



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Der Einfluss von Milchprotein- und Aminosäuresupplementen in Kombination mit Krafttraining auf Muskelmasse, -kraft und -funktion bei älteren Personen: Eine systematische Übersichtsarbeit.“

verfasst von / submitted by

Katharina Almer, BSc, Bakk.rer.nat

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2020 / Vienna, 2020

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

UA 190 482 477

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UF Bewegung und Sport,
UF Haushaltsökonomie und Ernährung

Betreut von / Supervisor:

Assoz. Prof. Dipl. -Ing. Dr. Barbara Wessner

Eidesstaatliche Erklärung

„Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit *selbstständig verfasst habe* und nur die ausgewiesenen Hilfsmittel verwendet habe. Diese Arbeit wurde weder an einer anderen Stelle eingereicht (z. B. für andere Lehrveranstaltungen) noch von anderen Personen (z. B. Arbeiten von anderen Personen aus dem Internet) vorgelegt.“

Ort, Datum

Unterschrift

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei Assoz. Prof. Dipl. -Ing. Dr. Barbara Wessner für die Betreuung meiner Diplomarbeit bedanken. Sie hat mich in der verbleibenden kurzen Zeit, die für die Umsetzung meiner Diplomarbeit zur Verfügung stand, bestmöglich unterstützt und mir für meine Ideen den nötigen Freiraum gelassen.

Ganz besonders möchte ich meinen Eltern danken, die es aus finanzieller Sicht überhaupt möglich gemacht haben, die Vielzahl an Studien zu absolvieren. Viel wichtiger war mir in diesem Zusammenhang aber immer ihre Unterstützung, ihre Liebe und ihr unerbittliches Vertrauen in mich, dass ich den für mich richtigen Lebensweg, trotz beruflicher Krisen, finden werde. Danke, Mama und Papa.

Und letztendlich möchte ich auch noch meinem Partner Hannes danken, für die unendliche Geduld und die Unterstützung, die er mir in den letzten zweieinhalb Jahren meiner Ausbildung entgegengebracht hat. Es gibt nun mehr Zeit für gemeinsame Unternehmungen.

Zusammenfassung

Kontext: Altern ist mit einem zunehmenden Abbau der Skelettmuskulmasse, -kraft und der körperlichen Leistungsfähigkeit verbunden. Der als Sarkopenie bekannte Rückgang kann zu körperlichen Einschränkungen, schlechter Lebensqualität und zum Tod führen. Proteine und Krafttraining können unabhängig voneinander der Entstehung und dem Fortschreiten der Erkrankung entgegenwirken. Der Effekt einer kombinierten Intervention ist jedoch unklar.

Ziel: Die Wirksamkeit der kombinierten Intervention von Milchproteinen/Aminosäuresupplementen und Krafttraining auf Muskelparameter und die körperliche Leistungsfähigkeit bei älteren Menschen soll im Vergleich zu reinem Krafttraining erhoben werden.

Datenquellen: Bis zum 8. September 2019 wurde in der Online-Datenbank Pubmed eine umfangreiche Suche durchgeführt, um deutsch- oder englischsprachige (randomisiert) kontrollierte Studien zu identifizieren, die den Einfluss der kombinierten Intervention auf die körperliche Leistungsfähigkeit und/oder Muskelparameter bei älteren Personen im Vergleich zur Kontrollgruppe untersuchen.

Studienauswahl: Es wurden nur Studien einbezogen, die Daten zur Muskelmasse und/oder zur Muskelkraft und körperlichen Funktion erhoben und deren Studienpopulation aus gesunden oder sarkopenischen Probanden ab 50 Jahren bestand.

Datensynthese: Die Daten der 18 inkludierten Studien wurden mittels qualitativer Analyse beurteilt. Die Behandlung der Sarkopenie mit kombinierter Nährstoff- und Krafttrainingsintervention in zwei Studien, führte beim Großteil der Outcomes zu keinen Verbesserungen. Bei gesunden älteren Personen konnte in weniger als 50 % der inkludierten Studien eine signifikante Verbesserung der muskulären Outcomes und der körperlichen Leistungsfähigkeit festgestellt werden.

Schlussfolgerungen: Aufgrund der unterschiedlichen Protokolle zum Krafttraining und der Nährstoffzufuhr ist das Fazit aus den Ergebnisse eingeschränkt und es müssen weitere Forschungsarbeiten folgen, um den tatsächlichen Effekt einer kombinierten Nährstoff- und Krafttrainingsintervention im Vergleich zu reinem Krafttraining einschätzen zu können.

Abstract

Context: Ageing is associated with an increasing loss of muscle mass, strength and physical performance. The decline, known as sarcopenia, can lead to physical limitations, poor quality of life, and death. Proteins and strength training can counteract the development and progression of the disease. However, the effect of a combined intervention is unclear.

Objective: The effectiveness of the combined intervention of milk proteins/amino acid supplements and strength training on muscle parameters and the physical performance in older people should be compared to a pure strength training.

Data Sources: Until 8.9.2019 an extensive literature search was carried out in Pubmed to identify German or English-language studies that deal with the influence of the combined intervention on physical performance and/or muscle parameters in older people compared to a control group.

Study Selection: Only studies that collected data on muscle mass and/or muscle strength and physical function and whose study population consisted of healthy or sarcopenic subjects from the age of 50 were included.

Data Synthesis: The data from the 18 included studies were assessed using a qualitative analysis. Treatment of sarcopenia with combined nutritional and strength training intervention in two studies did not improve the majority of the outcomes. In healthy older people, less than 50 % of the studies showed a significant improvement in muscular outcomes and physical performance.

Conclusions: Due to the different protocols for strength training and nutrient supply, the results are limited. Further studies with better comparability must be done in order to assess the effect.

Inhaltsverzeichnis:

1	Vorwort	8
2	Was ist Sarkopenie?	9
2.1	Definition	9
2.2	Formen von Sarkopenie	10
2.2.1	Primäre und sekundäre Sarkopenie.....	10
2.2.2	Akute und chronische Sarkopenie	11
2.2.3	Sarkopenische Fettleibigkeit	11
2.2.4	Mangelernährungsbedingte Sarkopenie	11
2.3	Differenzierung zur Frailty (Gebrechlichkeit)	11
2.4	Ursachen & Risikofaktoren	12
2.5	Pathomechanismus/-physiologie.....	13
2.6	Diagnose	17
2.6.1	Methoden zur Bewertung der Muskelmasse, Muskelkraft und körperlichen Leistungsfähigkeit	17
2.6.2	Diagnosevorgang und -kriterien	19
3	Epidemiologie und Public Health Problematik von Sarkopenie.....	22
3.1	Das globale Altern der Gesellschaft	22
3.2	Prävalenz von Sarkopenie	23
3.3	Sarkopenie als Herausforderung des Gesundheitssystems	24
4	Pharmakologische Maßnahmen gegen den altersbedingten Muskelverlust	26
4.1	Hormonelle Maßnahmen	26
4.1.1	Androgene (Testosteron) & Androgen-Rezeptor-Modulatoren	26
4.1.2	Estradiol	27
4.1.3	Wachstumshormon (GH)	27
4.1.4	Ghrelin.....	27
4.2	Enzymatische Maßnahmen	28
4.2.1	Angiotensin-Converting-Enzym-Hemmer.....	28
4.2.2	Myostatin-Hemmer	28
4.3	Sonstige Maßnahmen: Vitamin D.....	29
5	Nichtpharmakologische Maßnahmen gegen den altersbedingten Muskelverlust	30
5.1	Protein- und Aminosäureergänzungen.....	31
5.1.1	Essentielle Aminosäuren.....	32
5.1.2	Milchproteine	33
5.2	Krafttraining	33

5.3	Krafttraining mit Protein- und Aminosäureergänzungen in Kombination.....	35
6	Fragestellung und Zielsetzung	37
7	Methode	40
7.1	Zulassungskriterien	40
7.1.1	Charakteristika der Teilnehmer/innen	40
7.1.2	Interventionsarten	40
7.1.3	Art der Kontrollgruppen	41
7.1.4	Art der Ergebnisse	41
7.1.5	Art des Studiendesigns	41
7.2	Informationsquellen und Suchstrategie	41
7.3	Studienauswahl	42
7.4	Datenerfassungsprozess.....	42
7.5	Datenelemente	42
7.6	Verzerrungspotential in einzelnen Studien.....	43
7.7	Zusammenfassende Maßnahmen.....	43
7.8	Synthese der Ergebnisse	43
8	Ergebnisse	44
8.1	Studienauswahl	44
8.2	Studienmerkmale	46
8.3	Verzerrungspotential in Studien	54
8.4	Ergebnisse einzelner Studien.....	55
8.4.1	Effekte in Bezug auf die Muskelmasse	55
8.4.2	Effekte in Bezug auf die Muskelkraft.....	56
8.4.3	Effekte in Bezug auf die körperliche Leistungsfähigkeit.....	59
9	Diskussion	69
9.1	Zusammenfassung der Beweise	69
9.2	Einschränkungen.....	70
9.3	Schlussfolgerungen.....	71
10	Literatur	73
11	Verzeichnisse	81
11.1	Abbildungsverzeichnis.....	81
11.2	Tabellenverzeichnis.....	81
11.3	Abkürzungsverzeichnis	81

1 Vorwort

Durch die Fortschritte in der Medizin sowie die verbesserten Umwelt-, Sozial- und Lebensbedingungen verlagert sich das Durchschnittsalter immer weiter nach oben. Bevölkerungsstatistiken deuten darauf hin, dass es durch die zunehmende Lebenserwartung und die rückgängigen Geburtenraten zu einer Überalterung der Gesellschaft kommen wird. Dieser steigende Anteil der älteren Bevölkerung führt jedoch zu tiefgreifenden sozialen, ökonomischen und gesundheitspolitischen Konsequenzen (Hannach et al., 2019).

Speziell altersbedingte Erkrankungen, wie der als Sarkopenie bezeichnete allgemeine und fortschreitende Verlust der Skelettmuskelmasse und -funktion wird unserer Gesellschaft immer mehr wirtschaftliche Bürden auferlegen (Cruz-Jentoft et al., 2014, zit. n. Lou et al., 2017, S. 389).

Im Jahr 2010 waren bereits mehr als 50 Millionen Menschen weltweit vom altersbedingten Syndrom betroffen. 2050 rechnet man bereits mit 200 Millionen Erkrankungsfällen weltweit. Für die medizinische Versorgung und die Langzeitpflege dieser sarkopenischen Patienten/innen müssen jährlich jedoch rund 900\$ pro Person ausgegeben werden (Hannach et al., 2019; Lou et al., 2017).

Körperliche Aktivität und Ernährung sind zwei Lebensstilfaktoren die einen wesentlichen Einfluss auf die Entstehung und die Therapie der Sarkopenie nehmen können. Bewegung und eine adäquate Nährstoffversorgung –im Speziellen mit Protein– kann der Entstehung und der Last der Erkrankung entgegenwirken. Dennoch werden diese beiden einfach zu verändernden Lebensstilfaktoren noch immer zu wenig berücksichtigt und einbezogen (Hannach et al., 2019).

Eine Vielzahl von Studien beschäftigt sich bereits entweder mit dem Einfluss von körperlicher Aktivität, im Sinne von Krafttraining oder mit dem Einfluss von Proteinen auf den altersbedingten Muskelverlust. Die Evidenz bezüglich der kombinierten Intervention ist jedoch noch eingeschränkt und es besteht weiterer Forschungsbedarf. Aufgrund dessen sollen die aktuellen Erkenntnisse zur kombinierten Intervention von Krafttraining und Proteinen in Form einer systematischen Übersichtsarbeit dargestellt werden. Zu hoffen ist unabhängig von den Ergebnissen der Arbeit, dass die so einfach zu verändernden Lebensstilfaktoren zukünftig stärker berücksichtigt werden.

Im Verlauf der Übersichtsarbeit soll daher zuerst das Krankheitsbild beschrieben, die Epidemiologie und Public Health Problematik erörtert, und präventive und therapeutische pharmakologische und nichtpharmakologische Maßnahmen aufgezeigt werden. Im Anschluss wird die Methode der Erhebung beschrieben und die Ergebnisse sowie die Schlussfolgerung aus den Studien dargestellt.

2 Was ist Sarkopenie?

Der Begriff Sarkopenie stammt aus dem Griechischen und leitet sich von sarx (Fleisch) und penia (Verlust) ab. Ursprünglich verstand man unter Sarkopenie daher den Verlust der Muskelmasse (Rosenberg, 1997; zit. n. Schaller-Bugnon, 2018, S. 28). Seit dem erstmaligen Aufkommen des Begriffs in den 1980er Jahren hat sich die Definition jedoch immer wieder verändert. Dies ist speziell auf zwei Meilensteine im Spektrum der Begriffsdefinition zurückzuführen. So wurde einerseits der Begriff Sarkopenie neben dem Verlust der Muskelmasse auch auf den Verlust der Muskelfunktion erweitert. Andererseits wurde die Sarkopenie im Jahr 2016 als eigenständige Erkrankung anerkannt. Sarkopenie wird seit diesem Zeitpunkt offiziell als Muskelkrankheit bezeichnet (Cruz-Jentoft & Sayer, 2019). Im Folgenden sollen daher die aktuellsten Definitionen diverser Arbeitsgruppen beschrieben werden.

