]} * \text{Geschwindigkeit (v [m/s])}$$

Sprung-Test

Die Sprungplatte wurde täglich geeicht, bevor die zwei verschiedenen Sprungarten durchgeführt worden sind:

Zunächst drei Sprünge mit dem Ziel, möglichst hoch zu springen. Die Probandinnen gehen kurz zuvor in die Hocke, worauf aber nicht gesondert hingewiesen worden ist (so genannte ‚counter-movement jumps‘).

Kommandos: Still stehen – und Sprung – Still stehen!

Darauf folgten drei Sprünge, die ebenfalls so hoch wie möglich gesprungen werden sollten, jedoch wurden die Probandinnen instruiert dieses Mal die Sprünge aus der Hocke zu beginnen. In der Hocke machten die Versuchspersonen nun aber eine Pause von 0,5 – 1 Sekunde (so genannte ‚squat jumps‘).

Kommandos: Still stehen – in die Hocke – und Sprung – Still Stehen!

Zur Nachbereitung wurde die Sprungplatte mit einer Alkohollösung besprüht und mit einem Papierhandtuch abgewischt.

Datensicherung:

Mit einer spezifischen Software wurde aus den gemessenen Rohwerten Sprunghöhe, Sprungleistung und Sprungkraft errechnet.

Am Ende jedes Messtages wurde eine CD mit der Aufschrift **Tagessicherung** und dem **aktuellen Datum** versehen. Am letzten Messtag der Woche wurde zusätzlich eine CD erstellt mit der Aufschrift **Wochensicherung**, die mit den anderen Daten nach Berlin geschickt worden ist.

Handgrip-Test

Mit einem Handkraftdynamometer (Handgrip dynamometer der Firma: Cybex) wurde die Muskelkraft beider Unterarme gemessen.

Die Handkraftmessung erfolgte bei herunterhängendem Arm, wobei das Handkraftdynamometer neben dem Oberschenkel positioniert war, und die Handinnenfläche nach oben zeigte. Jede Probandin führte für jeden Arm drei Messungen durch.

Die Werte wurden jeweils protokolliert und in eine Datenbank übertragen. Der beste von drei Versuchen wurde verwertet.

2.2.5. Dual X-Ray Absorptiometry-DXA

Mit der Zwei-Spektren-Röntgenstrahl-Absorptiometrie (DXA) wurde die Knochendichte (DXA-BMD) der Lendenwirbelsäule und des proximalen Femurs bestimmt, mit dem DPX-NT, GE Lunar Corp. Es handelt sich um eine integrale absorptiometrische Methode, bei der die Knochenmasse pro Fläche bestimmt wird.

Zur Qualitätssicherung erfolgte vor jeder Untersuchungsreihe eine Kalibrierung des Messgerätes mit dem Phantom des Herstellers. Bei der DXA-Untersuchung der Wirbelsäule wurden die Wirbelkörper L1-L4 untersucht.

Die Untersuchung erfolgte in Rückenlage. Zum Ausgleich der Lendenwirbelsäulenlordose wurden die Unterschenkel der Probandin auf einem Kunststoff-Würfel hochgelagert, so dass Hüft- und Kniegelenke rechtwinklig gebeugt waren. Der Zwischenwirbelraum wird dadurch besser erkennbar und die Abgrenzung der einzelnen Wirbelkörper durch das automatische Konturfindungsprogramm wird möglich.

Die Untersuchung des proximalen Femurs fand ebenfalls in Rückenlage statt. Hier wird das gesamte Bein um 25° nach innen rotiert, so dass der Schenkelhals sich parallel zum Tisch befindet (14). Durch diese Positionierung soll eine optische Verkürzung des Schenkelhalses vermieden werden. Es wurde die Osteoporosedefinition der WHO verwendet (65). Liegt der T-Score über -1,0 SD wird der Knochen als gesund eingeordnet, ein T-Score zwischen -2,5 und -1,0 wird als osteopenisch bezeichnet, und wenn der T-Score unter -2,5 SD liegt wird der Knochen als osteoporotisch eingeteilt. Bei Vorliegen von Spondylophyten und anderen degenerativen Veränderungen der Wirbelsäule oder bei einer stark verkalkten Aorta können die Messwerte beeinflusst werden. Durch eine radiologische Diagnostik, wurden diese Untersuchungen aus der Analyse herausgenommen.

2.2.6. Periphere Quantitative Computer-Tomographie (pQCT)

Bei der pQCT handelt es sich um ein Schnittbildverfahren zur Knochendichtemessung am Radius und der Tibia (eff. GK-Dosis ~0,7µSv). Die Knochendichte der Kortikalis und der Spongiosa ist getrennt untersuchbar. Der Messwert entspricht einer echten physikalischen Dichtemessung, die in mg/cm³ (Masse pro Volumen) ausgedrückt wird.

Untersucht wurden der distale Radius und die distale Tibia, jeweils am 4% Messort am distalen Ende des Knochens. An dem proximalen Radius (60% Meßort), sowie an der distalen Tibia (66% Meßort) wurde die Muskelquerschnittsfläche gemessen. Zur Messung wird der Unterarm oder der Unterschenkel in der Gantry positioniert. An einer definierten Stelle wird die Messung, die durch einen Übersichtsscan, den sogenannten Scout-view, zunächst (4% der Radius- oder Tibialänge) am distalen Ende des Knochen durchgeführt. Gemessen wird die apparente Dichte

der distalen Radius/Tibiaspongiosa, also mit Einschluss des gelben und roten Knochenmarks. Die Reproduzierbarkeit der pQCT-Untersuchung beträgt 0,3-0,7% (13).

2.2.7. Statistische Methoden

Es sind Mittelwerte, Standardabweichungen und Konfidenzintervalle für die jeweilige Altersgruppe bestimmt worden. Die Mittelwerte der gebildeten Altersgruppen wurden mittels einfaktorieller ANOVA verglichen. Die Signifikanz von Unterschieden zwischen benachbarten Altersgruppen wurde durch zuvor definierte Differenzkontraste untersucht. Regressionsanalysen wurden beim Chair-rising-Test, beim Timed-up-and-go-Test, beim Griffstärke-Test und bei den Sprungplatten-Tests durchgeführt, um den Zusammenhang zwischen den neuromuskulären Tests und der Knochendichte bestimmen zu können.

Die Analysen wurden mit dem Statistik Programm SPSS, Versionsnummer 10, durchgeführt. Ein α -Wert von 0,05 wurde als statistisch signifikant angesehen.

Zur Beurteilung der Prädiktion von osteoporotischer Knochendichte mit den verschiedenen neuromuskulären Tests wurden logistische Regressionsmodelle berechnet. Gemäß diesen Modellen wurden dann Receiver-Operator Curves (ROC-Kurven) erstellt, anhand derer die Sensitivität und Spezifität übersichtlich veranschaulicht werden können (39,52).

3. Ergebnisse

3.1. Probandinnen

Insgesamt wurden 1197 Probandinnen im Alter zwischen 60 und 95 Jahren untersucht. Wie sich anhand der Tabelle 1 erkennen lässt, konnte dieses Kollektiv in fünf etwa gleichstarke Altersgruppen unterteilt werden (5-Jahresabstände zwischen 60 und 79 Jahren und eine Gruppe >80 Jahren). Die anthropometrischen Daten des Gesamtkollektivs und der verschiedenen Altersgruppen sind ebenfalls in Tabelle 1 angegeben. Zwischen den verschiedenen Altersgruppen zeigten sich signifikante Unterschiede in der Körpergröße ($p < 0,001$), im Körpergewicht ($p < 0,001$) und im Body Mass Index (BMI) ($p = 0,016$).

Die Korrelationsanalyse ergab signifikante Koeffizienten zwischen Alter und Körpergröße ($r = -0,40$, $p < 0,001$) und zwischen Alter und Körpergewicht ($r = -0,23$, $p < 0,001$), aber nicht zwischen Alter und BMI ($p = 0,06$).

Tabelle 1 - Anthropometrische Daten der einzelnen Altersgruppen, angegeben als Mittelwert mit Standardabweichung.

Gruppe	[60-95]	[60-64]	[65-69]	[70-74]	[75-79]	[80-95]
Anzahl	1197	243	237	240	238	239
Alter	72,1	62,1	66,8	71,9	76,9	82,9
[in Jahren]	(7,6)	(1,4)	(1,4)	(1,4)	(1,4)	(3,2)
Größe	158,5	162,1	159,7	158,8	157,2	154,7
[cm]	(6,4)	(5,8)	(5,3)	(6,2)	(6,3)	(5,8)
Gewicht	67,8	70,3	70,6	68,6	66,0	63,6
[kg]	(11,6)	(11,6)	(12,7)	(11,5)	(10,3)	(10,3)
BMI	27,0	26,7	27,7	27,3	26,7	26,5
[kg/m]	(4,3)	(4,2)	(5,1)	(4,7)	(3,6)	(3,9)

3.2. Neuromuskuläre Tests

Die Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der neuromuskulären Tests in den verschiedenen Altersgruppen. Da diese Werte als Referenzwerte angesehen werden können, ist das 95%-Vertrauensintervall angegeben.

Für alle neuromuskulären Tests zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Altersgruppen ($p < 0,001$ in allen Fällen). Die Griffstärke wies in allen Altersgruppen signifikante Unterschiede auf – einzige Ausnahme war die Griffstärke links, die für die Gruppen 4 und 5 nur einen p-Wert von 0,06 zeigte. Die Sprunghöhe wies ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen allen Gruppen auf (einzige Ausnahme war der Vergleich der Gruppen 3 und 4: $p = 0.075$). Bei der spezifischen Sprungkraft und dem Timed- up-and-go-Test waren mit Ausnahme des Vergleichs von Gruppe 1 und Gruppe 2 alle Altersgruppen unterschiedlich. Bezüglich der spezifischen Sprungleistung schließlich waren alle Altersgruppen ausnahmslos verschieden, während der Chair-rising-Test signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen 3 und 4 erbrachte.

Tabelle 2 - Neuromuskuläre Daten der verschiedenen Altersgruppen, angegeben als Mittelwert mit Standardabweichung (in Klammern), und in der Zeile darunter das 95%-Vertrauensintervall.

Alter	[60-95]	[60-64]	[65-69]	[70-74]	[75-79]	[80-95]
Gruppe Nr	1	2	3	4	5	
Griffstärke links [kg]	21,3(5,0)	24,6 (4,7)	23,2 (4,1)	21,4 (4,4)	19,2 (4,6)	18,2 (4,2)
	21,0-21,6	23,9-25,2	22,7-23,7	20,8-21,3	18,6-19,8	17,7-18,7
Griffstärke rechts [kg]	22,6 (5,3)	25,9 (5,3)	24,6 (4,5)	22,7 (4,6)	20,6 (5,1)	19,3 (4,2)
	22,3-22,9	25,2-26,6	24,0-25,2	22,1-23,3	19,9-21,2	18,8-19,9
Sprunghöhe [cm]	15,2 (4,3)	18,3 (4,2)	16,1 (4,1)	14,8 (3,6)	14,0 (3,8)	12,6 (3,5)
	0,15-0,15	0,18-0,19	0,16-0,17	0,14-0,15	0,13-0,14	0,12-0,13
Spezif, Sprungkraft [N/kg]	21,5 (3,3)	22,6 (3,3)	22,3 (3,4)	21,4 (2,9)	20,8 (3,3)	20,1 (2,6)
	21,3-21,7	22,2-23,1	21,8-22,8	21,0-21,8	20,4-21,3	19,7-20,4
Spezif, Sprungleistung [W/kg]	21,2 (5,6)	25,5 (5,3)	22,8 (5,1)	20,7 (4,3)	19,1 (4,7)	17,5 (4,5)
	21,0-21,6	24,8-26,2	22,1-23,5	20,1-21,3	18,5-19,8	16,9-18,1
Chair-rising Test [s]	10,3 (4,1)	9,5 (3,5)	9,7 (3,4)	10,1 (3,7)	10,8 (3,8)	11,4 (5,6)
	10,1-10,5	9,0-9,9	9,3-10,2	9,6-10,6	10,4-11,3	10,7-12,1
Timed-up-and-go-Test [s]	10,1 (2,7)	8,9 (1,8)	9,2 (1,7)	9,9 (2,1)	10,5 (2,4)	12,1 (3,5)
	10,0-10,3	8,6-9,1	8,9-9,4	9,6-10,3	10,2-10,9	11,6-12,7

Eine Korrelations- und Regressionsanalyse ergab hochsignifikante, lineare Zusammenhänge zwischen dem Alter und den neuromuskulären Variablen bzw. zwischen dem Alter und der Muskelquerschnittsfläche am Unterarm und am Unterschenkel (s. Tabelle 3). Obwohl alle diese Korrelationen signifikant waren, können sie nur als schwach bis moderat bezeichnet werden: Die r^2 -Werte variierten zwischen 0,03 (für den Chair-rising-Test und die Muskelquerschnittsfläche am Unterarm) und 0,22 (für die spezifische Sprungleistung).