2.1 Definition

Im Jahr 2010 veröffentlichte die Europäische Arbeitsgruppe für Sarkopenie bei älteren Menschen (EWGSOP) eine Definition für Sarkopenie, die weltweit verbreitet und vielfach anerkannt wurde. Sie definierten Sarkopenie als ein Syndrom, das durch einen fortschreitenden und allgemeinen Verlust an Skelettmuskelmasse und –kraft gekennzeichnet ist und ein Risiko für nachteilige Folgen wie körperliche Behinderung, schlechte Lebensqualität oder Tod mit sich bringt. Für die Praxis empfiehlt die EWGSOP, bei der Diagnose von Sarkopenie daher sowohl die geringe Muskelmasse als auch die geringe Muskelfunktion (in Form der Muskelkraft oder der körperlichen Leistung) heranzuziehen (Cruz-Jentoft et al., 2010).

In den fortlaufenden Jahren haben sich zahlreiche Forscher mit der Untersuchung diverser Aspekte der Sarkopenie beschäftigt und infolgedessen aktualisierte bzw. ergänzende Definitionen der Sarkopenie veröffentlicht. Speziell die bis dato kaum berücksichtigte Muskelfunktion wurde nun stärker in die Begriffsdefinition eingebunden. So haben die internationale Arbeitsgruppe für Sarkopenie und die Gesellschaft für Sarcopenia, Cachexia and Wasting Disorders (SCWD) die Krankheit im Jahr 2011 unter Verwendung von Muskelmasse und körperlicher Leistung (ohne Grenzwerte) definiert. Die SCWD verwendet den Ausdruck Sarkopenie im Zusammenhang mit eingeschränkter Mobilität. Die asiatische Arbeitsgruppe für Sarkopenie gab im Jahr 2014 die gleiche Definition wie die EWGSOP an und definierte zusätzliche Grenzwerte für Asien. Und die Stiftung des nationalen Gesundheitsinstitutes definierte die Krankheit 2014 unter Verwendung von Muskelmasse und Muskelkraft und legte wiederum diverse Grenzwerte fest. Die körperliche Leistung wurde in diesem Fall als Outcome eingebunden (Morley et

al., 2011, zit. n. Cruz-Jentoft & Sayer, 2019, S. 2637; Chen et al., 2014, zit. n. Cruz-Jentoft & Sayer, 2019, S. 2637; Studenski et al., 2014, zit. n. Cruz-Jentoft & Sayer, 2019, S. 2637).

Um die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse in Bezug auf die Sarkopenie einzubeziehen und die ursprüngliche Definition dem Stand der Forschung anzupassen, traf sich die EWGSOP 2018 erneut für die Erarbeitung einer neuen Definition. Die von der EWGSOP im Jahr 2018 (EWGSOP2) neu herausgegebene Definition der Sarkopenie wurde mit Grenzwerten aktualisiert, und die körperliche Leistungsfähigkeit wurde zur Beurteilung des Schweregrads der Erkrankung herangezogen (Cruz-Jentoft & Sayer, 2019). Die neue Definition lautet: „Sarkopenie ist eine progressive und generalisierte Erkrankung der Skelettmuskulatur, die mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit von Nebenwirkungen wie Stürzen, Brüchen, körperlichen Behinderungen und Sterblichkeit einhergeht. Sie ist die derzeit einzige Definition, die von einer Reihe von internationalen wissenschaftlichen Gesellschaften als adäquat für die klinische Praxis und die Forschung erachtet wird (Cruz-Jentoft et al., 2019).“

In der Definition von 2018 verwendet die EWGSOP2 eine geringe Muskelkraft als primären Parameter für Sarkopenie, da die Muskelkraft derzeit das zuverlässigste Maß für die Muskelfunktion ist. Sobald eine geringe Muskelkraft festgestellt wird, ist eine Sarkopenie somit wahrscheinlich. Liegt zusätzlich eine geringe Muskelmasse oder –qualität vor, wird die vermutete Diagnose bestätigt. Und bei geringer Muskelkraft, geringer Muskelquantität/-qualität und geringer körperlicher Leistungsfähigkeit wird die Erkrankung sogar als schwerwiegend beurteilt (Cruz-Jentoft et al., 2019).

2.2 Formen von Sarkopenie

Die Sarkopenie kann auf Basis diverser Faktoren (z.B.: Ursachen, Dauer, etc.) in unterschiedliche Formen unterteilt werden.

2.2.1 Primäre und sekundäre Sarkopenie

Beim Großteil der von Sarkopenie betroffenen Menschen, ist die Erkrankung auf das Altern zurückzuführen. Die altersbedingte Sarkopenie wird daher auch als primäre Sarkopenie bezeichnet. Wenn andere Faktoren als das Altern für die Entstehung der Sarkopenie verantwortlich sind, oder diese Faktoren in Kombination mit dem Altern die Erkrankung auslösen, spricht man von sekundärer Sarkopenie. So können systemische Erkrankungen (z.B.: Organversagen), körperliche Inaktivität, Malabsorption oder eine unzureichende Versorgung mit Energie oder Eiweiß das Auftreten der Sarkopenie begünstigen (Cruz-Jentoft et al., 2019).

2.2.2 Akute und chronische Sarkopenie

Die EWGSOP2 unterteilt die Sarkopenie des Weiteren in eine akute und eine chronische Form. Eine Sarkopenie, die weniger als sechs Monate dauert, wird als akuter Zustand angesehen. Eine Sarkopenie, die mindestens sechs Monate andauert, wird hingegen als chronischer Zustand bezeichnet. Die akute Sarkopenie tritt in der Regel in Verbindung mit einer akuten Erkrankung oder Verletzung auf. Die chronische Sarkopenie geht im Gegensatz dazu mit chronischen und fortschreitenden Zuständen einher und erhöht das Sterberisiko. Diese Unterteilung unterstreicht die Notwendigkeit, dass bei Personen mit erhöhtem Sarkopenierisiko periodische Untersuchungen erfolgen sollten, um zu erheben, wie schnell sich die Erkrankung entwickelt bzw. verschlechtert. Über das frühzeitige Setzen von Interventionen in dieser Situation soll die Behandlung erleichtert und das Fortschreiten der Sarkopenie verhindert oder verzögert werden (Cruz-Jentoft et al., 2019).

2.2.3 Sarkopenische Fettleibigkeit

Unter der Sarkopenischen Fettleibigkeit bzw. der Sarkopenischen Adipositas wird eine Erkrankung mit verminderter Muskelmasse in Zusammenhang mit übermäßiger Fettleibigkeit beschrieben (Prado et al., 2012 zit. n. Cruz-Jentoft et al., 2019, S. 23). Sie wird am häufigsten bei älteren Menschen beobachtet, da das Risiko und die Prävalenz der Sarkopenischen Fettleibigkeit im Alter zunimmt. Die Adipositas beeinflusst den Verlauf der Sarkopenie negativ, da die Infiltration der Muskulatur mit Fett erhöht, die körperliche Funktion vermindert und das Sterberisiko erhöht werden (Cruz-Jentoft et al., 2019).

2.2.4 Mangelernährungsbedingte Sarkopenie

Diese Form der Sarkopenie steht mit einem Mangelernährungszustand in Zusammenhang. Der Mangelernährungszustand kann auf eine geringe Nahrungsaufnahme (Hungern, Unfähigkeit zu Essen, etc.), eine verminderte Nährstoff-Bioverfügbarkeit (z.B. bei Durchfall oder Erbrechen) oder einen erhöhten Nährstoffbedarf (bei entzündlichen Erkrankungen wie Krebs oder Organversagen in Kombination mit Kachexie) zurückzuführen sein (Cruz-Jentoft et al., 2019).

2.3 Differenzierung zur Frailty (Gebrechlichkeit)

Der von Fried et al. (2001; zit. n. Cruz-Jentoft et al., 2019, S. 24) beschriebene, sarkopenieähnliche Zustand der Gebrechlichkeit zeigt eine signifikante Überlappung mit dem Erkrankungsbild der Sarkopenie.

Grundsätzlich lässt sich der Zustand der Gebrechlichkeit laut Morley et al. (2013; zit. n. Wilson et al., 2017, S. 2) folgendermaßen definieren: „Unter Frailty versteht man ein medizinisches Syndrom mit mehreren Ursachen, das durch verminderte Kraft und

Ausdauer gekennzeichnet ist und eine verringerte physiologische Funktion aufweist, die die Anfälligkeit einer Person für die Entwicklung einer erhöhten Abhängigkeit und/oder den Tod erhöht.“ Dabei wird jedoch die Beschreibung des Zustandes und der biologischen Mechanismen vernachlässigt. Zwei weitere Modelle nach Fried et al. (2001) und Rockwood et al. (2007) überbrücken diese fehlende Beschreibung. Fried und Kollegen (2001) beschreiben in diesem Zusammenhang den Frailty-Phänotyp. Dieses Modell deutet darauf hin, dass eine zunehmende Steigerung der selbst beurteilten Behinderungen mit einem steigenden Gebrechlichkeitszustand einhergeht und mit nachteiligen gesundheitlichen Folgen wie Tod, Krankenhausaufenthalt und Stürzen verbunden ist. Beim Auftreten von drei von insgesamt fünf Kriterien (unbeabsichtigter Gewichtsverlust, nach eigenen Angaben auftretende Erschöpfung, Schwäche, langsame Gehgeschwindigkeit und geringe körperliche Aktivität) wird die betroffene Person als gebrechlich diagnostiziert. Beim Vorhandensein von ein oder zwei Kriterien erfolgt die Diagnose „vorgebrechlich“.

Im Vergleich dazu beschreiben Rockwood und Kollegen (2007) Frailty als dynamischen, kontinuierlichen Prozess der Ansammlung von Defiziten und definieren aus diesem Grund den Frailty-Index. Der auffälligste Unterschied im Vergleich zur Fried-Definition von Gebrechlichkeit besteht darin, dass jede Variable als Defizit angesehen wird, solange sie mit ungünstigen gesundheitlichen Outcomes in Verbindung gebracht werden kann und mit zunehmendem Alter häufiger auftritt. Rockwood et al. (2007) zeigen damit, dass die Zeit bis zum Tod eher mit dem Gebrechlichkeitsindex als mit dem Alter korreliert.

Beide Modelle werden in der Forschung eingesetzt, wobei der Frailty-Index in der Gerontologie besser akzeptiert wird (Wilson et al., 2017).

Im klinischen Bild sowie der Pathophysiologie der Sarkopenie und der Gebrechlichkeit gibt es vielerlei Ähnlichkeiten. So zeigen beide Erscheinungen eine geringe Griffkraft, eine langsame Ganggeschwindigkeit sowie einen Gewichtsverlust. Daher wird die Sarkopenie als Teil der Gebrechlichkeit angesehen. Eine schwere Sarkopenie im Sinne der EWGSOP Diagnosekriterien wird mittels Fried-Phänotyp als vorgebrechlich definiert. Die Sarkopenie kann somit als Vorläufersyndrom oder als physische Komponente der Gebrechlichkeit angesehen werden (Wilson et al., 2017).

2.4 Ursachen & Risikofaktoren

Die Sarkopenie kann in Bezug auf ihre Ursachen in eine primäre und sekundäre Form unterteilt werden. Einer der wichtigsten prädisponierenden Faktoren für die Erscheinung beider Formen ist das Alter. Wenn keine weiteren offensichtlichen Ursachen zu beobachten sind, ist dementsprechend auf eine primäre bzw. altersbedingte Sarkopenie

zu schließen. Die primäre Sarkopenie entspricht dabei einem auf das Alter zurückzuführenden ausgeprägten Muskel- und Kraft- oder Leistungsverlust (Keller, 2017; Schaller-Bugnon, 2018). Die Krankheit begünstigende und mit dem Alterungsprozess verbundene Vorkommnisse sind in diesem Zusammenhang die Atrophie der Muskelfasern (im Speziellen der Typ II Muskelfasern), die Verringerung der motorischen Einheiten und der muskulären Stammzellen, die Abnahme der Hormonausschüttung (Wachstumshormone, Testosteron), die Zunahme von entzündungsfördernden Zytokinen, die Verminderung der mitochondrialen Funktion sowie die Einschränkung der Produktion von Botenstoffen wie dem Myokin (Schaller-Bugnon, 2018).

Für die Entstehung einer sekundären Sarkopenie kann andererseits eine Vielzahl von Ursachen verantwortlich sein. Die häufigsten zugrunde liegenden Ursachen sollen im Folgenden kurz erwähnt werden.

Die Ernährung betreffend können beispielsweise eine geringe Proteinaufnahme, eine ungenügende Energieaufnahme und ein damit in Verbindung stehender Mangel an Mikronährstoffen das Auftreten der sekundären Form der Sarkopenie begünstigen. Die Malabsorption von Nährstoffen, Magen-Darm-Erkrankungen sowie die Anorexie sind weitere Faktoren, die im Spektrum der Ernährung negative Auswirkungen bewirken können. Körperliche Inaktivität, welche sich durch einen sitzenden Lebensstil und ein niedriges Aktivitätsniveau ergeben kann oder auch die Folge von Bettruhe oder Immobilität sein kann, ist in Verbindung mit ernährungsbedingten Risikofaktoren ein weiterer Auslöser des Krankheitsbildes. Des Weiteren entstehen häufig vor allem in der Mitte des Lebensalters Erkrankungen, welche einen Einfluss auf das Auftreten der Sarkopenie haben. So wirken unter anderem folgende Erkrankungen als begünstigend: Knochen- und Gelenkerkrankungen, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Stoffwechselerkrankungen (z.B. Diabetes), chronisch obstruktive Lungenerkrankungen, Leber- und Nierenerkrankungen, neurologische Störungen, hormonelle Erkrankungen/Störungen (insbesondere Androgenmangel) oder Krebs. Letztendlich können aber auch ärztliche Maßnahmen, wie Krankenhauseinweisungen oder Medikamentenverschreibungen, die zur Drogenabhängigkeit führen, einen Auslöser für die sekundäre Form der Sarkopenie darstellen (Cruz-Jentoft & Sayer, 2019).

2.5 Pathomechanismus/-physiologie

Zu Beginn der Sarkopenie ist das Krankheitsbild durch eine Abnahme der Muskelmasse gekennzeichnet, welche auf die Abnahme der Muskelfasern, der motorischen Einheiten und der Muskelfasergröße zurückzuführen ist. Im Laufe der Zeit wird diese Erscheinung durch die Reduktion der Muskelgewebequalität ergänzt. Diese ist gekennzeichnet durch

das Ersetzen von Muskelfasern durch Fett oder Bindegewebe, Veränderungen des Muskelstoffwechsels, oxidativen Stress und die Degeneration der neuromuskulären Endplatten. Die Folge davon ist ein fortschreitender Verlust der Muskelfunktion und das Auftreten von Gebrechlichkeit (Dhillon & Hasni, 2017; Keller, 2019). Über welchen Mechanismus die beschriebenen Ursachen bzw. Risikofaktoren der Sarkopenie zu diesen Charakteristiken führen, soll nun beschrieben werden.

Die körperlichen Veränderungen während des Alterns spielen bei der Entstehung der Sarkopenie eine entscheidende Rolle. Ab dem dritten Lebensjahrzehnt kommt es bereits zu einem kontinuierlichen Abfall der Muskelkraft und körperlichen Leistungsfähigkeit, wobei dieser Prozess bis zum 50. Lebensjahr noch relativ langsam verläuft. Ab der sechsten Lebensdekade muss jedoch mit einem Verlust von bis zu 15 % pro Jahrzehnt und ab der siebenten Lebensdekade bereits mit 30 % pro Jahrzehnt gerechnet werden. Besonders betroffen sind dabei die vielfach belasteten Muskeln der unteren Extremitäten (Zatsiorsky & Kreamer, 2008, zit. n. Keller, 2019, S. 158; Keller, 2019). Insgesamt bezieht sich der Abbau der Muskulatur aber speziell auf die Muskelfasern des Typs II und deren motorische Einheiten, beziehungsweise kommt es aufgrund der reduzierten Anzahl an motorischen Einheiten und deren höherer Arbeitslast auch öfters zu einem Umbau der Typ II Fasern zu Typ I Fasern. Daneben wirkt sich auch die Denervierung der Muskelfasern negativ auf die Muskelleistung und die -kraft aus (Marty et al., 2017).

In jüngeren Lebensjahren weist der Körper außerdem eine bessere Regenerationsfähigkeit der Skelettmuskulatur auf. Dies ist mit einer besseren Funktion der Satellitenzellen, welche die Stammzellen des Muskels darstellen, verbunden. Im Vergleich zu jüngeren Personen haben alte Menschen weniger Satellitenzellen pro Muskeleinheit und können daher den Muskel nach einer Atrophie (beispielsweise als Folge einer Immobilisierung) schlechter regenerieren bzw. wieder aufbauen (Wackerhage, 2017).

Des Weiteren kommt es zu einer altersbedingten Störung der Homöostase zwischen der Proteinsynthese und dem Proteinaufbau innerhalb der Skelettmuskelzellen. Dies bewirkt einen verringerten Proteingehalt in den Muskelzellen, was insgesamt zu einem Abfall der Muskelmasse führt (Keller, 2019). Im Alter wird in diesem Zusammenhang auch oft von anaboler Resistenz gesprochen. Sie ist definiert als die Unfähigkeit des Skelettmuskels die Proteinsynthese zu stimulieren, um die Protein-/Muskelmasse aufrechtzuerhalten. Dies ist im Alter vielfach auf körperliche Inaktivität und mangelhafte Proteinversorgung zurückzuführen. Infolge einer adäquaten Versorgung mit genügend Proteinen (größere Mengen, als vergleichsweise bei Jüngeren zur Stimulation der MPS ausreichen würden) oder einer ausreichenden körperlichen Aktivität kommt es aber auch im Alter zur anabolen

Reaktion (Serafini et al., 2019). Der verringerte Proteingehalt ist jedoch nicht nur auf die verminderte Synthese von Muskelproteinen, sondern auch auf einen die Proteinbildung übersteigenden Proteinumsatz zurückzuführen. Zusätzlich begünstigt die Reduktion der oxidativen Enzyme der Mitochondrien die Abnahme der mitochondrialen Proteinsynthese und der maximalen Sauerstoffaufnahmefähigkeit. Die verminderte Anzahl an mitochondrialen Proteinen im Alter führt so zu einer deutlich verringerten Aktivität der Proteine. Die Folge davon ist ein Abfall der Oxidationskapazität und der produzierbaren Mengen an Adenosintriphosphat (ATP), welches als Energiequelle bei der Muskelkontraktion dient (Jones et al., 2009, zit. n. Keller, 2019, S. 161).

Kalzium ist im Muskel des Weiteren für die Einleitung der Muskelkontraktion zuständig. Im Alter wird das Signal für die Freisetzung von Kalzium jedoch teils gestört, wodurch eine verminderte Menge an Kalzium für die Einleitung der Muskelkontraktion bei Bewegungen zur Verfügung steht. In Folge dessen entstehen verzögerte bzw. verminderte Kontraktionsleistungen. Außerdem ist dies ein weiterer Grund für geringere (Schnell-) Kraftleistungen im Alter (Jones et al., 2009, zit. n. Keller, 2019, S. 161).

Aber auch der Hormonstatus im Alter begünstigt den Muskelabbau. Ab dem 50. Lebensjahr kommt es bei beiden Geschlechtern nämlich verstärkt zu Veränderungen des Hormonhaushaltes im Körper. Mit Beginn der Menopause (ca. zwischen dem 45. und 55. Lebensjahr) fällt der Östrogenspiegel bei Frauen ab. Im Gegensatz dazu führt die sogenannte Andropause bei Männern mittleren oder höheren Alters zu einem allgemeinen Abfall der männlichen Hormone, einschließlich des Testosterons (Zatsiorsky & Kreamer, 2008, zit. n. Keller, 2019, S. 162). Der Rückgang dieser Hormone begünstigt die Abnahme der Muskelmasse und -kraft, da speziell ein höherer Testosteronspiegel mit einer erhöhten Muskelproteinsynthese und einer verbesserten Muskelhypertrophie in Zusammenhang steht. Die Abnahme der Muskelleistung wird weiters aber auch mit der Minderung von Wachstumshormonen, dem Insulin-ähnlichen Wachstumsfaktor 1 (IGF-1) und dem Dehydroepiandrosteron, sowie einem chronischen Entzündungszustand verbunden. Bei Frauen wird des Weiteren vermutet, dass das Estradiol, eines der weiblichen Östrogene, einen Einfluss auf die Muskulatur hat, da es Satellitenzellen der Skelettmuskulatur ansteuert. Der Alterungsprozess oder Entzündungen führen zu einer Verminderung der Satellitenzellen, die ja für das Wachstum und die Regeneration der Skelettmuskulatur verantwortlich sind. Das Estradiol ist jedoch im Stande, den Entzündungszustand zu reduzieren und die Gesamtanzahl der Satellitenzellen zu stabilisieren (Morley et al., 2001, zit. n. Keller, 2019, S. 162; La Colla, 2015, zit. n. Keller, 2019, S. 162).

Ein weiteres bedeutsames Hormon für den Erhalt der Muskelmasse ist das Wachstumshormon. Den überwiegenden Teil seiner Wirkung übt das Wachstumshormon über den IGF-1 aus. Der IGF-1 ist in der Lage, über die gesteigerte Produktion von Muskelsatellitenzellen und kontraktilen Muskelproteinen die Muskelfunktion zu verbessern (Burton & Sumukadas, 2010). Die altersbedingte Abnahme von anabolen Hormonen erklärt auch die deutlich geringeren Anpassungen von älteren Personen im Vergleich zu jüngeren an Trainingsreize zum Ziel der Kraftsteigerung (Keller, 2019).

Ein weiteres Charakteristikum des Alterungsprozesses ist der allgegenwärtige geringgradige Entzündungszustand. Dieser ist mit chronisch erhöhten Spiegeln von pro-inflammatorischen Zytokinen wie Interleukin-6 (IL6) und Tumornekrosefaktor α (TNF- α) im Alter zu assoziieren (Wackerhage, 2017). Einige Hinweise deuten darauf hin, dass diese entzündungsfördernden, katabolen Zytokine die Abnahme der Skelettmuskelfunktion unterstützen (Keller, 2019).

Eine verminderte körperliche Aktivität kann in Verbindung mit dem beschriebenen Alterungsprozess ein Schlüsselfaktor für die Entwicklung der Sarkopenie sein. Immobilisierungen, die durch Krankenhausaufenthalte, Verletzungen oder Erkrankungen entstehen können, führen im Alter bereits nach kurzer Zeit zu einer Muskelatrophie, die unter anderem viel stärker ausgeprägt ist als bei jungen Menschen. Viel schwerer erscheint zusätzlich der erneute Aufbau der Muskulatur infolge einer Atrophie bei älteren Personen im Vergleich zu jüngeren. Eine der größten Herausforderungen in Zusammenhang mit gesundem Altern ist die Aufrechterhaltung eines aktiven Lebensstils, um den Kraftverlust des alternden Körpers vermindern zu können. Daher ist das Krafttraining ein bedeutendes Tool, um diesem Problem entgegenzuwirken (Keller, 2019).

Andererseits kann sich auch ein schlechter Ernährungszustand in Kombination mit dem Alterungsprozess verstärkend auf die Entstehung der Sarkopenie auswirken. Speziell eine adäquate Energie-, Protein- und Vitamin D Zufuhr hat einen wichtigen Einfluss auf den Muskelerhalt und das Muskelwachstum. Die Anorexie, die im Alter auch vermehrt über andere Grunderkrankungen entsteht, führt in diesem Zusammenhang zu einem Mangel wichtiger Nährstoffe und kann daher direkt zur Entstehung der Sarkopenie führen (Fielding, 2011, zit. n. Keller, 2019, S. 162).

Letztendlich können auch Erkrankungen zur Begünstigung der Entstehung von Sarkopenie führen. Dies steht je nach Art der Erkrankung oft mit einer Verminderung der körperlichen Aktivität oder der schlechteren Perfusion oder Versorgung der Skelettmuskulatur mit Nährstoffen in Zusammenhang (Keller, 2019).

2.6 Diagnose

Für die Diagnose der Sarkopenie müssen auf Basis unterschiedlichster Definitionen Messungen der Muskelmasse, der Muskelkraft und/oder der körperlichen Leistungsfähigkeit erfolgen. Zumindest zwei dieser Parameter werden jedoch immer für die Diagnostik herangezogen. Die EWGSOP2 deutet in ihrer Definition von 2018 beispielsweise darauf hin, dass eine niedrige Muskelkraft als primärer Parameter für die Diagnose der Sarkopenie gilt. Wie in Tabelle 1 dargestellt, erscheint die Sarkopenie bei geringer Muskelkraft wahrscheinlich. Durch das Vorhandensein einer geringen Muskelmasse oder -qualität kann die Diagnose bestätigt werden. Eine schwerwiegende Sarkopenie liegt dann vor, wenn sowohl die Muskelkraft, die Muskelmasse oder -qualität als auch die körperliche Leistungsfähigkeit vermindert sind.

Tab. 1: EWGSOP2 Diagnostische Definition der Sarkopenie

Die wahrscheinliche Sarkopenie wird durch Kriterium 1 identifiziert.
Die Diagnose wird durch die zusätzliche Dokumentation von Kriterium 2 bestätigt.
Wenn die Kriterien 1, 2 und 3 erfüllt sind, wird die Sarkopenie als schwerwiegend angesehen.
(1) Geringe Muskelkraft
(2) Geringe Muskelmasse oder Muskelqualität
(3) Geringe körperliche Leistungsfähigkeit

Quelle: mod. n. Cruz-Jentoft et al., 2019, S. 19.

2.6.1 Methoden zur Bewertung der Muskelmasse, Muskelkraft und körperlichen Leistungsfähigkeit

Die Muskelmasse kann als Gesamtkörper-Skelettmuskelmasse (SMM) oder als appendikuläre Skelettmuskelmasse angegeben werden (ASM). Teilweise wird aber auch die Muskelquerschnittsfläche bestimmter Muskelgruppen zur Beurteilung herangezogen (Cruz-Jentoft et al., 2019). Zur Messung der Muskelmasse stehen daher verschiedene Verfahren zur Verfügung. Häufig werden dazu körperlgebende Verfahren, wie die Dual-Energy-Röntgenabsorptionsmessung (DXA), die Magnetresonanztomographie (MRT) und die Computertomographie (CT), verwendet, um die Körperzusammensetzung zu messen. MRT und CT gelten dabei als Standardtests im Rahmen der Forschung, da sie zwischen Körperfett und anderen Weichteilgewebearten unterscheiden können. Als Alternative wird zu Forschungs- und klinischen Zwecken auch die DXA-Methode verwendet. Bei der DXA wird der gesamte Körper mit minimaler Strahlenbelastung gescannt, um den Körper in die Kompartimente Fett, Knochenminerale und magere Gewebemasse zu unterteilen. DXA, MRT und CT sind jedoch Methoden, die nicht

transportierbar sind und daher nicht für alle Patienten/innen in Frage kommen. Eine andere tragbare, kostengünstige und einfach anzuwendende Methode zur Erhebung der Körperzusammensetzung ist die bioelektrische Impedanzanalyse (BIA). Sie ist im Stande, den Körper in Fett, Muskelmasse und Körperwasser zu unterteilen. Das Prinzip der BIA beruht darauf, dass die magere Körpermasse den elektrischen Strom besser leiten kann als Fett. Der Widerstand, den der Körper gegen das elektrische Signal aufweist, wird als Impedanz bezeichnet. Durch unterschiedliche Frequenzen der elektrischen Signale kann zwischen den Kompartimenten unterschieden werden. Mit Werten unter fünf Kilohertz wird beispielsweise der Widerstand der extrazellulären Flüssigkeit erhoben und so auf den Anteil des entsprechenden Gewebes am Gesamtkörpergewicht geschlossen (Naseeb & Volke, 2017).