Betrachtet man die jährliche prozentuale Änderung, so fällt der besonders große Funktionsverlust beim Timed-up-and-go-Test auf (2,3%). Für die spezifische Sprungkraft und für die Muskelquerschnittsflächen am Unterarm und am Unterschenkel fiel der jährliche Verlust mit etwa einem halben Prozent deutlich geringer aus.

Tabelle 3 - Regressionsanalysen: Altersabhängigkeit der untersuchten Muskelvariablen.
 Angegeben sind die Koeffizienten *a* und *b* der Regressionsgleichung $y = a + b \cdot \text{Alter}$, der *p*-Wert und der r^2 der Korrelationsanalyse, der aus der Regressionsgleichung ermittelte Erwartungswert einer 60-jährigen Studienteilnehmerin, sowie die jährliche prozentuale Änderung.

	a	b	p	R²	Wert bei 60 Jahren	Änderung pro Jahr in %
CSA Unterarm [cm²]	37,09	-0,16	<0,001	0,07	27,6	-0,6
CSA Unterschenkel [cm²]	78,60	-0,25	<0,001	0,03	63,1	-0,4
Griffstärke rechts [kg]	45,80	-0,32	<0,001	0,19	26,6	-1,2
Griffstärke links [kg]	44,30	-0,32	<0,001	0,20	25,1	-1,3
Sprunghöhe [m]	0,39	-0,003	<0,001	0,11	0,21	-1,4
Spezif. Sprungkraft [N/kg]	29,26	-0,12	<0,001	0,09	22,06	-0,5
Spezif. Sprungleistung [W/kg]	52,13	-0,39	<0,001	0,22	28,73	-1,3
Timed-up-and-go [s]	-2,25	0,14	<0,001	0,09	6,15	2,3
Chair-rising [s]	3,37	0,09	0,001	0,03	9,14	1,1

Zwischen allen neuromuskulären Tests wurden signifikante Korrelationen gefunden. Besonders starke Korrelationen zeigten sich zwischen der Griffstärke rechts und links ($r = 0,79$) und zwischen der spezifischen Sprungleistung und der spezifischen Sprungkraft ($r = 0,67$).

Hervorzuheben ist, dass die spezifische Sprungleistung ($r = 0,43$) sowohl mit der spezifischen Sprungkraft als auch mit der Sprunghöhe ($r = 0,36$) sehr gut korrelierte.

Mäßige Korrelationen ($r = 0,22$ bis $0,44$) hingegen fanden sich bei den Variablen der Griffstärken und denen der Sprungtests. Der Chair-rising-Test ($r = -0,26$) und der Timed-up-and-go-Test ($r = -0,24$) korrelierten nur schwach, sowohl untereinander als auch mit den Variablen der Griffstärken und denen der Sprungtests.

Tabelle 4 - Matrix der Korrelationen von Änderungen zwischen den neuromuskulären Variablen. *: $p < 0,05$, **: $p < 0,01$, *: $p < 0,001$**

	Griff- stärke rechts	Griff- stärke links	Sprung- höhe	Spezif. Sprung- kraft	Spezif. Sprung- leistung	Timed- up- and- go-Test	Chair- rising Test
Griffstärke rechts [kg]		0,79 ^{***}	0,36 ^{***}	0,22 ^{***}	0,43 ^{***}	0,24 ^{***}	0,26 ^{***}
Griffstärke links [kg]	0,79 ^{***}		0,39 ^{***}	0,22 ^{***}	0,44 ^{***}	0,24 ^{***}	0,25 ^{***}
Sprung- höhe [m]	0,36 ^{***}	0,39 ^{***}		0,11 [*]	0,63 ^{***}	0,24 ^{***}	0,25 ^{***}
Spezif. Sprung- kraft [N/kg]	0,22 ^{***}	0,22 ^{***}	0,11 [*]		0,67 ^{***}	-0,08 ^{**}	-0,23 ^{***}
Spezif. Sprung- leistung [W/kg]	0,43 ^{***}	0,44 ^{***}	0,63 ^{***}	0,67 ^{***}		-0,25 ^{***}	-0,36 ^{***}
Timed-up- and-go- Test [s]	-0,24 ^{***}	-0,24 ^{***}	-0,24 ^{***}	-0,08 ^{**}	-0,25 ^{***}		0,26 ^{***}
Chair- rising Test [s]	-0,26 ^{***}	-0,25 ^{***}	-0,31 ^{***}	-0,23 ^{***}	-0,36 ^{***}	0,26 ^{***}	

3.3. Knochendichte & Alter

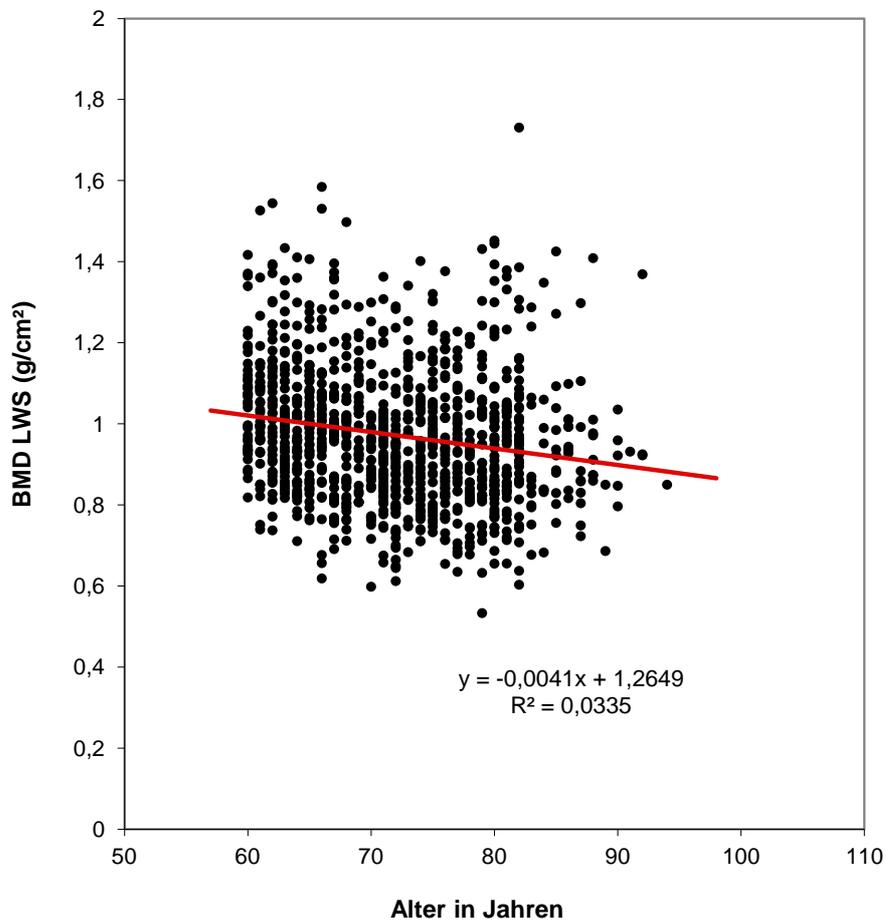


Abbildung 1 – Beziehung zwischen der Knochendichte der Lendenwirbelsäule und dem Alter. Die Korrelationsanalyse ergab einen signifikanten linearen Zusammenhang ($p = <0,001$).

Die Korrelations- und Regressionsanalysen ergaben signifikante Zusammenhänge zwischen dem Alter und der DXA-Knochendichte an den untersuchten Messorten. (siehe Tabelle 5).

Der stärkste Zusammenhang mit dem Alter zeigte sich für die mit pQCT gemessene trabekuläre Knochendichte des distalen Radius bei 4%. Der r^2 -Wert betrug hier 0,07 ($p = <0,001$). Bezogen auf den Durchschnitt der 60-Jährigen wies dieser einen jährlichen Verlust von -1,1% auf.

Eine moderate Altersabhängigkeit wies die Knochendichte der Lendenwirbelsäule mit einem r^2 -Wert von 0,04 auf; die jährliche Änderung betrug hier 0,3%, die der Hüfte $r^2= 0,17$, mit einem jährlichen Verlust von -0,5%.

Ebenfalls geringe Altersabhängigkeiten ergab sich für die mit pQCT gemessene trabekuläre Knochendichte ($r^2= 0,02$ an der distalen Tibia bei 4%).

Bei der Regressionsanalyse zwischen dem T-Score der DXA-BMD an der Lendenwirbelsäule mit dem Alter fand sich kein linearer, dafür aber ein quadratischer Zusammenhang mit einem r^2 -Wert von 0,032 ($p < 0,001$).

Tabelle 5 - Regressionsanalysen: Altersabhängigkeit der Knochendichte. Angegeben sind die Koeffizienten a und b der Regressionsgleichung $y= a + b \cdot \text{Alter}$, der p -Wert und der r^2 der Korrelationsanalyse, der aus der Regressionsgleichung ermittelte Erwartungswert einer 60-jährigen Studienteilnehmerin, sowie die jährliche prozentuale Änderung.

	a	b	p	R²	Wert bei 60 Jahren	Änderung pro Jahr in %
Distaler Radius [mg/cm ³]	278,95	-1,78	<0,001	0,07	171	-1,1
Distale Tibia [mg/cm ³]	244,6	-0,76	0,012	0,02	199	-0,3
LWS [g/cm ²]	1,26	-0,004	<0,001	0,04	1,01	0,3
Hüfte [g/cm ²]	1,38	-0,007	<0,001	0,17	0,94	-0,5

Zwischen allen Knochendichtewerten wurden gute bis moderate Korrelationen gefunden. Die stärksten Korrelationen zeigten sich zwischen der Knochendichte der Lendenwirbelsäule ($r = 0,64$) und der Knochendichte der Hüfte.

Tabelle 6 - Matrix der Korrelationen zwischen den Knochendichtewerten an den verschiedenen Messorten. * $p < 0,001$**

	LWS	Hüfte	Distaler Radius	Distale Tibia
LWS		0,64***	0,49***	0,42***
Hüfte	0,64***		0,58***	0,45***
Distaler Radius	0,49***	0,58***		0,59***
Distale Tibia	0,42***	0,45***	0,59***	

3.3. Knochendichte & neuromuskuläre Tests

Zwischen der DXA-Dichte der LWS bzw. der Hüfte und der Handgriffstärke konnte kein Zusammenhang dargestellt werden (siehe Abbildung 3). Ebenso wenig wie zwischen der DXA-Dichte der Hüfte und der spezifischen Sprungleistung (siehe Abbildung 5).

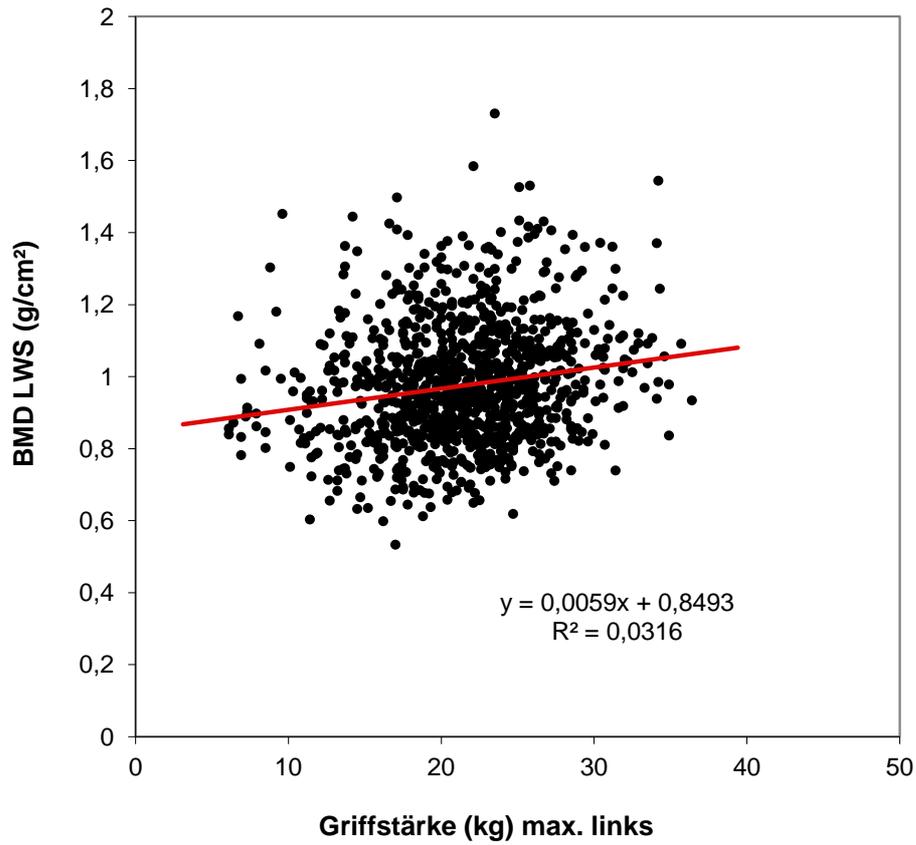


Abbildung 2 – Beziehung zwischen der DXA-BMD der Lendenwirbelsäule (LWS) und der Handgriffstärke links. Die Korrelationsanalyse ergab einen signifikanten linearen Zusammenhang ($p < 0,001$).

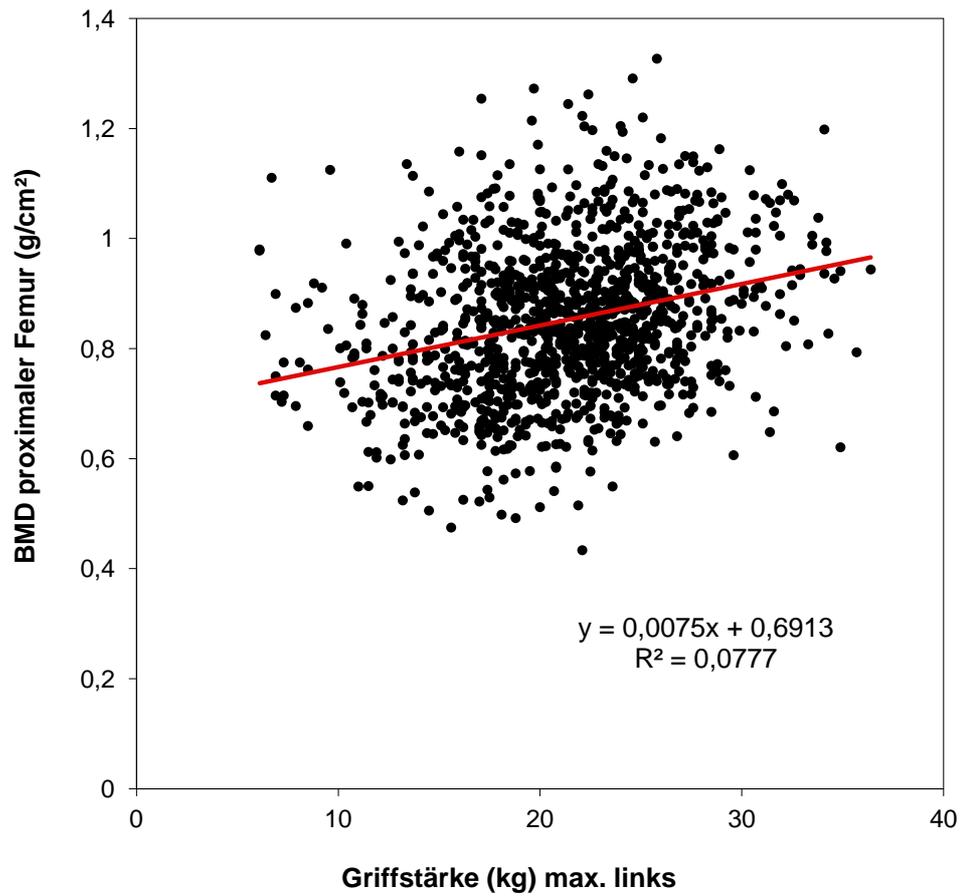


Abbildung 3 – Beziehung zwischen der DXA-BMD der Hüfte und der Handgriffstärke links. Die Korrelationsanalyse ergab einen signifikanten linearen Zusammenhang ($p < 0,001$).

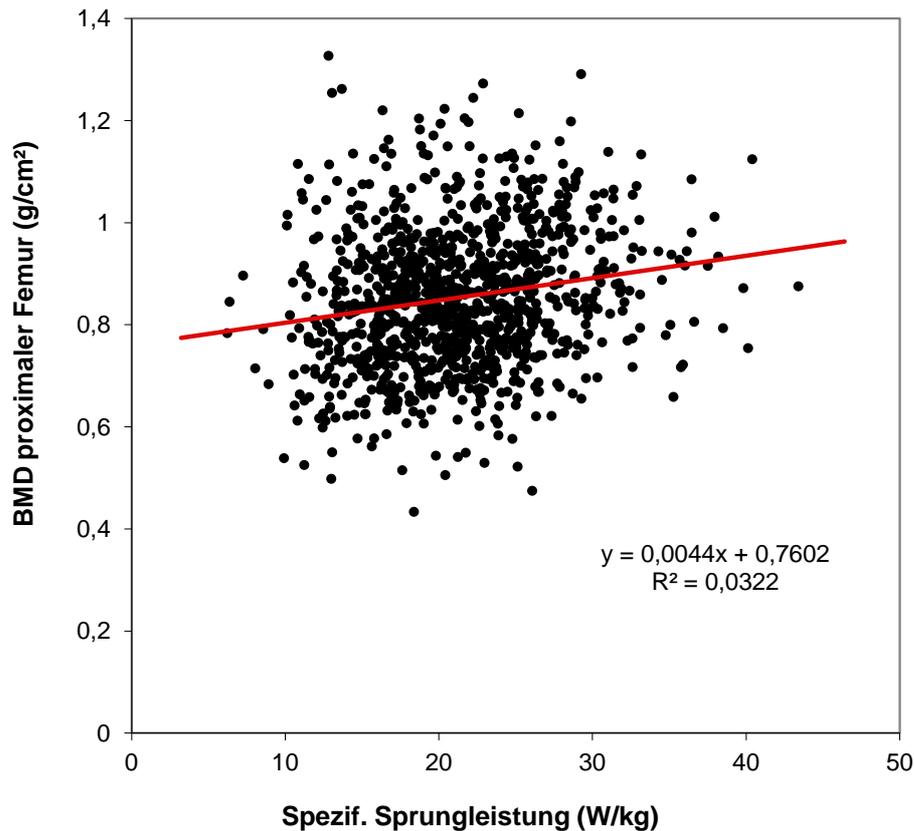


Abbildung 4 – Beziehung zwischen der DXA-BMD der Hüfte und der spezifischen Sprungleistung. Die Korrelationsanalyse ergab einen signifikanten linearen Zusammenhang. ($p < 0,001$).

Zwischen den neuromuskulären Tests und den Knochenvariablen fanden sich signifikante Korrelationen, die allerdings nur ein geringes Bestimmtheitsmaß aufwiesen (siehe Tabelle 7).

Die stärksten Korrelationen fanden sich zwischen der trabekulären Knochendichte der distalen Tibia und der Muskelquerschnittsfläche des Unterschenkels ($r = 0,45$, $p < 0,001$). Eine ebenfalls hochsignifikante Korrelation fand sich zwischen der trabekulären Knochendichte des distalen Radius und der Muskelquerschnittsfläche des Unterarmes ($r = 0,18$, $p < 0,001$). Schwache, aber dennoch signifikante Korrelationen zeigten sich zwischen der trabekulären Knochendichte am distalen Radius mit der Griffstärke ($r = 0,15$ links, $p < 0,001$), ($r = 0,16$ rechts, $p < 0,001$).

Weiterhin fanden sich signifikante aber geringe Korrelationen zwischen der DXA-BMD an der Hüfte und der Muskelquerschnittsfläche am Unterarm ($r = 0,33$, $p < 0,001$), beziehungsweise mit der Griffstärke rechts und links ($r = 0,27$ rechts und $r = 0,28$ links, $p < 0,001$).

Bemerkenswerterweise fand sich für keinen der neuromuskulären Tests eine signifikante Korrelation mit der trabekulären Knochendichte an der distalen Tibia.

Tabelle 7 - Matrix der Korrelationen zwischen neuromuskulären Tests und der Knochendichte an den verschiedenen Messorten. *: $p < 0,05$, **: $p < 0,01$, *: $p < 0,001$**

	Knochendichte			
	LWS	Hüfte	Distaler Radius	Distale Tibia
Griffstärke rechts [kg]	0,17 ^{***}	0,27 ^{***}	0,15 ^{**}	-0,02
Griffstärke links [kg]	0,18 ^{***}	0,28 ^{***}	0,16 ^{***}	0,03
Sprunghöhe [m]	0,60 ^{***}	0,20 ^{***}	0,18 ^{***}	0,08
Spezif. Sprungkraft [N/kg]	0,21	0,11 ^{**}	0,11 [*]	0,06
Spezif. Sprungleistung [W/kg]	0,31	0,18 ^{***}	0,16 ^{***}	0,06
Timed-up-and-go-Test [s]	-0,04	-0,15 ^{***}	-0,12	-0,02
Chair-rising Test [s]	0,03	-0,05	-0,08	-0,01
Muskelfläche Arm [cm²]	0,12 ^{***}	0,33 ^{***}	0,18 ^{***}	0,14 ^{**}
Muskelfläche Bein [cm²]	0,14 ^{***}	0,25 ^{***}	0,18 ^{***}	0,45 ^{***}