Die Erhebung der Muskelkraft kann über verschiedene Methoden erfolgen. Eine der einfachsten und kostengünstigsten Verfahren ist die Messung der Handgriffkraft mit einem standardisierten und kalibrierten Handdynamometer. Aufgrund dessen wird die Handgriffkraft zur Erhebung der Muskelkraft im Krankenhaus, im Speziellen klinischen Settings und im kommunalen Gesundheitswesen empfohlen. Wenn Einschränkungen in Bezug auf die Testung der Handgriffkraft bestehen, können auch Messungen der Kraft der unteren Extremitäten über isometrische Drehmomentmethoden erfolgen. Des Weiteren dient auch der Aufstehetest der Ermittlung der Kraft der Beinmuskulatur (Quadrizeps). Der Aufstehetest ermittelt die Zeit, die eine Person für das fünfmalige Aufstehen aus einer sitzenden Position benötigt. Aber auch die zeitgesteuerte Variante des Aufstehetests (Häufigkeit des Aufstehens in 30 Sekunden) kann als zweckmäßiges Maß für die Kraft eingesetzt werden (Cruz-Jentoft et al., 2019). Ein weiteres häufig verwendetes Kriterium zur Ermittlung der Muskelkraft ist das 1-RM. Es kann für unterschiedlichste Muskeln angewendet werden (Naseeb & Volke, 2017).

Die körperliche Leistungsfähigkeit ist ein weiterer Parameter für das Screening der Sarkopenie. Unter der körperlichen Leistungsfähigkeit versteht man die objektiv gemessene Ganzkörperfunktion, die mit der Fortbewegung in Verbindung steht. Gemessen werden kann sie unter anderem über die Ganggeschwindigkeit, die Short Physical Performance Battery (SPPB), den Time Up and Go Test (TUG) und den 400 m Gehtest. Die Erhebung der Ganggeschwindigkeit ist ein sicherer und zuverlässiger Test, der die nachteiligen Folgen (bspw. Behinderungen, kognitive Beeinträchtigungen) im Zusammenhang mit einer Sarkopenie gut vorhersagen kann. Ein häufig angewendeter Test zur Ermittlung der Ganggeschwindigkeit ist der 4 m Gehtest. Der SPPB ist des Weiteren ein aus drei Einzeltests zusammengesetztes Screening Tool. Er umfasst den 4 m Gehtest, den Aufstehetest und den Tandemtest, bei dem die Gleichgewichtsfähigkeit in

drei Positionen erhoben wird. Mittels Time Up and Go Test wird die körperliche Funktion überprüft. Dazu muss die Person bei der Testung von einem Stuhl aufstehen, sich zu einem drei Meter entfernten Punkt bewegen, zurückgehen und sich wieder auf den Stuhl setzen. Die dafür benötigte Zeit wird im Anschluss bewertet. Beim 400 m Gehtest werden letztendlich die Ausdauer und die Gehfähigkeit beurteilt. Bei diesem Test werden 20 Runden à 20 m mit maximaler Geschwindigkeit absolviert, wobei dabei bis zu zwei Pausen eingelegt werden dürfen (Cruz-Jentoft et al., 2019; Büsching, 2015; Podsiadlo et al., 1991, zit. n. Cruz-Jentoft et al., 2019, S. 21).

2.6.2 Diagnosevorgang und -kriterien

Als Leitfaden für die Diagnose der Sarkopenie schlägt die EWGSOP2 folgende Vorgehensweise (Abb.1.) vor. Wie in Abbildung 1 Schritt für Schritt dargestellt, soll als erstes der SARC-F Fragebogen von potentiell gefährdeten Personen beantwortet werden. Der SARC-F Fragebogen ist ein 5-Punkte-Fragebogen, der von den Patienten für das Screening des Sarkopenierisikos selbst durchgeführt werden kann. Die Antworten basieren darauf, ob die Person vermutet, hinsichtlich ihrer Kraft, ihrem Gehvermögen, dem Aufstehen vom Stuhl, dem Treppensteigen oder Stürzen selbst eingeschränkt zu sein. Der SARC-F ist eine kostengünstige und einfache Methode zur Feststellung des Sarkopenierisikos (Cruz-Jentoft et al., 2019). Außerdem besitzt er eine hohe Genauigkeit zur Vorhersage einer geringen Muskelkraft (Malmstrom et al., 2016, zit. n. Cruz-Jentoft et al., 2019, S. 19). Bei negativem SARC-F wird keine Sarkopenie vermutet. In diesem Fall soll von Zeit zu Zeit ein erneutes Screening mittels SARC-F erfolgen. Wenn jedoch ein positives Ergebnis beim Fragebogen vorliegt oder ein klinischer Verdacht besteht, sollte die Höhe der Muskelkraft über Testungen wie die Handgriffkraft oder den Aufstehtest ermittelt werden. Aus den Grenzwerten für Sarkopenie in Tabelle 2 geht hervor, dass die Handgriffkraft bei Männern unter 27 kg und bei Frauen unter 16 kg als ungenügend eingestuft wird.

Tab. 2: EWGSOP2 Sarkopenie Grenzwerte

Test	Grenzwerte für Männer	Grenzwerte für Frauen
EWGSOP2 Sarkopenie Grenzwerte für geringe Kraft bei der Handgriffkraft und dem Aufstehtest		
Handgriffkraft	<27 kg	<16 kg
Aufstehtest	>15 s für fünfmaliges Aufstehen	
EWGSOP2 Sarkopenie Grenzwerte für geringe Muskelmasse		
ASM	<20 kg	<15 kg
ASM/Körpergröße ²	<7,0 kg/m ²	<5,5 kg/m ²
EWGSOP2 Sarkopenie Grenzwerte für geringe körperliche Leistungsfähigkeit		
Ganggeschwindigkeit	≤0,8 m/s	
SPPB	≤8 Punkte	
TUG	≥20 s	
400 m Gehtest	Nicht erfüllt oder ≥6 min für die Ausführung	

Quelle: mod. n. Cruz-Jentoft et al., 2019, S. 24.

Beim Aufstehtest wird des Weiteren eine Dauer von mehr als fünfzehn Sekunden für das fünfmalige Aufstehen als geringfügig eingeschätzt. Beim Beobachten einer normalen Muskelkraft besteht laut dem Leitfaden der EWGSOP2 (Abb.1.) keine Gefahr für eine Sarkopenie. Von Zeit zu Zeit sollte ein erneutes Screening durchgeführt werden. Bei zu geringen Muskelkraftleistungen ist eine Sarkopenie jedoch wahrscheinlich, und es müssen weitere Tests zur Erhebung der Muskelmasse und -qualität mittels DXA, CT, MRT und BIA erfolgen. Bei normalen Testergebnissen sollten dennoch eine Ursachenerhebung für die geringen Kraftleistungen und Interventionen gestartet werden. Bei einer Muskelmasse von weniger als 20 kg bei Männern und 15 kg bei Frauen und/oder schlechter Muskelqualität ist die Sarkopenie bestätigt und benötigt zur Abklärung des Schweregrades der Erkrankung noch weitere Testungen der körperlichen Leistungsfähigkeit. Zu deren Beurteilung werden entweder die Ganggeschwindigkeit, der SPPB-Test, der TUG Test oder der 400 m Gehtest herangezogen. Im Falle von geringer Leistungsfähigkeit (in Bezug auf die Grenzwerte aus Tabelle 2) wird eine schwere Sarkopenie diagnostiziert (Cruz-Jentoft et al., 2019).

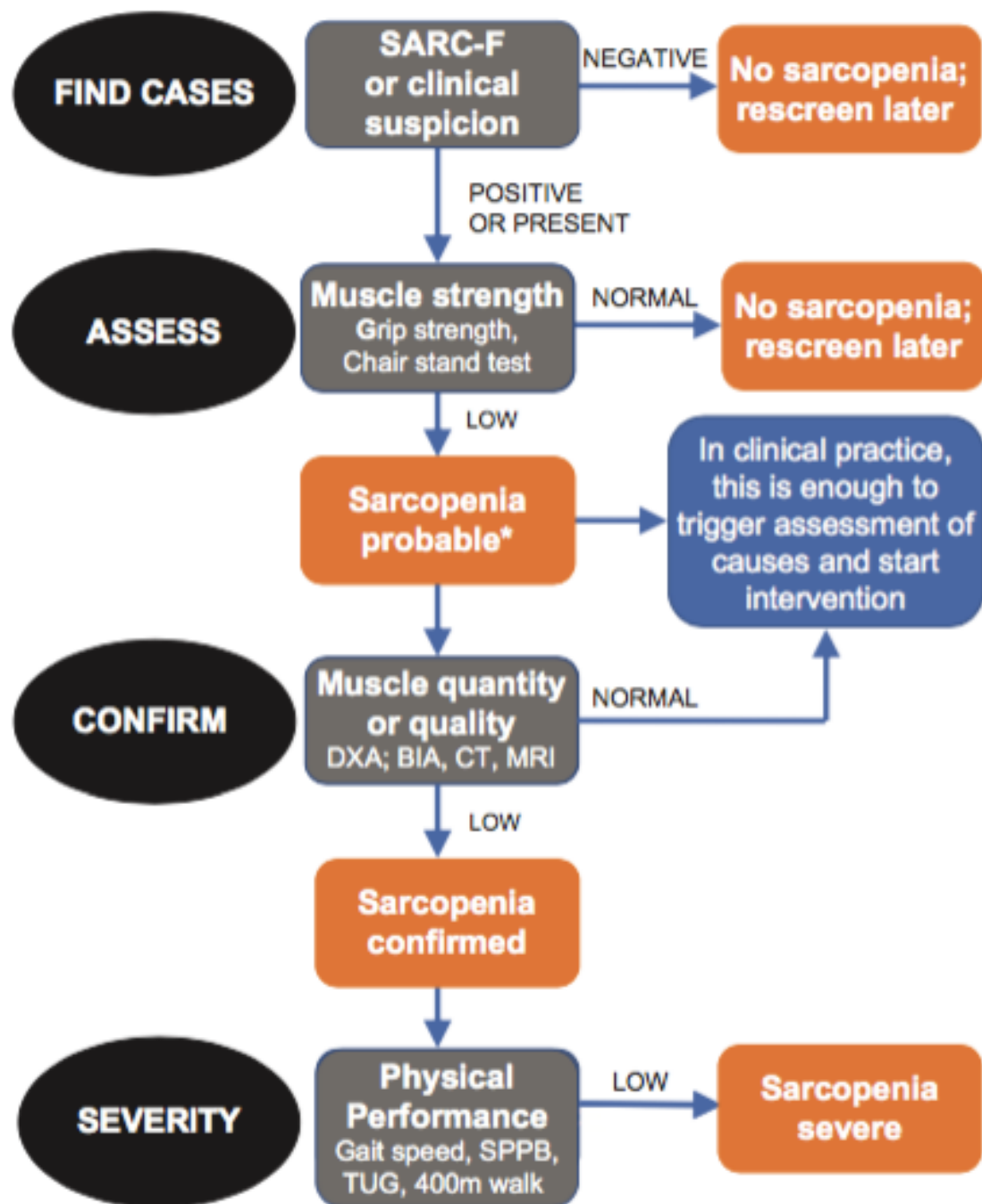


Abb.1.: EWGSOP2 Leitfaden zur Diagnose der Sarkopenie (Cruz-Jentoft et al., 2019, S. 24).

3 Epidemiologie und Public Health Problematik von Sarkopenie

3.1 Das globale Altern der Gesellschaft

Die Gesamtbevölkerung der Welt altert sehr schnell, und so hat sich die Zahl der über 60 Jährigen seit 1980 auf rund 810 Millionen Menschen verdoppelt. Bis 2050 soll die ältere Gesellschaft sogar auf rund 2 Milliarden Menschen anwachsen. Voraussichtlich werden dadurch 22 % der Weltbevölkerung älter als 60 und 5 % älter als 80 Jahre sein (Tieland, Trouwborst & Clark, 2018). Zwischen den einzelnen Ländern und Kontinenten sind jedoch große Unterschiede zu beobachten. In Japan war 2013 bereits knapp ein Drittel der Bevölkerung über 60 Jahre (Abb.2). In Europa lag dieser Prozentsatz mit 21 % und in den USA mit 20 % jedoch leicht darunter. Den geringsten Anteil an älteren Personen über 60 Jahren weist Afrika in Bezug auf seine Gesamtbevölkerung auf. Auch wenn diese Zahlen auf ein größeres Problem des Alterns in den Industriestaaten hinweisen, sind auch Entwicklungsländer nicht vor den Bürden und Folgen des Alterns bewahrt.