3.5. Knochendichte & Anthropometrische Faktoren

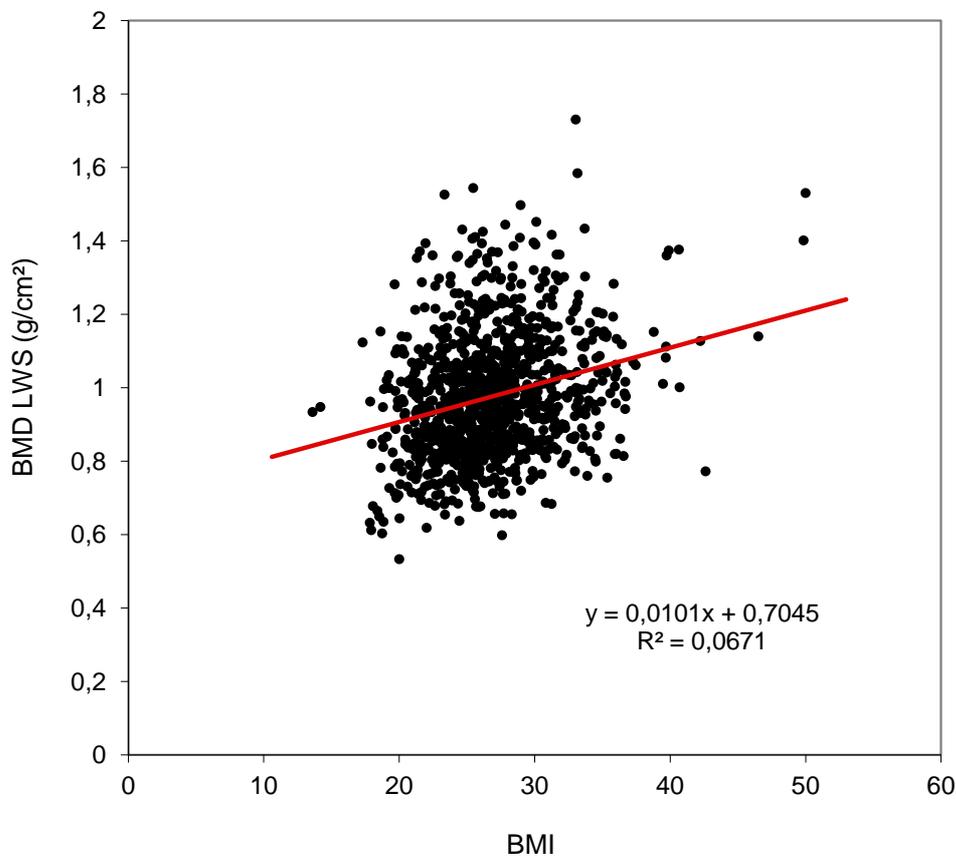


Abbildung 5 – Beziehung zwischen der DXA-BMD der Lendenwirbelsäule und dem Body Mass-Index (BMI). Die Korrelationsanalyse ergab einen signifikanten linearen Zusammenhang ($p < 0,001$).

Zwischen den Knochendichtewerten und den anthropometrischen Maßen wurden nur mäßig starke Korrelationen gefunden. Die stärksten Korrelationen zeigten sich zwischen der Knochendichte der Hüfte und dem Körpergewicht ($r = 0,46$, $p < 0,001$), bzw. dem Body Mass-Index ($r = 0,39$, $p < 0,001$, s. Tabelle 8). Kein signifikanter Zusammenhang konnte zwischen der Körpergröße und der trabekulären Knochendichte am distalen Radius bzw. an der distalen Tibia gefunden werden.

Tabelle 8 - Korrelationskoeffizienten der Zusammenhänge zwischen anthropometrischen Daten und den Knochendichtewerten an den verschiedenen Messorten. *: $p < 0,05$, **: $p < 0,01$, *: $p < 0,001$**

	BMI	Körpergröße	Körpergewicht
LWS	0,26***	0,17***	0,32***
Hüfte	0,39***	0,20***	0,46***
Distaler Radius	0,15**	0,03	0,16***
Distale Tibia	0,18***	0,03	0,15***

Logistische Regressionen zur Prädiktion der Osteoporose

Das Vorliegen einer Osteoporose wurde, gemäß den Empfehlungen der WHO-Expertenkommission, bei einem DXA-BMD T-Score von $< -2,5$ SD definiert (65).

Für die Osteoporose der Hüfte wurden in der multiplen Regression als signifikante Prädiktoren das Alter, der Body Mass-Index und die Sprunghöhe gefunden ($p < 0,001$, s. Tabelle 9). Die Griffstärke zeigte keine Signifikanz in diesem Modell auf.

Es zeigte sich, dass das Risiko der Osteoporose mit zunehmendem Alter anstieg und mit steigendem Body Mass-Index abfiel. Die Sprunghöhe war ebenfalls negativ korreliert für das Osteoporose-Risiko.

Tabelle 9 - Logistisches Regressionsmodell für das Vorliegen einer Osteoporose an der Hüfte. Der Exponent(B) ist die Potenz des Regressionskoeffizienten zur Basis e und stellt hier eine Art Risikokalierung dar. Das Osteoporose Risiko erhöht sich darum, wenn der Exponent B > 1 war und erniedrigte sich bei einem Wert von < 1. CI: Konfidenzintervall, BMI: Body Mass-Index, p: Wahrscheinlichkeitswert.

	p	B	Exp(B)	95% CI für EXP(B)	
Alter	0,001	0,099	1,104	1,071 - 1,138	
BMI	0,001	-0,324	0,723	0,675 – 0,774	
Sprunghöhe	0,001	-9,685	$6,22 \cdot 10^{-5}$	0,000 – 0,014	
Konstante	0,794	0,410	1,507		

Das Ergebnis der ROC-Analyse für das in Tabelle 9 angegebene Modell ist in Abbildung 6 dargestellt. Die Fläche unter der Kurve betrug 0,83. Allerdings konnte das Modell von 141 Osteoporosefällen nur 32 richtig vorhersagen, und 20 von 920 Gesunden wurde fälschlich eine Osteoporose vorhergesagt. Insgesamt war die Klassifikation (Osteoporose ja/nein) mit diesem Modell zu 87,9% richtig. Dieses ist zu vergleichen mit dem Modell der Nullhypothese (überhaupt kein Vorkommen von Osteoporose) das in 86,8% richtig klassifizierte.

Prädiktion Osteoporose Hüfte

ROC-Kurve

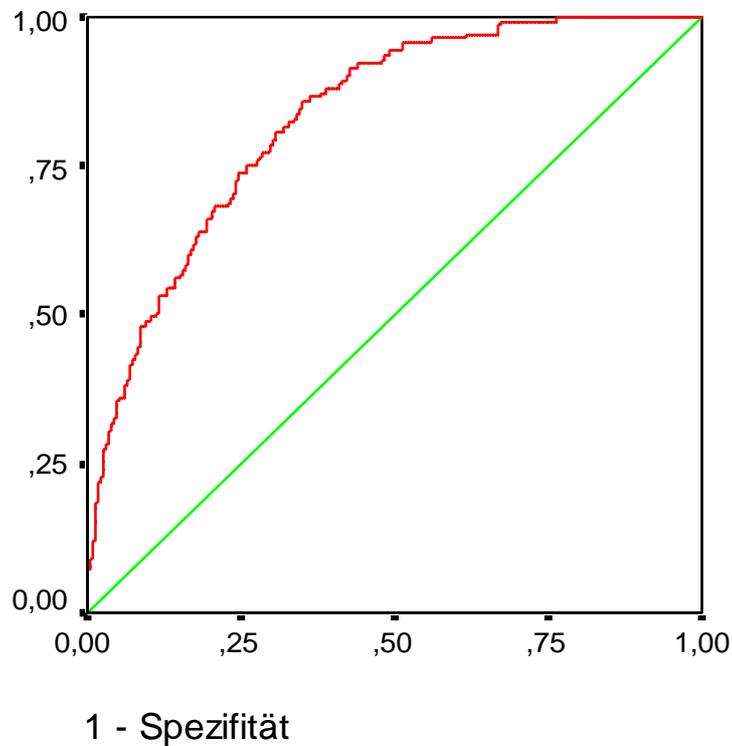


Abbildung 6 – Fläche unter der Kurve = 0,83. Der WHO-Expertenkommission folgend wurde die Osteoporose definiert, wenn die DXA-BMD 2,5SD oder mehr unter dem Referenzwert lag.

Als signifikant zeigten sich im logistischen Regressions-Modell für das Vorliegen einer Osteoporose an der Lendenwirbelsäule (s. Tabelle 10) das Alter ($p = 0,002$), die Griffstärke ($p = 0,025$), sowie der Body Mass-Index ($p = 0,001$).

Tabelle 10 - Logistisches Regressionsmodell für das Vorliegen einer Osteoporose an der Wirbelsäule. Der Exponent(B) ist die Potenz des Regressionskoeffizienten zur Basis e und stellt hier eine Art Risikokalierung dar. Das Osteoporose Risiko erhöht sich darum, wenn der Exponent $B > 1$ war und erniedrigte sich bei einem Wert von < 1 . CI: Konfidenzintervall, BMI: Body Mass-Index, p: Wahrscheinlichkeitswert.

	p	B	Exp(B)	95% CI für EXP(B)
Alter	0,002	0,033	1,034	1,0131 - 1,055
BMI	0,001	-0,106	0,899	0,867 – 0,933
Griffstärke Links	0,025	-0,035	0,966	0,936 – 0,996
Konstante	0,829	0,229	1,257	

Trotz der hohen Signifikanz dieser Prädiktoren war auch hier der prädiktive Wert des Gesamtmodells nur schwach. Von 305 Osteoporosefällen wurden nur 27 richtig vorhergesagt und 16 von 765 Gesunden wurden fälschlich eine Osteoporose vorhergesagt.

Die Klassifikation (Osteoporose ja/nein) war insgesamt in diesem Modell zu 72,5% richtig. Zu vergleichen ist dies mit dem Modell der Nullhypothese (kein Vorkommen von Osteoporose) das in 71,5% richtig klassifizierte. Das Resultat der ROC-Analyse ist in der Abbildung 7 dargestellt. Die Fläche unter der Kurve betrug 65%.

Osteoporose Wirbelsäule

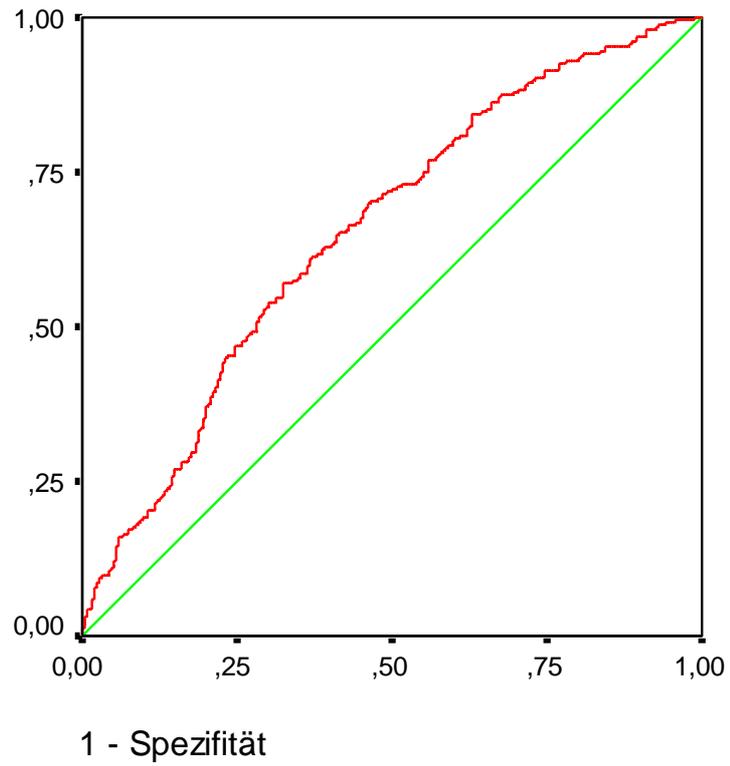


Abbildung 7 - Fläche unter der Kurve = 0,65. Der WHO-Expertenkommission folgend wurde die Osteoporose definiert, wenn die DXA-BMD 2,5SD oder mehr unter dem Referenzwert lag.