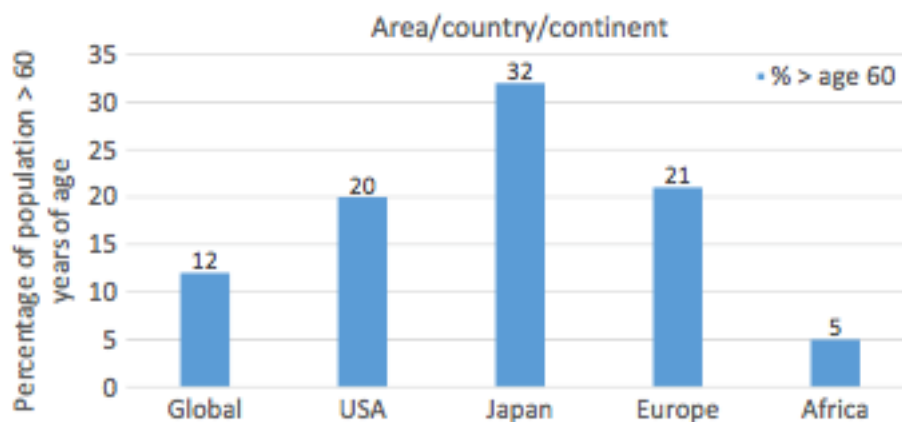


Abb.2.: Prozentsatz der über 60 Jährigen auf verschiedenen Flächen, Kontinenten oder in Ländern aus dem Jahr 2013 (WHO, 2015, zit.n. Kanasi, Ayilavarapu & Jones, 2016, S. 14)

Mit dem steigenden Alter unserer Gesellschaft steht abgesehen von erhöhter Morbidität und Mortalität auch der Anstieg von körperlichen Einschränkungen in Zusammenhang. Bereits 42 % der über 60-jährigen Personen aus westlichen Gesellschaften beschreiben Schwierigkeiten bei der Ausübung alltäglicher Tätigkeiten. Mehr als 30 % dieser Altersgruppe sind des Weiteren mit körperlichen Behinderungen konfrontiert, die unter anderem auch das Sturzrisiko, Institutionalisierungen, Komorbiditäten und den vorzeitigen Tod begünstigen. Die erhöhte altersbedingte Prävalenz von körperlichen Behinderungen steigert den Bedarf und die Kosten unseres Gesundheitssystems. Die Vorbeugung oder Behandlung von körperlichen Einschränkungen bzw. Behinderungen ist für die Reduktion der Kosten des Gesundheitssystems sowie für das gesunde Altern daher von wesentlicher Bedeutung. Es gibt zahlreiche Faktoren, die diese körperlichen

Einschränkungen im Alter begünstigen. Einer der wichtigsten Faktoren ist jedoch die altersbedingte Reduktion der Muskelmasse und -funktion (Tieland, Trouwborst & Clark, 2018).

3.2 Prävalenz von Sarkopenie

Die Prävalenz der Sarkopenie ist aktuell schwer einzuschätzen, da einerseits noch sehr unterschiedliche Definitionen der Erkrankung herrschen und dementsprechend mehr oder weniger Personen diagnostiziert werden. Andererseits hängt die Höhe der Prävalenz auch maßgeblich von der untersuchten Bevölkerungsgruppe ab. So weisen bspw. in Pflegeheimen lebende Personen eine höhere Prävalenz auf. Um verlässliche Daten zur Häufigkeit der Sarkopenie liefern zu können und damit politische Entscheidungsträger des öffentlichen Gesundheitssystems auf die Notwendigkeit der Investition in Präventionsmaßnahmen aufmerksam zu machen, haben Ethgen et al. (2017) versucht, mittels mathematischer Berechnung (Interpolation) die aktuellen und zukünftigen Häufigkeiten einzuschätzen. Mit Hilfe der Prävalenzdaten einer Studie von Beaudart et al. (2014) und den alters- und geschlechtsspezifischen Bevölkerungsprojektionen der Eurostat-Online-Datenbank wurde auf Basis der EWGSOP Definition die Häufigkeit der Sarkopenie bei den 65- bis 100-jährigen Personen ermittelt. Unter Verwendung der EWGSOP Definition mit den niedrigsten Prävalenzschätzungen lag die Anzahl der Personen mit Sarkopenie in Europa 2016 bei 10 869 527 und wird auf eine Anzahl von 18 735 173 Personen im Jahr 2045 ansteigen, was eine Zunahme von 72,4 % bedeutet. Dies spiegelt eine allgemeine Prävalenz von 11,1 % im Jahr 2016, sowie eine von 12,9 % im Jahr 2045 für Sarkopenie bei älteren Menschen wieder. Unter Verwendung der höchsten Prävalenzschätzungen im Rahmen der EWGSOP Definition lag die Anzahl der von Sarkopenie betroffenen Personen in Europa 2016 bei 19 740 527 und wird auf 32 338 990 im Jahr 2045 ansteigen. Dies deutet auf eine Prävalenzrate von 20,2 % (2016) bzw. 22,3 % (2045) hin. Im Geschlechterunterschied konnte spannenderweise festgestellt werden, dass Frauen in den Jahren 2016-2045 weniger als die Hälfte der Sarkopeniefälle beim Modell mit der niedrigsten Prävalenzschätzung ausmachen werden (41,9-44,2 %). Über das Modell mit den höchsten Prävalenzschätzungen würden hingegen in den Jahren 2016-2045 64-66,4 % der Betroffenen Frauen darstellen (Abb.3) (Ethgen et al., 2017; Beaudart et al., 2014).

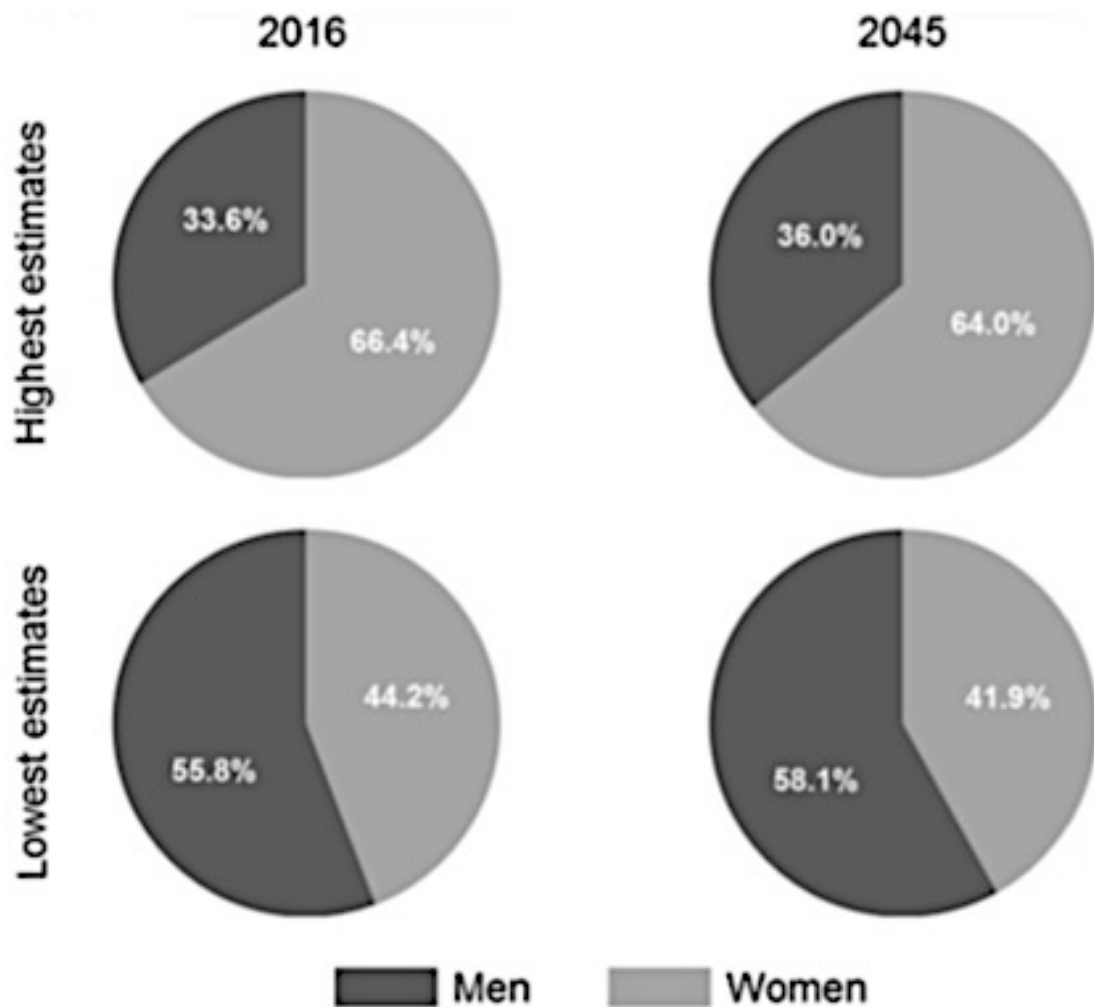


Abb.3.: Verteilung der Sarkopeniefälle auf Frauen und Männer in den Jahren 2016 und 2045 in Bezug auf die höchsten und niedrigsten Prävalenzschätzungen (Ethgen et al., 2017, S. 232).

So oder so weisen diese Zahlen auf eine dramatische Zunahme der Sarkopenie in den nächsten 30 Jahren hin und verdeutlichen die Problematik der Folgen des Muskelschwundes für das öffentliche Gesundheitssystem (Ethgen et al., 2017).

3.3 Sarkopenie als Herausforderung des Gesundheitssystems

Die drastische Zunahme der von Sarkopenie betroffenen Patienten in den kommenden Jahren stellt das öffentliche Gesundheitssystem vor eine schwierige Aufgabe. Da die Muskelerkrankung unbehandelt eine hohe soziale, wirtschaftliche und persönliche Belastung darstellt, ist eine Versorgung der betroffenen Menschen unabdingbar. Die Folgen der Sarkopenie, wie ein erhöhtes Sturz- und Frakturrisiko, Beeinträchtigungen von Tätigkeiten des alltäglichen Lebens, diverse Begleiterkrankungen und kognitive Beeinträchtigungen, Mobilitätsstörungen und der Verlust der Lebensqualität, tragen zum

Verlust der Unabhängigkeit und zur Notwendigkeit der Langzeitpflege bei. Aus finanzieller Sicht ist die Sarkopenie eine kostspielige Angelegenheit für das Gesundheitssystem, da die Krankenhausaufenthalte steigen. Somit stellen die Kosten für die Pflege während der Krankenhausaufenthalte und während der Langzeitpflege eine große Bürde für die öffentliche Gesundheit dar. Bei älteren Erwachsenen, die in ein Krankenhaus eingeliefert wurden, waren die Kosten bei bestehender Sarkopenie beispielsweise fünfmal höher als ohne Sarkopenie (Cruz-Jentoft et al., 2019; Antunes et al., 2017, zit. n. Cruz-Jentoft et al., 2019, S. 17). In einer weiteren Studie, die in einem Krankenhaus in Porto an 656 hospitalisierten Patienten im Alter ab 18 Jahren durchgeführt wurde, konnte beobachtet werden, dass die Krankenhauskosten bei den über 65-jährigen sarkopenischen Patienten um 1240€ höher waren als im Vergleich zu nicht sarkopenischen Patienten. Für die Patienten mit Sarkopenie ab 65 Jahren stiegen die Krankenhauskosten hingegen lediglich um 721€ an (Sousa et al., 2016). Ähnliche Beobachtungen wurden auch in Amerika gemacht, wo man die jährlichen Gesundheitskosten pro Person in Bezug auf die Behandlung der Sarkopenie auf ca. 900 Dollar schätzt (Hanach, McCullough & Avery, 2019). Im Jahr 2000 ergaben sich dadurch beispielsweise in Amerika Kosten von 18,5 Milliarden USD. Um diese hohen Gesundheitskosten eindämmen zu können, muss von politischen Entscheidungsträgern in Zukunft über eine Finanzierung von Präventionsmaßnahmen nachgedacht werden (Ethgen et al., 2017).

4 Pharmakologische Maßnahmen gegen den altersbedingten Muskelverlust

Aufgrund der hohen Anzahl an sarkopenischen älteren Erwachsenen wird immer intensiver nach präventiven sowie therapeutischen Maßnahmen zur Reduktion der Erkrankungsfälle bzw. der Krankheitslast geforscht. Die Behandlung von Sarkopenie mit pharmakologischen Maßnahmen ist derzeit jedoch noch nicht zur Gänze evidenzbasiert. Pharmaka können daher in ausgewählten Fällen hilfreich sein, sollen aber nicht pauschal für alle sarkopenischen Patienten zum Einsatz kommen. Pharmakologische Maßnahmen, die einen potentiellen positiven Effekt auf die Sarkopenie zeigen, sollen im Folgenden beschrieben werden.

4.1 Hormonelle Maßnahmen

4.1.1 Androgene (Testosteron) & Androgen-Rezeptor-Modulatoren

Eine Vielzahl von Belegen deutet darauf hin, dass die Substitution von androgenen Hormonen wie Testosteron zu einer Steigerung der Muskelmasse und der Muskelkraft führt. Testosteron hat eine stark anabole Wirkung auf den Bewegungsapparat, welche eine dosisabhängige Hypertrophie der Muskelfasern bewirkt. Während die Aufnahme von Testosteron im Sport aufgrund der Leistungssteigerung verboten ist, könnte es eine Möglichkeit sein, um im Rahmen der Sarkopenie die Muskelatrophie zu reduzieren bzw. den Muskelaufbau zu unterstützen (Keller, 2019). Fitts et al. (2015) können in diesem Zusammenhang im Rahmen einer Testosterontherapie bei 61- bis 70-jährigen Männern eine Steigerung der Anzahl und der Dicke der Muskelfasern feststellen. Unglücklicherweise ist die Behandlung mit Testosteron jedoch mit schwerwiegenden Nebenwirkungen, wie Prostatakrebs, allergischen Reaktionen, Flüssigkeitsretentionen, Appetitverlust, Schlafapnoe, Übelkeit, Depressionen und Stimmungsschwankungen, verbunden. Daher gibt es zur Bekämpfung der Sarkopenie keine eindeutige Indikation für die Gabe von Testosteron (Burton & Sumukadas, 2010; Keller, 2019).