4. Diskussion

Ziel dieser Studie war die Beantwortung der Frage: Können neuromuskuläre Tests als Surrogate für die Knochendichte eingesetzt werden? Als Querschnitts-Studie hat diese Studie naturgemäß bestimmte Limitationen, da keine individuellen Altersveränderungen berechnet werden können. In der Studie wurden 1197 Teilnehmerinnen im Alter über 60 Jahren in ganz Deutschland rekrutiert und hinsichtlich einer etwa vorliegenden Osteoporose und ihrer Risikofaktoren untersucht. Wie im Ergebnisteil dargestellt sind die Resultate hinsichtlich der primären Fragestellung dieser Studie auf den ersten Blick enttäuschend. Allerdings gibt es eine Reihe interessanter Teilergebnisse, und es zeigten sich überzeugendere Signifikanzen, wenn die neuromuskulären Tests im Verbund analysiert wurden.

4.1 Untersuchungskollektiv

Die Studie wurde im Sinne einer „Feld“-Studie organisiert, das heißt Interessentinnen bewarben sich vor Ort um die Teilnahme an der Studie. Trotz dieser Schwierigkeiten war es gelungen, eine weitgehend gleiche Altersstreuung zwischen 60 und 90 Jahren zu erreichen und darüber hinaus eine große Anzahl von Teilnehmerinnen über 80 Jahre mit einzuschließen (siehe Tabelle 1).

Als Querschnitts-Studie stößt diese Untersuchung hier auf ein bekanntes epidemiologisches Problem. Wie erwartet hatten ältere Studienteilnehmerinnen eine geringere Körpergröße als Jüngere. Eine nahe liegende Vermutung wäre es, dass dieses auf die bekannte, so genannte „Akzeleration“ der Körpergröße zurückzuführen ist (35). Diese Akzeleration besagt, dass fortschreitende Generationen eine immer größere Körpergröße erreichen. Dieser so genannte säkulare Trend beschreibt also die Veränderung der körperlichen Entwicklung von einer Generation zur nächsten und ist somit ein wichtiger Parameter für die sozioökonomischen Umstände einer Gesellschaft (61). Aufgrund dieser Beobachtung, dass mit einer günstigen sozioökonomischen Entwicklung sowohl die Körpergröße als auch die sexuelle Reifung früher eintritt, wird der säkulare Trend unter anderem als Indikator für die Bedingungen in einer Gesellschaft hinsichtlich Ernährung, Hygiene und Gesundheitszustand verwendet (55).

Über den Einfluss der Nahrung, insbesondere der Zufuhr von Kalzium und Proteinen, gibt es darüber hinaus Hinweise, dass eine veränderte Exposition mit östrogenartiger und/oder androgener Wirkung in Trinkwasser und Umwelt für den im letzten Jahrhundert beobachteten säkularen Trend der Pubertät insbesondere von Mädchen mit verantwortlich sein könnte (7,31,5). Andererseits kommt es aber auch im Laufe eines individuellen Lebens zur Verringerung der Körpergröße. Eine maßgebliche Ursache hierfür ist zum Beispiel die Verkleinerung des Zwischenwirbelraumes durch Degeneration der Bandscheiben, aber auch ein Zusammensintern von Wirbelkörpern im Rahmen einer vertebrealen Osteoporose. Der Umstand, dass neben der Körpergröße auch das Körpergewicht bei älteren Teilnehmerinnen geringer war als bei den Jüngeren, nicht jedoch der Body Mass-Index, spricht dafür, dass der im Untersuchungskollektiv bestehende Zusammenhang zwischen Körpergröße und Alter zu einem guten Teil auf den epidemiologischen Faktor, sprich die Akzeleration zurückzuführen ist (59).

4.2 Neuromuskuläre Tests und Alter

Wie erwartet wurde zwischen den Resultaten der neuromuskulären Tests und dem Alter ein Zusammenhang beobachtet (Tabelle 2).

Vergleicht man beispielsweise die Altersgruppen der 60 bis 64-Jährigen mit der Altersgruppe der über 80-Jährigen, so zeigt sich sowohl für die Griffstärke links wie auch rechts eine Abnahme um 26% (links von 24,6kg auf 18,2kg und rechts von 25,9kg auf 19,3kg).

Entsprechend nahm die Sprunghöhe um 28% ab (von 18,3cm auf 12,6cm), die spezifische Sprungkraft war um 11% geringer (von 22,6N/kg auf 20,1N/kg) und die spezifische Sprungleistung um 15% (von 25,5W/kg auf 17,5W/kg).

Beim Chair-rising-Test verlängerte sich die Zeit in diesen Altersgruppen um 20% (von 9,5s auf 11,4s), die des Timed-up-and-go-Tests nahm um 36% zu (von 8,9s auf 12,1s).

Ähnliche Schlussfolgerungen sind aus den Korrelations- und Regressionsanalysen in Tabelle 3 zu ziehen: Eine Abnahme der neuromuskulären Funktion, die besonders ausgeprägt war in denjenigen Parametern, die stark mit der Lokomotion zusammenhingen, also des Timed-up-and-go-Testes, des Chair-rising-Testes und der spezifischen Sprungleistung.

Somit ist dokumentiert, dass die Resultate der neuromuskulären Tests sich mit zunehmendem Alter verschlechterten. Czuka und McCarty beispielsweise fanden in ihren Arbeiten zum Chair-rising-Test signifikante Beziehungen zwischen Alter, Testzeit und Geschlecht. So führten junge Männer diese Untersuchung besser als junge Frauen aus, obgleich dieser Unterschied mit zunehmendem Alter auch verloren ging (10). Deutlich wird auch die Relevanz des Kraftverlustes im Alter, wenn man bedenkt, dass gesunde 20-jährige Frauen 50-70% ihrer Maximalkraft benötigen, um aus einem niedrigen Stuhl ohne Lehne aufzustehen. Dementsprechend benötigen gesunde 80-Jährige zum Aufstehen ihre Maximalkraft ohne Armeinsatz aus einem niedrigen Stuhl (66). Unter den verschiedenen neuromuskulären Tests waren der Chair-rising-Test und der Timed-up-and-go-Test besonders mit dem Alter verbunden. Der Chair-rising-Test dient als Indikator der muskulären Leistung (Kraft x Geschwindigkeit) beziehungsweise der muskulären Maximalkraft der unteren Extremität (44). Die Fähigkeit von einem Stuhl aufzustehen ist essentiell für ein unabhängiges Leben älterer Menschen und ist die am stärksten von biomechanischen Abläufen abhängige Aufgabe (40).

Die Abnahme der neuromuskulären Funktion mit dem Alter ist zumindest teilweise durch die Akzeleration der Körpergröße bedingt und macht sich zuerst in der Griffstärke bemerkbar (54). Alle anderen angegebenen Maße sind jedoch ökologische Maße, bei denen das Untersuchungsergebnis auf die Körpermasse und damit indirekt auch auf die Körpergröße normiert ist. Aus diesem Grund ist tatsächlich ein neuromuskulärer Funktionsverlust zwischen dem 60. und 80. Lebensjahr erkennbar (siehe Tabelle 2). Der Verlust beträgt je nach Messgröße etwa 10 bis 30%. Bisher lag noch keine vergleichbare Untersuchung hinsichtlich dieser neuromuskulären Tests vor, bei der eine so große Teilnehmerinnenanzahl in Deutschland untersucht worden war. Die erhobenen Werte aus dieser Studie können darum als eine Art von Altersreferenzwerten benutzt werden, solange man in Rechnung trägt, dass es sich nicht um eine randomisierte Querschnittssektion der Bevölkerung handelte.

Erwartungsgemäß gab es starke Abhängigkeiten dieser neuromuskulären Testresultate untereinander (s. Tabelle 4).

Es ist deshalb davon auszugehen, dass diese Variablen zum Teil redundante Informationen darstellen. Interessanterweise war aber die Korrelation zwischen den Sprungtestdaten und dem Chair-rising-Test, aber auch mit dem Timed-up-and-go-Test, nur schwach. Dieses bedeutet, dass jede dieser Tests wahrscheinlich zu einem guten Teil unabhängige Informationen messen. Es steht darum zu erwarten, dass eine Kombination von Griffstärke, Sprungtest, Chair-rising-Test

und Timed-up-and-go-Test, die altersbedingten neuromuskulären Veränderungen besser erfasst als jeder einzelne dieser Tests.

4.3 Zusammenhang zwischen Knochendichte und Alter

Obwohl die Knochendichte mit verschiedenen Verfahren gemessen wurde fällt auf, dass zwischen diesen Werten eine moderate bis starke Korrelation besteht (siehe Tabelle 6). Der Unterschied ist im Wesentlichen dadurch zu erklären, dass die einzelnen Knochenabschnitte auch unterschiedlichen Kräften ausgesetzt werden. Nach dem Wolff'schen Gesetz passen die Knochen sich ihrer Funktion an.

Wie in Tabelle 5 dargestellt, besteht ein starker Zusammenhang zwischen der Knochendichte und dem Alter. Die stärkste Korrelation ($r^2 = 0.17$), aber der größte jährliche Verlust zeigte sich im distalen Radius. Für die Lendenwirbelsäule fand sich eine schwächere Korrelation ($r^2 = 0.04$), aber eine mit dem Alter zunehmende Knochenmasse. Dies kann dadurch erklärt werden, dass mit zunehmendem Alter auch die Verschleißveränderungen an der Wirbelsäule zunehmen und diese alle mit im Meßfeld liegen. Bekanntermaßen liefert die DXA-Methode eine flächenprojizierte Knochenmasse, und demzufolge haben kleinere Menschen mit einem zarten Skelettaufbau erwartungsgemäß eine geringere DXA-Knochendichte (25), was aber nicht adjustiert wird. Bei der Knochendichtemessung mit der pQCT spielt die Körpergröße keine Rolle, denn hierbei handelt es sich um die Bestimmung der apparenten, trabekulären, volumenbezogenen Knochendichte. Der distale Radius zeigt den stärksten Abfall der Knochendichte mit dem Alter, was im starken Gegensatz zu den Beobachtungen von Runge steht, der nachgewiesen hat, dass die Knochendichte, gemessen mit pQCT, in der Tibia und im Radius postmenopausal über 10 Jahre konstant bleibt. Die Messungen von Runge waren im Gegensatz zu unseren Untersuchungen individuelle Verlaufskontrollen.

Nach der Menopause kommt es aufgrund des Östrogenmangels in den folgenden 5-10 Jahren zum vermehrten Knochenabbau, so dass sich das Risiko einer niedrigen Knochendichte in den folgenden Lebensjahren erhöht (6). Mit fortschreitendem Lebensalter vermindert sich die physische Mobilität. Ursächlich sind vor allem die Abnahme der muskulären Leistungsfähigkeit mit Störungen des Gangbildes und der Abnahme der muskulären Koordination. Zum anderen verändern Krankheiten, Lebensstil und Unfälle ihrerseits die Funktionsfähigkeit des alternden Menschen. Hierdurch resultiert das vermehrte Auftreten von Stürzen verbunden mit einem hohen

Risiko für eine Fraktur. Die Gesamtheit all dieser Vorgänge führt zur zunehmenden Einschränkung der Selbstständigkeit, Am Ende besteht in vielen Fällen die Pflegebedürftigkeit. Die Schenkelhalsfraktur zum Beispiel, stellt die schwerwiegendste Komplikation nach einem Sturz dar. Fünf Prozent der Stürze führen zu Frakturen, wobei ca. ein Fünftel davon die hüftnahen Oberschenkelfrakturen darstellen (45). Neben dem erhöhten Sturz- und Frakturrisiko, schwindet aber auch das Selbstvertrauen und führt somit zu einer regelrechten Sturzangst (58). Nicht selten mündet dies in einer sozialen Isolation, da die Angst eine Einschränkung der Alltagsaktivität an routinemäßig durchgeführten körperlichen und sozialen Aufgaben bewirken kann. Das Lebensalter selbst stellt somit eine Grundvariable bei der Risikoeinschätzung einer Osteoporose dar (64). Das 10-Jahres-Risiko einer osteoporotischen Fraktur wird bei einem Alter von 55 Jahren auf 7,8% geschätzt, hingegen besteht ein 10-Jahres-Risiko bei 65-jährigen Frauen von geschätzten 14,3% (12). Damit wird deutlich, dass die im untersuchten Kollektiv beobachtete Altersabhängigkeit der Knochendichte weitgehend den Ergebnissen aus der wissenschaftlichen Literatur entspricht.