Um die Nebenwirkungen umgehen zu können wurden zu diesem Zweck nichtsteroidale selektive Androgenrezeptor-Modulatoren entwickelt. Sie führen zu einer direkten Zunahme der Muskelmasse. Ob ein weiterer Effekt auf die Muskelfunktion und die körperliche Leistungsfähigkeit zu erwarten ist, konnte noch nicht eindeutig geklärt werden. Für einen gezielten Einsatz dieser Androgen-Rezeptor-Modulatoren zur Therapie der Sarkopenie müssen jedoch noch weitere Studien zur Überprüfung der positiven und negativen Effekte erfolgen (Marty et al., 2017).

4.1.2 Estradiol

Nach den Wechseljahren verringert sich die Konzentration des zirkulierenden Estradiols, welches einen Einfluss auf die Anzahl der Satellitenzellen in der Skelettmuskulatur hat. Die damit in Zusammenhang stehende Regenerationsfähigkeit der Muskulatur wird bei niedrigeren Estradiolkonzentrationen eingeschränkt (Wackerhage, 2017). Obwohl der Verlust der Muskelmasse bei älteren Frauen durch die Hormonersatztherapie mit Östrogenen verringert werden kann, konnten nur wenige Vorteile für die Muskelzusammensetzung und die Muskelleistung festgestellt werden. Krafttraining kann in Kombination mit einer Östrogenersatztherapie die Kraft der unteren Extremitäten verbessern, die Evidenz dafür ist jedoch schwach. Aufgrund mangelnder Evidenz und zusätzlicher Nebenwirkungen, wie dem erhöhten Brustkrebsrisiko, wird die Östrogenersatztherapie als Primärtherapie der Sarkopenie aktuell nicht empfohlen (Keller, 2019; Burton & Sumukadas, 2010).

4.1.3 Wachstumshormon (GH)

Das Wachstumshormon ist ein wichtiges Hormon für den Muskelerhalt, da es die Proteinsynthese stimuliert. Dadurch kommt es zur Steigerung der Muskelmasse und Muskelkraft. Das GH stimuliert des Weiteren Sexualhormone, und erhöht deren anabole Wirkung als Folge. Daher stand die Vermutung nahe, dass durch die Aufnahme des Wachstumshormons in Kombination mit Krafttraining bei älteren Menschen womöglich ein verstärkter Effekt auf die Muskulatur erzielt werden könnte. Die Ergebnisse aus Studien sind jedoch enttäuschend, da der Effekt der kombinierten Therapie den Effekt eines reinen Krafttrainings kaum merklich übersteigt. Darüber hinaus führt die Supplementierung mit GH zu unerwünschten Nebenwirkungen, wie Flüssigkeitsretentionen, Gelenksschwellungen oder –schmerzen, orthostatischer Hypotonie, erhöhtem Diabetesrisiko und Karpaltunnelsyndrom. Aus diesen Gründen wird auch die GH-Supplementierung zur Behandlung der Sarkopenie derzeit nicht empfohlen (Keller, 2019; Burton & Sumukadas, 2010).

4.1.4 Ghrelin

Ghrelin ist ein Peptidhormon, das eine wichtige Rolle in verschiedenen physiologischen Situationen einnimmt. Ghrelin stimuliert beispielsweise die Ausschüttung des Wachstumshormons und reguliert den Appetit. Wegen seiner kombinierten anabolen Wirkung auf den Skelettmuskel und den Appetit wird das Ghrelin als attraktive Behandlungsmethode für die Kachexie angesehen. In diesem Zusammenhang beschäftigen sich derzeit einige Tier- und Humanstudien mit dem Effekt eines Ghrelinrezeptoragonisten (Anamorelin) auf den Appetit und die Muskelmasse bzw. -kraft

(Marty et al., 2017; Sakuma & Yamaguchi, 2018). Da die klinischen Wirkungen noch heterogen sind, müssen weitere Studien erfolgen, um die Ghrelingabe als anerkannte Behandlungsmethode für die Kachexie ansehen zu können. Über eine bessere Evidenz der klinischen Outcomes könnten Ghrelin oder Ghrelinrezeptoragonisten auch für die Behandlung der Sarkopenie interessant werden (Arnold et al., 2013, zit. n. Sakuma & Yamaguchi, 2018, S. 453).

4.2 Enzymatische Maßnahmen

4.2.1 Angiotensin-Converting-Enzym-Hemmer

Angiotensin-Converting-Enzym-Hemmer (ACE-Hemmer) werden schon seit langem zur Behandlung von Herz-Kreislaufkrankungen eingesetzt. Des Weiteren wird ein positiver Einfluss der ACE-Hemmer auf die Skelettmuskulatur vermutet, da die Durchblutung der Skelettmuskulatur über die Verbesserung der Endothelfunktion, der Stoffwechselfunktion, der entzündungshemmenden Wirkungen und der Angiogenese gesteigert werden kann. Außerdem erhöhen ACE-Hemmer die Anzahl der Mitochondrien und die Spiegel des insulinähnlichen Wachstumsfaktors I (Maggio et al., 2006, zit. n. Sakuma & Yamaguchi, 2018, S. 452). Dadurch könnte auch dem Krankheitsbild der Sarkopenie entgegengewirkt werden. Die Gabe von ACE-Hemmern führt bereits in mehreren Studien an älteren Personen zur Steigerung der Muskelkraft und zur Verbesserung der Muskelfunktion (Keller, 2019). So beobachteten Burton & Sumukadas (2010) in ihrer Studie an älteren Menschen, dass die Langzeitanwendung von ACE-Hemmern zu einer geringeren Abnahme der Muskelkraft und der Gehgeschwindigkeit führt. Um ACE-Hemmer zur Primärbehandlung von Sarkopenie empfehlen zu können, sind jedoch weitere Nachweise erforderlich. Speziell bei sarkopenischen Patienten mit zusätzlichen Herz-Kreislaufkrankungen könnte die Aufnahme von ACE-Hemmern zu einem synergistischen Effekt führen (Burton & Sumukadas, 2010).

4.2.2 Myostatin-Hemmer

Myostatin ist ein Protein, das in den Skelettmuskelzellen vermehrt gebildet wird, um das übermäßige Muskelwachstum zu unterdrücken. Erhöhte Myostatinspiegel begünstigen daher den Muskelschwund (Sakuma & Yamaguchi, 2012). Um der altersbedingten Muskelatrophie bei Sarkopenie und anderen Muskelerkrankungen entgegenwirken zu können, beschäftigen sich viele Forscher mit der Blockierung bzw. der Abschwächung des Myostatins. Durch die Blockade des Myostatins verbessert sich nämlich die Muskelproteinsynthese. Neben zahlreichen Tierstudien können Becker et. al. (2015) in einer Humanstudie an über 75-jährigen Personen über die Injektion eines Myostatin Antikörpers über 24 Wochen eine Steigerung der appendikulären Magermasse und der

körperlichen Leistungsfähigkeit beobachten. In einer weiteren Studie an Frauen, welche die Menopause bereits hinter sich haben, wird ein fehlerhafter Myostatinrezeptor verabreicht. Dies führt zu einem signifikanten Anstieg der Muskelmasse und des Oberschenkelmuskelvolumens bei den untersuchten Frauen (Attie et al., 2013). Diese Ergebnisse verdeutlichen das therapeutische Potenzial der Hemmung von Myostatin zur Behandlung von Sarkopenie (Sakuma & Yamaguchi, 2018).

4.3 Sonstige Maßnahmen: Vitamin D

Weltweit leiden ca. eine Milliarde Menschen an Vitamin D Mangel. Besonders betroffen sind ältere Personen, und dementsprechend konnte bei Personen über 65 Jahren eine Prävalenz von ca. 50 % festgestellt werden. Vitamin D hat neben der Regulation des Knochenstoffwechsels auch einen Einfluss auf die Skelettmuskulatur. Ein langfristiger Vitamin D Mangel ist daher mit einer gravierenden Muskelschwäche verbunden. Über die Supplementierung von Vitamin D, kann bei Pflegeheimbewohnern mit niedrigen Vitamin D Spiegel n beispielsweise die Muskelkraft und -leistung erhöht und das Sturzrisiko verringert werden. Die Behandlung von Sarkopenie mit Vitamin D scheint jedoch nur bei niedrigen Vitamin D Spiegel n zu einem Erfolg zu führen (Annweiler et al., 2009, zit. n. Sakuma & Yamaguchi, 2018, S. 453; Wicherts et al., 2007, zit. n. Sakuma & Yamaguchi, 2018, S. 453).

5 Nichtpharmakologische Maßnahmen gegen den altersbedingten Muskelverlust

Aufgrund der wenig zufriedenstellenden Evidenz bei der Prävention und Therapie der Sarkopenie mit Pharmaka liegt das Forschungsinteresse auch sehr stark bei nichtpharmakologischen Maßnahmen. Dies resultiert auch daraus, dass nichtpharmakologische Maßnahmen, wie die Proteinzufuhr und die körperliche Bewegung, womöglich einen Einfluss auf die Entstehung der Erkrankung haben könnten. Hinweise deuten darauf hin, dass die Alterung mit einer beeinträchtigten Aktivierung des Signalweges von Rapamycin-Komplex 1 (mTORC1) verbunden ist. Der mTORC1 Signalweg ist jedoch wichtig für die Einleitung der Boten-Ribonukleinsäure Translation (mRNA-Translation), die wiederum eine Rolle bei der myofibrillären Proteinsynthese und der Muskelhypertrophie spielt. Der Rapamycin-Komplex 1 kann über verschiedene Faktoren aktiviert werden. Zu diesen Faktoren zählen unter anderem die Aminosäuren (im Speziellen das Leucin) und die Bewegung. Abbildung 4 verdeutlicht, dass Aminosäuren und körperliche Bewegung unabhängig voneinander den mTORC1 Signalweg aktivieren können (Naseeb & Volpe, 2017).

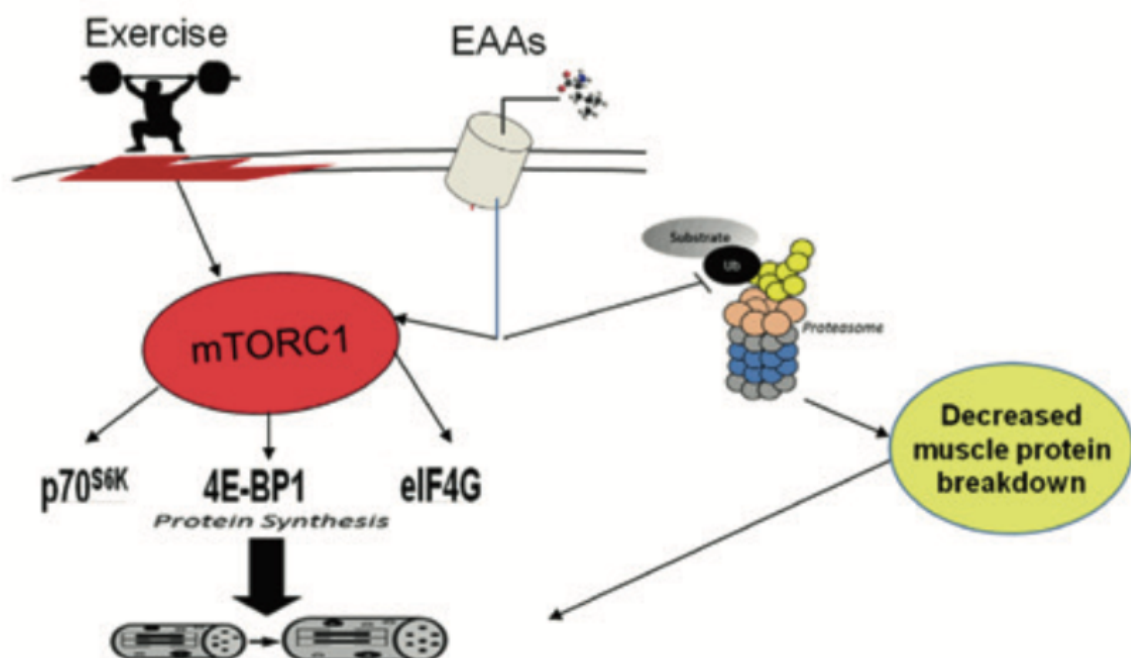


Abb.4.: Der Mechanismus des mTORC1 Signalweges im menschlichen Skelettmuskel (Serafini et al., 2019, S. 56),

Der Rapamycin-Komplex 1 leitet infolgedessen die Phosphorylierung der p70 ribosomalen Protein S6 Kinase (p70S6K) und des eukaryotischen Translationsinitiationsfaktors 4E-Bindungsprotein-1 (4E-BP1) ein. Daraufhin bildet ein Teil der phosphorylierten 4E-Bindungsprotein-1 gemeinsam mit dem eukaryotischen Translationsinitiationsfaktor 4G (eIF4G) einen Komplex, der die Proteintranslation initiiert bzw. verstärkt und somit auch zu einer Steigerung der Muskelproteinsynthese führt. Zusätzlich bewirkt die Aufnahme von essentiellen Aminosäuren, insbesondere Leucin, die Hemmung des Proteasoms. Der Muskelproteinabbau innerhalb der Skelettmuskelzelle wird dadurch reduziert (Serafini et al., 2019; Naseeb & Volpe, 2017).

Eine adäquate Proteinzufuhr und ausreichend körperliche Bewegung sind daher für die Aktivierung des mTORC1 Signalweges und folglich für die Stimulierung der MPS und der Aufrechterhaltung der Muskelmasse und -kraft wichtig (Makanae & Fujita, 2015, zit. n. Naseeb & Volpe, 2017, S. 16).