4.4 Zusammenhang zwischen Muskulatur und Knochendichte

Das Wolff'sche Gesetz bildet die Grundlage zum Verständnis der skelettalen Anpassung. D'Arcy Thompson prägte in den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts den Ausdruck „form follows function“ (56). Die Bedeutung von Kräften, welche im Knochen Verformungen bewirken und so zu mechanischen Anpassungen führen (Remodelling und Modelling) wurde von Harold Frost formuliert (17). Er beschreibt die Fähigkeit des erwachsenen Knochens, selbst nach Abschluss der Skelettentwicklung durch das Remodelling sich stetig erneuern zu können. Treten zunehmende Verformungen auf, z.B. nach Änderung der Statik oder durch zunehmende Muskelkraft kann sogar zusätzlicher Knochen über das Modelling gebildet werden. Die größten Kräfte, die auf den Knochen einwirken, entstehen bei der Kontraktion der Muskulatur. Der Zusammenhang zwischen Muskelkraft und Knochenfestigkeit wird durch eine Vielzahl von Studien belegt (24,49,67). Eine Verringerung der Muskelmasse kann durch Verringerung des Muskelfaserquerschnitt bzw. der Muskelfaserzahl entstehen (30). Neben den morphologisch-strukturellen Veränderungen der Skelettmuskulatur ist auch eine Veränderung der Nervenversorgung für die Funktion des Muskels von Bedeutung. Die motorischen Einheiten weisen eine altersabhängige Reduktion der Dauer und Amplitude der Aktionspotentiale auf (38) und die lumbosacralen Motoneuronen nehmen um circa 25% ab (60). Der Abfall der

Muskelkraft verläuft nicht linear und liegt bei 15% in der sechsten und bei etwa 30% bis zur achten Dekade (30). Die Muskulatur der unteren Extremität ist häufiger von einer Verminderung der maximalen Muskelkraft betroffen als die der oberen Extremität (62).

Visser et al. weisen in einer Studie mit über 3000 Männern und Frauen eine inverse Beziehung zwischen der Muskelmasse im Bein und einer schlechten Leistung der unteren Extremität nach. Gleiche Ergebnisse wurden für die Muskelkraft gefunden (63). Da die Kräfte, die durch Muskelkontraktionen entstehen nur auf die umspannten Knochen - lokal - einwirken können, ist es nicht verwunderlich, dass zwischen verschiedenen Abschnitten des Skelettsystems nur schwache bis gar keine Korrelationen von Muskel und Knochen gefunden wurden.

Beispielsweise fand sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Griffstärke und der trabekulären Knochendichte der distalen Tibia (Tabelle 7). Andererseits fand sich aber ein hochsignifikanter Zusammenhang zwischen der Griffstärke und der trabekulären Knochendichte des distalen Radius. Es ist aber überraschend, dass die Griffstärke stärker mit der Knochendichte an der Hüfte ($r = 0,27$) bzw. an der Wirbelsäule ($r = 0,17$) korrelierte, als mit der Radiusdichte. Harold Frost beschreibt die Fähigkeit des Knochens, auch nach Abschluss der Skelettentwicklung auf intensives Krafttraining mit Modelling zu reagieren. Dabei wird Modelling durch einen zunehmenden Strain (Verformung des Knochens) durch die Muskelkraft ausgelöst, die die Grenze von 1,5 Promille = 1500 Microstrain relativer Längenänderung überschreitet. Unterschreitet die habituelle Verformung eine untere Grenze, baut sich Knochen ab. Zwischen diesen beiden Grenzwerten erfolgt ein kontinuierlicher Knochenaufbau und -abbau, das so genannte Remodelling (15,48,42).

Es ist festzuhalten, dass alle beobachteten Korrelationen (in Tabelle 7) schwach waren. Es ist darum nahe liegend, dass die beobachteten signifikanten Muskel-Knochenkorrelationen zwischen verschiedenen Skelettabschnitten abhängig sind von der Knochenanatomie, der Muskelfaserrichtung und des daraus resultierenden Kraftvektors, der Muskelfaserzusammensetzung, des Trainingszustandes der Muskulatur, der metabolischen Grundversorgung (Ca, Vit D, Proteine), den Schmerzzuständen (lokal), den Knorpel- und Ligamentsveränderungen und vielem mehr. Zweitens, bedeutet das Ausbleiben von signifikanten Korrelationen der Knochendichte an der Tibia mit den Variablen aus den Sprungtests nicht notwendigerweise, dass die Muskelfunktion der unteren Extremität keine Rolle für den Erhalt der Tibia spielt. Hier ist zu berücksichtigen dass die Muskelfunktion stärkeren Schwankungen (Stichwort: Tagesform) unterworfen ist, wohingegen Veränderungen des Knochens nur sehr langsam vor sich gehen. Es ist darum möglich, dass im untersuchten Kollektiv die altersbedingte

Verschlechterung der Muskelfunktion dem Knochenabbau vorausgeeilt ist, und dass hierdurch mögliche Zusammenhänge zwischen Muskulatur und Knochen verdeckt worden sind. Entsprechend der Mechanostat-Theorie passen sich Knochen jedoch den maximalen Kräften an (18).

Ist es darum möglich, dass Muskelkräfte der unteren Extremität im Alter sehr wohl eine bedeutende Rolle für den Erhalt der Tibia spielen, dass aber der Sprungtest, aufgrund seiner komplexen Bewegungsabfolge und bei Vorliegen von Verschleißveränderungen in Hüfte, Knie oder Sprunggelenken, nicht die geeignete Untersuchung ist, um dies zu dokumentieren. Eine weitere Erklärungsmöglichkeit ist es, dass ältere Frauen beim Springen die Wadenmuskulatur gar nicht einsetzen, sondern eher Hüpfen und somit die Kraft aus den Kniestreckern beziehen. Dieses würde erklären, warum die Variablen aus dem Sprungtest eine signifikante Korrelation mit der Knochendichte an der Hüfte aufweisen, (r^2 -Wert um 0,04), und warum die Muskelquerschnittsfläche der Wade eine mäßig starke Korrelation mit der Knochendichte an der Tibia zeigte (r^2 -Wert um 0,20).

Alles in allem lässt sich darum sagen, dass höchstens schwache Abhängigkeiten zwischen der Knochendichte und den Ergebnissen der neuromuskulären Tests beobachtet wurden, und dass darum eine Vorhersage auf das Vorliegen einer Osteoporose schwierig sein dürfte.

4.5 Anthropometrische Maße und Knochendichte

Schwache bis mäßige Zusammenhänge mit der Knochendichte wurden für das Körpergewicht, für die Körpergröße und daraus resultierend auch für den Body Mass-Index gefunden. Der Body Mass-Index wird als Index für Über-/Untergewichtigkeit herangezogen. Es ist vielfach beschrieben worden, dass adipöse Menschen eine höhere mit DXA gemessene Knochendichte haben und ein geringes Risiko, osteoporotische Frakturen zu erleiden. Interessanterweise war die trabekuläre Knochendichte, sowohl am distalen Radius, als auch an der distalen Tibia positiv mit dem Körpergewicht und dem Body Mass-Index korreliert. Für die DXA-Messungen an der Lendenwirbelsäule und an der Hüfte fand sich ebenfalls ein solcher Zusammenhang zwischen Körpergewicht und Body Mass-Index, nicht jedoch für die Körpergröße.

Da ein hoher Body Mass-Index normalerweise mit einer größeren Fett/Weichteilmasse vergesellschaftet ist, und da die überlagerte Fett/Weichteilmasse den DXA-Wert erhöht, ist zu erwarten, dass der beobachtete Zusammenhang zwischen DXA Knochendichte und Body Mass-

Index zum Teil auf eine höhere Strahlenabsorption zurückzuführen ist. Zudem wird im subkutanen Fettgewebe auch postmenopausal noch Östrogen gebildet, was einen positiven Effekt auf den Knochenstoffwechsel ausübt. Zudem wirkt eine größere Fettschicht beim Sturz als Stoßdämpfer und vermindert darüber das Frakturrisiko.

4.6 Möglichkeit der Osteoporose-Prädiktion

Wie schon oben diskutiert waren verschiedene neuromuskuläre Tests mit der Knochendichte an den verschiedenen Messorten hochsignifikant korreliert, das Bestimmtheitsmaß dieser Korrelationen war aber nur gering. Daraus ist zu folgern, dass eine Prädiktion der Osteoporose anhand der durchgeführten neuromuskulären Tests wenig aussichtsreich scheint. Dieses nachzuweisen war aber das wesentliche Ziel der Studie.

Wie in Tabelle 9 und 10 dargestellt, hatten die Knochendichte der Hüfte und das Körpergewicht bzw. der Body-Mass-Index einen hochsignifikanten prädiktiven Wert für das Vorliegen einer Osteoporose.

Vergleicht man das logistische Regressionsmodell für das Vorliegen einer Osteoporose an der Hüfte mit dem an der Wirbelsäule, dann konnte gezeigt werden, dass das Hüftmodell mit 83% Fläche unter der Kurve einen größeren Erfolg (Klassifikation Osteoporose ja/nein) aufwies als das der Wirbelsäule (Fläche unter der Kurve 65%). Somit wies das Modell der Hüfte einen höheren Prädiktionswert auf als das der Wirbelsäule. Die Sprunghöhe, die für die Prädiktion der Osteoporose an der Hüfte eine signifikante Rolle spielte, fiel bei der Prädiktion an der Wirbelsäule nicht ins Gewicht. Das Ergebnis des Sprungtests und der Bezug zur DXA-BMD der Hüfte zeigen auf, dass durchaus zukünftig eine Prädiktion für Osteoporose erreicht werden kann. Des Weiteren zeigte sich zum Beispiel, dass bei Frauen, die für ihr Alter einen besonders hohen Body Mass-Index aufwiesen, ein geringeres Risiko bestand an Osteoporose zu erkranken. Ähnlich verhielt es sich mit der Griffstärke, denn je geringer die aufgewendete Handkraft war, desto höher war das Osteoporose-Risiko.

4.7 Limitationen der Studie

Es ist hervorzuheben, dass es sich bei dieser Studie um keinen repräsentativen Querschnitt der Bevölkerung handelt. Genau gesehen sind darum die Messwerte nicht als Referenzwerte verwertbar, allenfalls als Orientierungsgrößen. Zudem handelt es sich um eine Querschnittsstudie, die nur begrenzt Aussagen zur Knochen/Muskeladaptation zulassen. Dies sollte eher in einer longitudinalen Studie erfolgen. Die Messung der Sprungkraft/Kg Körpergewicht, ohne weitere Angaben zum Knochenstoffwechsel, der Medikamenteneinnahme oder Angaben zu Arthrosen und weiteren Begleiterkrankungen, liefert keinen ausreichenden Vorhersagewert für das Vorliegen einer Osteoporose. Sie lässt Rückschlüsse zu zur Muskelkraft (je nach Durchführung des Testes) und Muskelleistung und damit auch zum Sturzrisiko.

4.8 Abschließende Bewertung und Ausblick

Ein Vergleich dieser Studie mit anderen Studien ist schwierig, da es kaum Studien mit einem ähnlichen Design gibt. Die Studien lassen sich unterscheiden in der Teilnehmerzahl, der untersuchten Population, der Altersverteilung und der Art der angewendeten Testverfahren.

Um die Risiken, die zur Osteoporose führen, erfassen zu können, sind vor allem die Anamnesebögen, die quantitativen Untersuchungen (DXA, pQCT), sowie die verschiedenen neuromuskulären Tests wichtig, da sie auf eine verminderte Knochendichte hinweisen können. Viele Faktoren, wie die Propriozeption, Neuropathien, Arthrosen, unerkannte Lähmungen, etc. blieben unbeachtet und haben sicher einen Einfluss sowohl auf die Muskelfunktion, den Knochenstoffwechsel als auch auf die Ergebnisse der Testverfahren. Sands et al. fanden in ihrer Arbeit den stärksten prozentualen Abfall der Vibrationsschwelle mit zunehmendem Alter (46).

5. Zusammenfassung

Die Osteoporose ist eine Skeletterkrankung, die sowohl eine metabolischen als auch mechanischen Ätiopathogenese aufweist. Sie gehört zu den häufigsten Volkskrankheiten des höheren Lebensalters mit einer erheblichen Unter- und Fehlversorgung in Deutschland (23). Damit verbunden ist eine hohe Kostenzunahme, sowohl im ambulanten als auch im stationären Sektor (11,21). Klinisch wünschenswert wäre eine frühzeitige Diagnose der Osteoporose, um Frakturen rechtzeitig zu verhindern und den daraus entspringenden funktionellen Beeinträchtigungen vorzubeugen. Verschiedene Interventionen, wie die gezieltere Diagnostik bei individuell erhöhtem Risiko, entsprechend der DVO-Leitlinie 2009, oder ein signifikanter Surrogatparameter einerseits würden die spezifische Diagnostik der Osteoporose verbessern und andererseits die Frakturnrate senken (19,35,29,51,11,4).

Ziel der vorliegenden Arbeit war es herauszufinden, ob sich anhand von zusätzlichen Muskelfunktionstests ein positiver Voraussagewert hinsichtlich einer erniedrigten Knochendichte, sowie eines erhöhten Frakturrisikos ableiten lässt. Es wurden 1197 Teilnehmerinnen im Alter über 60 Jahren in ganz Deutschland rekrutiert und hinsichtlich einer etwa vorliegenden Osteoporose und ihrer Risikofaktoren untersucht. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Sprungkraft alleine keinen Voraussagewert bezüglich des Vorliegens einer Osteoporose hat. Bei der multivariaten Analyse zeigten sich dann aber immerhin eine Reihe von interessanten Teilergebnissen mit deutlicheren Signifikanzen. Die neuromuskulären Funktionen korrelierten hochsignifikant mit dem Alter. In der Altersgruppe der über 80-Jährigen zeigte sich eine Abnahme der Griffstärke um 26%, der Sprunghöhe um 28%, der spezifischen Sprungkraft um 11% und der spezifischen Sprungleistung um 15%. Beim Chair-rising-Test verlängerte sich die Zeit in diesen Altersgruppen um 20% und die Zeit beim Timed-up-and-go-Test nahm um 36% zu. Die stärksten Korrelationen waren zwischen der trabekulären Knochendichte der distalen Tibia und der Muskelquerschnittsfläche des Unterschenkels zu finden ($r^2 = 0,45$, $p < 0,001$). Eine ebenfalls hochsignifikante Korrelation fand sich zwischen der trabekulären Knochendichte des distalen Radius und der Muskelquerschnittsfläche des Unterarms ($r^2 = 0,18$, $p < 0,001$).

Die neuromuskulären Tests korrelierten nicht mit der trabekulären Knochendichte an der distalen Tibia.

FAZIT:

Abschließend lässt sich sagen, dass nur schwache Abhängigkeiten zwischen der Knochendichte und den Ergebnissen der Sprungtests und anderer neuromuskulären Tests nachzuweisen waren. Das neuromuskuläre Assessment und insbesondere die spezifische Sprungkraft sind bei postmenopausalen Frauen keine sicheren Prädiktoren – eine zuverlässige Vorhersage der Osteoporose kann hierdurch nicht gelingen.

Literaturverzeichnis

- (1) Bartl R (2001) Osteoporose-Prävention, Diagnostik, Therapie. Thieme, Stuttgart New York
- (2) Bartl R (2002) Osteoporose: Was ist gesichert in der Therapie? Internist 43:1529-1543
- (3) Bestehorn K, Raspe H, Götte S et al. (2002) Berücksichtigung der Osteoporose bei der Therapie nichtvertebraler Frakturen. -Pilotstudie zum FX-Register. Zeitschr Rheumatol 61, Suppl.1:80.
- (4) Bliuc D, Eisman JA, Center JR (2006) A randomized study of two different information-based interventions on the management of osteoporosis in minimal and moderate trauma fractures. Osteoporos Int; 17:1309-17.
- (5) Buck Louis GM, Gray LE Jr, Marcus M, Ojede SR, Pescovitz OH, Witchel SF, Sippell W, Abott DH, Soto A, Tyl RW, Bourguignon JP, Skakkebaek NE, Swan SH, Golub MS, Wabitsch M, Toppari J, Euling SY (2008) Environmental factors and puberty timing: expert panel research needs. Pediatrics; 121: 192-207.
- (6) Cadarette SM, Jaglal SB, Kreiger N, McIsaac WJ, Darlington GA, Tu JV (2000) Development and validation of the Osteoporosis Risk Assessment Instrument to facilitate selection of women for bone densitometry. Can Med Assoc J; 162:1289-1294.
- (7) Cole TJ (2000) Secular trends in growth. Proceedings of Nutrition Society; 59: 317-24.
- (8) Cooper C (1997) The crippling consequences of fractures and their impact on quality of life. Am J Med 103 (2A); pp. 12S- 17S.
- (9) Cummings SR, Nevitt MC (1994) Falls (editorial). N Engl J Med 331; pp. 872-873
- (10) Czuka M, McCarty MD (1985) Simple method for measurement of lower extremity muscle strength. Am J Med 78; pp. 77-81.
- (11) Feldstein A, Elmer PJ, Smith DH, Herson M, Orwoll E, Chen C, Aickin M, Swain MC (2006) Electronic medical record reminder improves osteoporosis management after a fracture: a randomized, controlled trial. J Am Geriatr Soc; 54:606-7.

- (12) Felsenberg D, Silman AJ, Lunt M, Armbrecht G, Ismail AA, Finn JD, Cockerill WC, Banzer D, Benevolenskaya LI, Bhalla A, Bruges Armas J, Cannata JB, Cooper C, Dequeker J, Eastell R, Felsch B, Gowin W, Havelka S, Hoszowski K, Jajic I, Janott J, Johnell O, Kanis JA, Kragl G, Lopes Vaz A, Lorenc R, Lyritis G, Masaryk P, Matthis C, Miazgowski T, Parisi G, Pols HAP, Poor G, Raspe HH, Reid DM, Reisinger W, Scheidt-Nave C, Stepan JJ, Todd CJ, Weber K, Woolf AD, Yershova OB, Reeve J, O'Neill TW (2002) Incidence of vertebral fracture in Europe: results from the European Prospective Osteoporosis Study (EPOS). *J Bone Miner Res*; 17:716-724.
- (13) Felsenberg D (2004) *MMW-Fortschr. Med. Suppl.1*; 146.Jg.
- (14) Felsenberg D (1997) Osteodensitometrie und Morphometrie. In: Seibel MJ, Stracke H. *Metabolische Osteopathien Handbuch für Klinik und Praxis*. Schattauer, Stuttgart New York; pp 65-100.
- (15) Frost HM (1997) Defining osteopenias and osteoporoses: another view (with insights from a new paradigm). *Bone*; 20:385-391.
- (16) Frost HM (2001) From Wolff's law to the Utah paradigm: insights about bone physiology and its clinical applications. *Anat Rec*; 262:398-419.
- (17) Frost HM (1990) Skeletal structural adaptations to mechanical usage (SATMU): 1.Redefining Wolff's law: the bone modeling problem. *Anat Rec*; 226:403-13.
- (18) Frost HM (1987) The Mechanostat: a proposed pathogenic mechanism of osteoporoses and the bone mass effects of mechanical and nonmechanical agents. *Bone Miner*; 2:73-85.
- (19) Gardner MJ, Brophy RH (2005) Demetrakopoulos D: Interventions to improve treatment following hip fracture: a prospective, randomized trial. *J Bone Joint Surg Am*; 87:3-7.
- (20) Genant HK, Guglielmi G, Jergas M (1998) (Eds.), *Bone Densitometry and Osteoporosis*, Springer Verlag
- (21) Glüer CC, Felsenberg D (1996) Kosten und Nutzen unterschiedlicher Strategien zur Diagnose von Osteoporose. *Radiologe*; 36:315-326.
- (22) Gowin W, Rittweger J. *Knochenpraktikum, Skript zum Physiologischen Praktikum Muskulo-Skeletales System*
- (23) Häussler B, Grote H, Mangiapane S, Glaeske G, Pientka L, Felsenberg D (2006) Versorgung von Osteoporose-Patienten in Deutschland. *Dtsch Arztebl*; 103(39): A 2542-8.

- (24) Heaney RP, Abrams S, Dawson-Hughes B, Looker A, Marcus R, Matkovic V, Weaver C (2000) Peak bone mass. *Osteoporos Int*; 11:985-1009.
- (25) Ahlborg HG, Johnell O, Turner CH, Rannevik G, Karlsson MK (2003) Bone loss and bone size after Menopause. *N Engl J Med*; 349:327-334.
- (26) Johnell O, Kanis JA, Oden A, Johansson H, De Laet C, Delmas P, Eisman JA, Fujiwara S, Kroger H, Mellstrom D, Meunier PJ, Melton LD 3rd, O'Neill T, Pols H, Reeve J, Silman A, Tenenhouse A (2005) Predictive Value of BMD for hip and other fractures. *J Bone Miner Res* 20:1185-1194.
- (27) Kanis JA, Johnell O (2005) on behalf of the Committee of Scientific Advisors of the International Osteoporosis Foundation Requirements for DXA for the management of osteoporosis in Europe. *Osteoporos Int* 16:220-238.
- (28) Kanis JA, Johnell O (2005) The Requirements for DXA for the management of osteoporosis in Europe. *Osteoporos Int* 16; pp. 229-238.
- (29) Lacroix AZ, Buist DS, Brennemann SK, Abbott TA (2005) Evaluation of three population-based strategies for fracture prevention: results of the osteoporosis population-based risk assessment (OPRA) trial. *Med Care*; 43:293-302.
- (30) Larrson L (1983) Histochemical characteristics of human skeletal muscle during aging. *Acta Physiol Scand* 117); pp. 469-471.
- (31) Liestol K (1982) Social conditions and menarcheal age, the importance of early years of life. *Ann Hum Biol*; 9: 521-37.
- (32) Minne H, Pfeifer M (2003) Evidenzbasierte Therapie der Osteoporose. *Dtsch Med Wochenschr* 128:931-934.
- (33) Minne HW, Pfeifer M (2003) Treatment of osteoporosis with regard of evidence- based medicine. *Dtsch med Wochenschr*; pp. 47-54.
- (34) Morrison LS, Tobias JH (2005) Effect of case-finding strategy of osteoporosis of bisphosphonate prescribing in primary care. *Osteoporos Int*; 16:71-7.
- (35) Nickel H (1975) Entwicklungspsychologie des Kindes- und Jugendalters. *Schulkind und Jugendlicher*. Stuttgart/Wien/Bern: Huber.
- (36) Peters KM (2007) Osteoporose. In Bischoff HP, Heisel J, Locher H (Hrsg.): *Praxis der konservativen Orthopädie*. Stuttgart, New York: Thieme; 468-77.
- (37) Podsiadlo D, BScPT Richardson S (1991), The timed “up and go”: a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *JAGS* 39; pp. 142-148.
- (38) Porter MM, Vandervoort AA, Kramer JF (1997) Eccentric peak torque of the plantar and the dorsiflexors is maintained in older women. *J Gerontol Biol Sci* 52; pp. 125-131.