5.1 Protein- und Aminosäureergänzungen

Physiologische, psychologische und soziale Faktoren begünstigen die zunehmende Abnahme der Nahrungsaufnahme im Alter, da sie den Appetit, den Zugang zu Nahrungsmitteln und deren Zubereitung beeinflussen. Und obwohl auch der durchschnittliche Energiebedarf zwischen dem 40. und 70. Lebensjahr um 25 % sinkt, sind Mangelernährungszustände im Alter nicht selten (Serafini et al., 2019). Proteine und Aminosäuren sind jedoch der wichtigste anabole Stimulus für die Skelettmuskulatur, und so kann eine inadäquate Versorgung mit Eiweiß die Entstehung und den Krankheitsverlauf der Sarkopenie begünstigen. Aus diesen Gründen gibt es immer wieder Diskussionen darüber, wie hoch der Proteinbedarf von älteren Erwachsenen bzw. von Patienten mit Sarkopenie sein sollte. Im deutschen Sprachraum wird entsprechend der DACH Referenzwerte ab 65 Jahren eine Zufuhr von 1 g Eiweiß pro Kilogramm Körpergewicht pro Tag empfohlen (DGE, ÖGE & SGE, 2017). Tieland und Kollegen (2012) beschreiben in ihrer Studie außerdem, dass 1-1,2 g Eiweiß pro Kilogramm (kg) Körpergewicht (KG) pro Tag im Vergleich zu 0,8 g Eiweiß pro kg KG/Tag den Verlust der fettfreien, appendikulären Körpermasse im Laufe der Zeit mildern können, ohne die Nierenfunktion dabei negativ zu beeinflussen. Die Gesellschaft für Sarcopenia, Cachexia and Wasting Disorders empfiehlt für die Prävention bzw. die Behandlung der Sarkopenie des Weiteren 1-1,5 g Protein pro kg Körpergewicht pro Tag, sowie die Aufnahme von mit Leucin angereicherten essentiellen Aminosäuren in der Nahrung (Morley et al., 2010, zit. n. Naseeb & Volpe, 2017, S. 6). Die erhöhten Zufuhrempfehlungen für ältere Menschen (die DGE empfiehlt für Erwachsene unter 65 Jahren 0,8 g Eiweiß pro kg KG/Tag) sind mit

der abgeschwächten anabolen Reaktion auf das Nahrungseiweiß im Alter zu assoziieren (Naseeb & Volpe, 2017).

Aus diesen Gründen beschäftigen sich bereits viele Studien mit dem Einfluss von Protein- und Aminosäureergänzungen zur Prävention und Behandlung der Sarkopenie.

5.1.1 Essentielle Aminosäuren

Aminosäuren sind ein wichtiger anaboler Stimulus für die Skelettmuskulatur. In einer Studie offenbart sich, dass die anabole Wirkung der Aminosäuren auf die Muskelproteine hauptsächlich auf essentielle Aminosäuren zurückzuführen ist. Die verzweigtkettigen Aminosäuren sind bekanntermaßen jene essentiellen Aminosäuren, die am stärksten an der Stimulation der Muskelproteinsynthese beteiligt sind. Insbesondere Leucin kann über die Aktivierung des Signalweges des mTORC1 die Muskelproteinsynthese begünstigen (Makanae & Fujita, 2015; Volpi et al., 2003, zit. n. Makanae & Fujita, 2015, S. 125).

In mehreren Studien kann nach der oralen oder intravenösen Gabe von Aminosäuremischungen bei Erwachsenen und älteren Menschen ein starker Anstieg der Muskelproteinsynthese (MPS) und ein Abfall der Proteinumsatzrate beobachtet werden. Diese Ergebnisse verdeutlichen die Bedeutung der Aminosäureaufnahme. Es scheint jedoch einen Schwellenwert für die Stimulierung der MPS zu geben, der unter anderem durch den Alterungsprozess und Entzündungen erhöht wird. Speziell Proteinergänzungen mit essentiellen Aminosäuren zeigen in diesem Zusammenhang eine Wirkung auf die Muskelproteinsynthese (Serafini et al., 2019). So wird beispielsweise in einer Studie von Volpi und Kollegen (2003, zit. n. Serafini et al., 2019, S. 55) ein Supplement mit rein essentiellen Aminosäuren mit einem Supplement mit einer Mischung aus essentiellen und nichtessentiellen Aminosäuren verglichen. Die Forscher kommen zu dem Schluss, dass die essentiellen Aminosäuren für die Stimulation der Muskelproteinsynthese verantwortlich sind. In einer italienischen Studie wird des Weiteren der Effekt eines Supplements aus rein essentiellen Aminosäuren getestet. Über eine zweimalige Dosis von 4 g pro Tag kann eine signifikante Steigerung der Griffkraft bei älteren Menschen und eine signifikante Zunahme der Muskelmasse bei sarkopenischen Personen erhoben werden (Landi et al., 2010, zit. n. Serafini et al., 2019).

Jüngste Studien deuten darauf hin, dass die essentielle Aminosäure Leucin im Alleingang, ohne Kombination mit anderen essentiellen Aminosäuren, bei älteren Menschen eine vorteilhafte und schützende Rolle hinsichtlich der Muskelmasse und -funktion spielt, indem sie die MPS stimuliert (Serafini et al., 2019). Leucin wird daher als geeigneter Wirkstoff für die Vorbeugung und die Behandlung der Sarkopenie angesehen (Serafini et al., 2019).

5.1.2 Milchproteine

Milchproteine, die in Form von Milchprodukten oder Supplementen aufgenommen werden, sind gute Quellen für hochwertiges Eiweiß. Molkenprotein und Kasein, welche beide zu den Milchproteinen zählen, enthalten nämlich alle essentiellen Aminosäuren. Des Weiteren müssen Milchprodukte und Supplemente auf Basis von Milchproteinen, im Vergleich zu andere Proteinquellen wie Fisch, Fleisch oder Eiern, nicht oder nur minimal zubereitet werden und sind daher eine leicht zugängliche Proteinquelle (Hidayat et al., 2018, zit. n. Hanach, McCullough & Avery, 2019, S. 60). Aus diesen Gründen wird vermutet, dass Milchproteine auch im Rahmen der Vorbeugung und der Behandlung der Sarkopenie eine Rolle spielen könnten. Hanach, McCullough & Avery (2019) bestätigen dies in ihrem systematischen Review über den Effekt von Milchproteinen auf die Muskelmasse, die Muskelkraft und die körperliche Leistungsfähigkeit bei Personen mit oder ohne Sarkopenie. So deuten die Ergebnisse darauf hin, dass 14-40 g Milchprotein pro Tag die appendikuläre Muskelmasse bei Erwachsenen mittleren und höheren Alters signifikant steigern kann. Dabei kann jedoch kein signifikanter Effekt hinsichtlich der Muskelkraft oder der körperlichen Leistungsfähigkeit beobachtet werden.

Um zielgerichtete Verzehrempfehlungen von Milchproteinen im Umgang mit Sarkopenie geben zu können, müssen weitere randomisiert kontrollierte Studien folgen (Hanach, McCullough & Avery, 2019).

Zusammenfassend kann man daraus schließen, dass die Zufuhr von Aminosäure- oder Proteinpräparaten als adäquate Präventions- und Behandlungsstrategie im Rahmen der Sarkopenie angesehen wird, es aber noch keine eindeutige Übereinstimmung darüber gibt, welche Proteinquellen und -mengen am günstigsten sind. Dies ist vermutlich auch auf den differenten Eiweißstatus der einzelnen Probanden und Probandinnen zurückzuführen. Daher sind weitere qualitativ hochwertige Studien notwendig, um ein optimales Nährstoffaufnahmeschema in Bezug auf die Art, die Dosis und die Dauer der Anwendung des Nährstoffes bei älteren (sarkopenischen) Menschen definieren zu können (Serafini et al., 2019).

5.2 Krafttraining

Krafttraining, als eine Form körperlicher Aktivität, führt zu einem starken anabolen Muskelreiz. So steigt die Muskelproteinsynthese innerhalb von zwei bis drei Stunden nach dem Widerstandstraining an und bleibt sowohl bei trainierten, als auch bei untrainierten Personen, über mehrere Stunden erhöht (Makanae & Fujita, 2015).

Krafttraining dient über diesen Mechanismus daher auch dem Aufbau und dem Erhalt der Muskelmasse in den unterschiedlichsten Altersklassen. Des Weiteren stellt Krafttraining

eine kostengünstige und vergleichsweise einfach umzusetzende Maßnahme dar. Aus diesen Gründen wird daher sowohl in epidemiologischen Studien als auch in prospektiven Kohortenstudien die Bedeutung von regelmäßiger Bewegung und körperlicher Aktivität für die Krankheitsvorbeugung und insbesondere für die Krankheitsbehandlung unterstrichen (Keller, 2019).

Der Großteil der Erwachsenen bewegt sich jedoch nicht ausreichend, obwohl Inaktivität bzw. ein sitzender Lebensstil eine Ursache für die Entstehung der Sarkopenie sein kann. Eine Vielzahl von Belegen unterstützt die positiven Auswirkungen von Sport und Bewegung (Leyk, 2009, zit. n. Keller, 2019, S. 165). Umso überraschender ist es daher, dass diese Therapiemaßnahme noch immer nicht ausgeschöpft ist. Und das, obwohl Landi und Kollegen (2012) in ihrer Studie beweisen, dass das Risiko für Sarkopenie bei Bewohnern von Pflegeheimen durch eine Stunde körperlicher Freizeitaktivität pro Tag um 60 % gesenkt werden kann. Die positiven Wirkungen von Krafttraining, der Muskelatrophie und den damit verbundenen Kraftverlusten entgegenzuwirken, werden auch im Alter noch erfolgreich angewendet. Und obwohl es noch keine prospektiven Studien dazu gibt, inwieweit eine lebenslange körperliche Aktivität bzw. ein Training den altersbedingten Rückgang der Kraftkapazitäten verhindern kann, deutet die Praxis darauf hin, dass Krafttraining ein geeignetes Tool ist, um dem Muskelverlust und der Entstehung der Sarkopenie entgegenzuwirken (Keller, 2019). Im Vergleich dazu erscheinen die Sportarten Schwimmen oder Laufen in Querschnittsstudien weniger geeignet, um den Verlust der Muskelmasse und der Muskelkraft zu verhindern (Burton & Sumukadas, 2010).

Das Positive am Krafttraining ist, dass es in jedem Alter durchgeführt werden kann. Denn bei richtiger Reizsetzung sind die Anpassungen im Muskelsystem weitgehend altersunabhängig. Verbesserungen der Muskelkraft können mit geringem Aufwand relativ einfach erreicht werden. So genügt als unterste Grenze vermutlich ein Krafttraining pro Woche aus, um bereits erste Anpassungen der Muskelmasse zu erreichen (Burton & Sumukadas, 2010).

Ab dem dritten Lebensjahrzehnt beginnt die Muskelmasse aufgrund von katabolen Prozessen, die auf das Alter und andere Faktoren zurück zu führen sind, zu sinken. In Abhängigkeit von den Ausgangswerten wirkt sich dieser Verlust auf einzelne Personen in unterschiedlicher Intensität aus. Dementsprechend sind manche früher andere später vom altersbedingten Muskelverlust betroffen. Die Leistungsverluste im mittleren Alter sind jedoch meist auf den sitzenden Lebensstil und weniger auf den altersbedingten Verlust der Muskelmasse zurückzuführen. Nichtsdestotrotz können auch ehemalige Nichtsportler/Nichtsportlerinnen in höherem Alter durch ein regelmäßiges Training ein

hohes Leistungsniveau erreichen. Das heißt, auch in höherem Alter können nach einem inaktiven Lebensstil über Trainings noch Wirkungen auf das Muskelsystem erzielt werden (Leyk et al., 2010, zit. n. Keller, 2019, S. 165; Zatsiorsky & Kreamer, 2008, zit. n. Keller, 2019, S. 165).

Sport und körperliche Aktivität einschließlich Muskeltraining können die physiologischen Prozesse des Muskelabbaus mit steigendem Alter zwar nicht vollständig verhindern, jedoch kann über Krafttraining der Verlust der Muskelmasse, der Muskelkraft und der körperlichen Leistung verringert und verlangsamt werden (Keller, 2019).

In einer Übersichtsarbeit von Cruz-Jentoft und Kollegen (2014) werden beispielsweise vier Studien herangezogen, die sich mit dem Effekt des Krafttrainings auf muskuläre Outcomes bzw. die körperliche Leistungsfähigkeit bei über 60-jährigen Personen beschäftigen. In zwei von vier Studien, die ein Krafttraining zwischen 3-18 Monaten ausführen, kann eine Steigerung der Muskelmasse beobachtet werden. In drei von vier Studien wird des Weiteren eine Verbesserung der Muskelkraft erhoben. In jenen drei Studien, welche die körperliche Leistungsfähigkeit erheben, können verbesserte Ergebnisse beim Aufstehetest, beim Treppensteigen und beim zwölfminütigen Gehen ermittelt werden (Cruz-Jentoft et al., 2014). Frey et al. (2013) beschäftigen sich im Gegensatz dazu mit dem Abbau von Muskelproteinen während des Alterns bzw. der Sarkopenie. Sie beobachten, dass die Regulatoren des Muskelproteinabbaus nach dem Krafttraining sowohl bei jungen als auch älteren Erwachsenen ähnlich reagieren und schließen daraus, dass das Fortschreiten der Sarkopenie durch Krafttraining verlangsamt werden kann. Ein Widerstandstraining kann demnach über die Verbesserung der Muskelmasse und -kraft die Sarkopenie bei älteren Erwachsenen wirksam verbessern oder sogar verhindern. Über die Einschränkung und Reduktion der potentiell schädlichen Auswirkungen der Sarkopenie mittels Krafttraining kann älteren Menschen über einen längeren Zeitraum hinweg eine höhere Funktionsfähigkeit, Unabhängigkeit und Lebensqualität verliehen werden. Um den wirksamsten und sichersten Ansatz dieser nichtpharmakologischen Maßnahme ermitteln zu können, müssen jedoch noch weitere Studien folgen (Giallauria et al., 2015).