- (39) R Development Core Team R (2004) A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-00-3.
- (40) Riley PO, Schenkman ML, Mann RW, Hodge WA (1991) Mechanics of a constrained chair rise. *J Biomechanics* 24; pp. 77-85.
- (41) Ringe JD (2000) Osteoporose-Dialog, Thieme Verlag.
- (42) Runge M, Schiessl H, Rittweger J (2002) Klinische Diagnostik des Regelkreises Muskel-Knochen am Unterschenkel. *Osteologie*; 11:25-37.
- (43) Runge M, Rehfeld G (2001) Mobil bleiben – Pflege bei Gehstörungen und Sturzgefahr. Schlütersche GmbH & Co. KG; pp. 51-89. (2)
- (44) Runge M, Rehfeld G (2001) Mobil bleiben – Pflege bei Gehstörungen und Sturzgefahr. Schlütersche GmbH & Co. KG; pp. 101-105. (3)
- (45) Runge M, Rehfeld G (2001) Mobil bleiben – Pflege bei Gehstörungen und Sturzgefahr. Schlütersche GmbH & Co. KG; pp. 7-50. (1)
- (46) Sands ML, Schwartz AV, Brown BW, Nevitt MC, Seeley DG, Kelsey JL (1998) Relationship of neurological function and age in older women. The study of osteoporotic fractures. *Neuroepidemiology* 17; pp. 318-329.
- (47) Scheidt-Nave C, Ziegler R, Raspe H (1998) Epidemiology of Osteoporosis. *Med Klin* 15; 93 Supp 2:7-11.
- (48) Schiessl H, Frost HM, Jee Ws (1998) Estrogen and Bone-Muscle Strength and Mass relationships. *Bone*; 22:1-6.
- (49) Schönau E, Werhahn E, Schiedermaier U, Mokow E, Schiessl H, Scheidhauer K, Michalik D (1996) Influence of muscle strength on bone strength during childhood and adolescence. *Horm Res*; 45:63-6.
- (50) Schousboe JT, Ensrud KE, Nyman JA, Melton LJ, Kane RL (2005) Universal bone densitometry screening combined with alendronate therapy for those diagnosed with osteoporosis is highly costeffective for elderly women. *J Am Geriatr Soc*; 53:1697-704.
- (51) Solomon DH, Polinski JM, Stedman M, Truppo C, Breiner L, Egan C, Jan S, Patel M, Weiss TW, Chen Y-T, Brookhart MA (2007) Improving care of patients at risk for osteoporosis: a randomized controlled trial. *J Gen Intern Med*; 22:362-7.
- (52) *Statistical Methods in Medical Research*, Armitage P, Berry G, Matthews JNS (2001) Fourth edition; 832 pages, 100 illustrations 0632052570.

- (53) Struijs A (2000) Corticosteroid-induced Osteoporosis in Daily Practice; Pathophysiology, clinical importance, prevention strategies, 1 ed, Optima Grafische Communicatie, Rotterdam.
- (54) Susanne C (1985) Living conditions and secular trend. *J Hum Evol* 14: 357-370.
- (55) Tanner JM (1999) Growth as a mirror of conditions in society. In: Lindgren GW, Hrsg. Growth as a mirror of conditions in society. Stockholm Institute of Education Press; 9-48.
- (56) Thompson, D'Arcy W (1942). Growth and Form. Cambridge University Press.
- (57) Tinetti ME (2003) Preventing falls in elderly persons. *N Engl J Med* 348 (1); pp. 42-49.
- (58) Tinetti ME, Speechley M, Ginter SF (1988) Risk factors for falls among elderly persons living in the community. *N Engl J Med* 319 (26); pp. 1701-1707.
- (59) Toledo VA, Jergas M (2006) Age-related changes in cortical bone mass: data from a German female cohort. *Eur Radiol* 16:811–817.
- (60) Tomlinson BE, Irving D (1977) The numbers of limb motor units in the human lumbosacral cord throughout life. *J Neurol Sci* 34; pp. 213-219.
- (61) Van Wieringen JC (1986) Secular growth changes. In Falkner F, Tanner JM, Hrsg: Human growth: a comprehensive treatise. Ed2. Vol.3: Methodology: Ecological, Genetics and Nutritional Effects on Growth. New York: Plenum Press; 307-31.
- (62) Vandervoort AA (2002) Aging of the human neuromuscular system. *Muscle nerve* 25; pp. 17-25.
- (63) Visser M, Newman AB, Nevitt MC, Kritchevsky SB, Stamm EB, Goodpaster BH, Harris TB (2000) for the health, aging and body composition study research group, Reexamining the sarcopenia hypothesis: muscle mass versus muscle strength. *Annals of the New York Academy of Science* 904; pp. 456- 461.
- (64) Wehren LE, Siris ES (2004) Beyond bone mineral density: can existing clinical risk assessment instruments identify women at increased risk of osteoporosis? *J Intern Med* 256:375-380.
- (65) WHO (1994) Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. Report of a WHO Study Group. WHO Technical Report Series No. 843; pp. 1-129.
- (66) Young A (1992) Strength and power. In: Evans JG, Williams TF Hrsg: Oxford Textbook of Geriatric Medicine. Oxford University Press, Oxford pp. 597-601.
- (67) Zanchetta JR, Plotkin H, Alvarez Filgueira ML (1995) Bone mass in children: normative values for the 2-20-year-old-population. *Bone*; 16:393S-399S.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Anthropometrische Daten der einzelnen Altersgruppen, angegeben als Mittelwert mit Standardabweichung.	17
Tabelle 2 - Neuromuskuläre Daten der verschiedenen Altersgruppen, angegeben als Mittelwert mit Standardabweichung (in Klammern), und in der Zeile darunter das 95%-Vertrauensintervall.....	19
Tabelle 3 - Regressionsanalysen: <u>Altersabhängigkeit der untersuchten Muskelvariablen</u> . Angegeben sind die Koeffizienten a und b der Regressionsgleichung $y = a + b \cdot \text{Alter}$, der p -Wert und der r^2 der Korrelationsanalyse, der aus der Regressionsgleichung ermittelte Erwartungswert einer 60-jährigen Studienteilnehmerin, sowie die jährliche prozentuale Änderung.	21
Tabelle 4 - Matrix der Korrelationen von Änderungen zwischen den neuromuskulären Variablen. *: $p < 0,05$, **: $p < 0,01$, ***: $p < 0,001$	22
Tabelle 5 - Regressionsanalysen: <u>Altersabhängigkeit der Knochendichte</u> . Angegeben sind die Koeffizienten a und b der Regressionsgleichung $y = a + b \cdot \text{Alter}$, der p -Wert und der r^2 der Korrelationsanalyse, der aus der Regressionsgleichung ermittelte Erwartungswert einer 60-jährigen Studienteilnehmerin, sowie die jährliche prozentuale Änderung.	24
Tabelle 6 - Matrix der Korrelationen zwischen den <u>Knochendichtewerten</u> an den verschiedenen Messorten. *** $p < 0,001$	25
Tabelle 7 - Matrix der Korrelationen zwischen neuromuskulären Tests und der Knochendichte an den verschiedenen Messorten. *: $p < 0,05$, **: $p < 0,01$, ***: $p < 0,001$	29
Tabelle 8 - Korrelationskoeffizienten der Zusammenhänge zwischen anthropometrischen Daten und den Knochendichtewerten an den verschiedenen Messorten. *: $p < 0,05$, **: $p < 0,01$, ***: $p < 0,001$	31
Tabelle 9 - Logistisches Regressionsmodell für das Vorliegen einer Osteoporose an der Hüfte. Der Exponent(B) ist die Potenz des Regressionskoeffizienten zur Basis e und stellt hier eine Art Risikoskalierung dar. Das Osteoporose Risiko erhöht sich darum, wenn der Exponent $B > 1$ war und erniedrigte sich bei einem Wert von < 1 . CI: Konfidenzintervall, BMI: Body Mass-Index, p : Wahrscheinlichkeitswert.	32
Tabelle 10 - Logistisches Regressionsmodell für das Vorliegen einer Osteoporose an der <u>Wirbelsäule</u> . Der Exponent(B) ist die Potenz des Regressionskoeffizienten zur Basis e und stellt hier eine Art Risikoskalierung dar. Das Osteoporose Risiko erhöht sich darum, wenn der Exponent $B > 1$ war und erniedrigte sich bei einem Wert von < 1 . CI: Konfidenzintervall, BMI: Body Mass-Index, p : Wahrscheinlichkeitswert.	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Beziehung zwischen der Knochendichte der Lendenwirbelsäule und dem Alter. Die Korrelationsanalyse ergab einen signifikanten linearen Zusammenhang ($p = 0,006$). ..	23
Abbildung 2 - <i>Beziehung zwischen der DXA-BMD der Lendenwirbelsäule (LWS) und der Handgriffstärke links. Die Korrelationsanalyse ergab einen signifikanten linearen Zusammenhang ($p < 0,001$).</i>	26
Abbildung 3 - <i>Beziehung zwischen der DXA-BMD der Hüfte und der Handgriffstärke links. Die Korrelationsanalyse ergab einen signifikanten linearen Zusammenhang ($p < 0,001$).</i>	27
Abbildung 4 - <i>Beziehung zwischen der DXA-BMD der Hüfte und der spezifischen Sprungleistung. Die Korrelationsanalyse ergab einen signifikanten linearen Zusammenhang. ($p < 0,001$).</i>	28
Abbildung 5 - Beziehung zwischen der DXA-BMD der Lendenwirbelsäule und dem Body Mass-Index (BMI). Die Korrelationsanalyse ergab einen signifikanten linearen Zusammenhang ($p < 0,001$).	30
Abbildung 6 - <i>Fläche unter der Kurve = 0,83. Der WHO-Expertenkommission folgend wurde die Osteoporose definiert, wenn die DXA-BMD 2,5SD oder mehr unter dem Referenzwert lag.</i>	33
Abbildung 7 - <i>Fläche unter der Kurve = 0,65. Der WHO-Expertenkommission folgend wurde die Osteoporose definiert, wenn die DXA-BMD 2,5SD oder mehr unter dem Referenzwert lag.</i>	35

Lebenslauf

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

Danksagung

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dieter Felsenberg für die Bereitstellung des Themas, die hervorragende Betreuung der Doktorarbeit und für seine Geduld.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Jörn Rittweger für die Unterstützung der statistischen Auswertung bedanken.

Ein großes Dankeschön an Daniel Belavy für die konstruktive Kritik und die hilfreichen Anmerkungen.

Ein besonderer Dank geht an meine Familie, allen voran an meine Schwester Alexandra, die mich nicht nur tatkräftig unterstützt hat, sondern mich stets aufbaute und für die erforderliche Abwechslung sorgte.

ERKLÄRUNG

Ich, Franziska Luhn, erkläre, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift mit dem Thema: Neuromuskuläres Assessment mit besonderer Betonung der spezifischen Sprungkraft im Kontext mit Knochendichtemessungen bei postmenopausalen Frauen, selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, sowie ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.

Berlin, den 12.12.2011

Franziska Luhn