5.3 Krafttraining mit Protein- und Aminosäureergänzungen in Kombination

Aufgrund der anabolen Effekte von Protein- und Aminosäureergänzungen und Krafttraining liegt die Vermutung nahe, dass durch die Kombination von Krafttraining mit Protein- oder Aminosäuresupplementen ein verstärkter Effekt auf den altersbedingten Muskelverlust erzielt werden kann. Aus diesem Grund wird auch vermehrt die Kombination der beiden Methoden in Studien überprüft. So erheben Denison et al. (2015)

in einem systematischen Review bereits die kombinierten Auswirkungen von körperlicher Aktivität und Nährstoffsupplementen bei prä-sarkopenischen und sarkopenischen Personen. Denison et al. (2015) kommen jedoch zu dem Schluss, dass für klinische Empfehlungen weitere kontrollierte Studien nötig sind. 2017 führen Beaudart et al. erneut einen systematischen Review zu diesem Thema durch und stellen fest, dass eine signifikante Verbesserung der Muskelmasse, der Muskelfunktion und der körperlichen Leistungsfähigkeit durch ein Krafttraining zu erzielen ist. Zusätzliche Nährstoffsupplemente führen jedoch zu keiner weiteren signifikanten Verbesserung, wobei dies laut Autoren auch auf die deutlich unterschiedlichen diätetischen Supplementierungsprotokolle zurückzuführen sein könnte (Beaudart et al., 2017). Zum gleichen Ergebnis kommen auch Thomas et al. (2016). Sie beschreiben, dass Protein- oder essentielle Aminosäuresupplemente die Effekte eines progressiven Krafttrainings nichtsignifikant verbessern. Ein relativ aktueller Review von Liao et al. (2019) beschreibt im Gegensatz dazu einen positiven Effekt der Kombination von Proteinsupplementierungen und Krafttraining auf die Muskelmasse, Muskelkraft und körperliche Leistungsfähigkeit im Vergleich zu Kontrollgruppen (reine Proteinsupplementierung, reines Krafttraining oder Placebogruppe).

6 Fragestellung und Zielsetzung

Mit einer zunehmenden Anzahl an älteren Menschen nehmen die medizinischen und wirtschaftlichen Bürden für altersbedingte Erkrankungen in vielen Ländern zu. Der unvermeidbare Muskelverlust, der sich im Verlauf des Lebens einstellt, führt zu vielerlei negativen Folgen. Dieser als Sarkopenie bezeichnet allgemeine und fortschreitende Verlust der Skelettmuskelmasse und -funktion beginnt meist in der vierten oder fünften Lebensdekade (Cruz-Jentoft et al., 2014, zit. n. Lou et al., 2017, S. 389). Gielen et al. (2015) deuten darauf hin, dass die appendikuläre Magermasse ab dem 50. Lebensjahr vermehrt zu sinken beginnt. Das Ausmaß ist des Weiteren interindividuell verschieden und hängt von unterschiedlichen Faktoren ab. Im Allgemeinen besteht der Körper von Erwachsenen durchschnittlich zu 50 % aus magerer Körpermasse. Durch den Alterungsprozess kann dieser Anteil bei den 75- bis 80-Jährigen jedoch auf 25 % reduziert werden. Besonders betroffen sind die unteren Extremitäten wie bspw. der laterale Anteil des Oberschenkelmuskels (vastus lateralis) (Sakuma & Yamaguch, 2018). Folglich kommt es zu Gebrechlichkeit, Stürzen, zu funktionellem Verlust, zu Depressionen, zu langen Krankenhausaufenthalten und zum Verlust der Lebensqualität. Die Erkrankung ist daher mit einer hohen Mortalitätsrate verbunden, stellt aber auch eine nicht unwesentliche Public Health Problematik dar (Lou et al., 2017).

Im Jahr 2010 waren bereits mehr als 50 Millionen Menschen weltweit vom altersbedingten Syndrom betroffen. Im europäischen Raum litten 2016 des Weiteren bereits 11,1-20,2 % der 65- bis 100-Jährigen an Sarkopenie. Durch die Fortschritte in der Medizin sowie die verbesserten Umwelt-, Sozial- und Lebensbedingungen verlagert sich das Durchschnittsalter immer weiter nach oben. Damit sind jedoch tiefgreifende soziale, ökonomische und gesundheitspolitische Konsequenzen verbunden. So rechnet man im Jahr 2050 bereits mit über 200 Millionen Erkrankungsfällen weltweit. Für die medizinische Versorgung dieser sarkopenischen Patienten/innen müssen jährlich jedoch rund 900 \$ pro Person ausgegeben werden (Hannach et al., 2019; Lou et al., 2017; Ethgen et al., 2017).

Um das Auftreten und das Fortschreiten der Erkrankung bei älteren Personen zu minimieren sowie die medizinischen Gesundheitskosten einzuschränken, sind wirksame Maßnahmen notwendig. Die Forschung beschäftigt sich in diesem Zusammenhang auch vielfach mit nichtpharmakologischen Maßnahmen. Geringe körperliche Aktivität und eine schlechte Ernährung sind beispielsweise Faktoren, welche die Entstehung von Sarkopenie begünstigen. Beide Lebensstilfaktoren stellen jedoch auch einfach zu verändernde Risikoparameter dar (Hannach et al., 2019). Eine adäquate Ernährung im Sinne einer ausreichenden Versorgung mit Energie und im Speziellen mit Protein hat bereits seit langem große Aufmerksamkeit auf sich gezogen (Hannach et al., 2019). Bei

der Regulation der Skelettmuskelmasse spielt das Gleichgewicht zwischen Proteinaufbau und -abbau eine wesentliche Rolle. Eine Störung dieses Gleichgewichtes im Sinne eines überwiegenden Muskelproteinabbaus resultiert in einer Abnahme der Skelettmuskelmasse (Fry & Rasmussen, 2011). In diesem Zusammenhang sind wir daher auf eine ausreichende Aufnahme von Proteinen aus der Nahrung angewiesen (Lou et al., 2017).

Bohe (2001; zit.n. Murton, 2015, S. 393) und Kollegen beschreiben unter anderem, dass durch die Zufuhr von Proteinen die Muskelproteinsynthese bei jungen Personen für bis zu zwei Stunden gesteigert werden kann. Es wird vermutet, dass dieses Phänomen auch bei älteren Personen zutrifft. Xu et al. (2015) bestätigen beispielsweise, dass Supplementierungen mit Leucin dem altersbedingten Muskelverlust entgegenwirken können, da sie die fraktionierte Muskelproteinsyntheserate erhöhen. Hannach et al. (2019) können in ihrem systematischen Review des Weiteren bestätigen, dass durch die Einnahme von 14-40 g Milcheiweiß pro Tag die Muskelmasse bei älteren Personen signifikant erhöht werden kann. Eine andere Studie beschreibt, dass der anabole Effekt von Aminosäuren bzw. Proteinen vor allem auf die essentiellen Aminosäuren zurückzuführen ist. Milchproteine, welche in Form von Milchprodukten oder Milchproteinsupplementen konsumiert werden können, sind einerseits leicht zugängliche Produkte für ältere Personen und enthalten andererseits die gesamte Palette essentieller Aminosäuren. Ein besonderer Vorteil in Bezug auf muskuläre Outcomes kann speziell durch die essentielle Aminosäure Leucin erwirkt werden (Hidayat et al., 2018, zit. n. Hanach, McCullough & Avery, 2019, S 60; Volpi et al., 2003, zit. n. Makanae & Fujita, 2015, S. 125).

Daneben wirkt sich auch Krafttraining positiv auf den altersbedingten Muskelverlust aus. Cornish et al. (2018) beschreiben in ihrer randomisiert kontrollierten Studie, dass ein Krafttraining, welches dreimal wöchentlich ausgeführt wird, bei älteren Männern innerhalb von zwölf Wochen zu einer signifikanten Verbesserung der Skelettmuskelfkraft und der funktionellen Fähigkeit führt. Martone et al. (2017) stellen in einem Review außerdem fest, dass in zwei von vier Studien, deren Interventionsgruppen ein Krafttraining über einen Zeitraum von 3-18 Monaten ausführen, eine Steigerung der Muskelmasse festzustellen ist. In drei von vier Studien kann des Weiteren eine Verbesserung der Muskelkraft und der körperlichen Leistungsfähigkeit beobachtet werden (Martone et al., 2017). Zusätzlich zu diesen Studienergebnissen deuten andere Querschnittsstudien darauf hin, dass andere Arten körperlicher Aktivität wie bspw. Schwimmen oder Laufen weniger gut geeignet sind, um den Verlust der Muskelmasse und der Muskelkraft zu verhindern (Burton &

Sumukadas, 2010). Aus diesem Grund wurde Krafttraining als Teil der Intervention gewählt.

Durch die positiven Effekte von Krafttraining und Protein- bzw. Aminosäure-supplementierungen bei altersbedingtem Muskelverlust beschäftigen sich aktuell auch zahlreiche Studien mit der Kombination beider Interventionen. Durch die Kombination beider Interventionen erhofft man sich einen verstärkten Effekt gegen den altersbedingten Muskelverlust. Da beide Faktoren unabhängig voneinander eine anabole Reaktion auf die Muskelproteinsynthese auslösen, ist eine Potenzierung ihrer Wirkung vermutlich naheliegend. Um einen möglichen Unterschied zwischen reinem Krafttraining und Krafttraining in Kombination mit Milchprotein- oder Aminosäuresupplementen feststellen zu können, soll sich die fortlaufende Arbeit mit folgender Forschungsfrage beschäftigen:

„Kann durch die Kombination von Milchprotein- bzw. Aminosäuresupplementen und Krafttraining die Muskelmasse, die Muskelfunktion und die körperliche Leistungsfähigkeit von älteren (sarkopenischen und nicht sarkopenischen) Erwachsenen stärker verbessert werden als durch ein reines Krafttraining?“

7 Methode

Diese systematische Überprüfung orientierte sich an den PRISMA-Kriterien (Liberati et al., 2009). Die Methode für die Einschlusskriterien wurde im Voraus festgelegt und in einem unveröffentlichten Protokoll dokumentiert.

7.1 Zulassungskriterien

Die Auswahl der Studien beschränkte sich auf Artikel in deutscher oder englischer Sprache. Die relevanten Studien mussten außerdem folgende Kriterien erfüllen:

7.1.1 Charakteristika der Teilnehmer/innen

Die Teilnehmer/innen mussten entweder gesunde oder sarkopenische ältere Personen sein, die den EWGSOP-Diagnosekriterien für Prä Sarkopenie, Sarkopenie oder schwerer Sarkopenie entsprachen (Cruz-Jentoft et al., 2010). Die Studienpopulation wurde dann ausgeschlossen, wenn die Teilnehmer/innen zur Gänze eine oder mehrere Erkrankungen aufwiesen, und die Probanden daher eine kranke Personengruppe repräsentierten. Personen mit der Diagnose Frailty laut dem Frailty Index nach Mitnitski und Kollegen oder dem Frailty Phänotyp nach Fried und Kollegen wurden ausgeschlossen (Fried et al., 2001; Mitnitski et al., 2001). Die Teilnehmer/innen mussten des Weiteren 50 Jahre oder älter sein, da laut einer Studie von Gielen und Kollegen die appendikuläre Magermasse bereits ab einem Alter von 50 Jahren zu sinken beginnt (Gielen et al., 2015).

7.1.2 Interventionsarten

Es wurden Studien ausgewählt, die sowohl eine Ernährungsintervention als auch ein Bewegungstraining (Krafttraining oder Krafttraining kombiniert mit Ausdauertraining) umfassten. Die Ernährungsinterventionen mussten Milchproteine (ein auf Molke oder Kasein basierendes Proteinsupplement oder ein Proteinbasiertes Milchprodukt wie bspw. Ricottakäse) oder Aminosäuren (Leucin, Valin, Isoleucin, BCAAs, essentielle Aminosäuren) in Form von Vollnahrungsmitteln oder Nahrungsergänzungsmitteln enthalten, die nur auf oralem Weg verabreicht wurden. Am Tag des Bewegungstrainings erfolgte eine Protein- bzw. Aminosäureaufnahme, in manchen Studien auch zusätzlich zwischen diesen Zeitpunkten. Alle Studien, die ein Bewegungstraining umfassten, die ein reines Krafttraining oder ein Krafttraining in Kombination mit einem Ausdauertraining darstellten und die Muskelhypertrophie, die Kraft, und/oder die körperlichen Funktionen beeinflussten, wurden eingeschlossen. Die Dauer der Intervention musste mindestens sechs Wochen umfassen und zumindest zweimal wöchentlich durchgeführt werden. Granacher und Borde gehen davon aus, dass bei einem Krafttraining von mindestens sechs Wochen alle Phasen der Anpassungsmechanismen (motorischer Lernprozess,

neuronale Anpassungsprozesse und signifikanter Zuwachs der Maximalkraft) an das Krafttraining durchlaufen werden (Granacher & Borde, 2013).

7.1.3 Art der Kontrollgruppen

Die Kontrollgruppe führte lediglich das Bewegungstraining aus, erhielt jedoch keine zusätzlichen proteinbasierten Nahrungsmittel oder Protein- bzw. Aminosäuresupplemente.

7.1.4 Art der Ergebnisse

Die Studien mussten Daten zur

- a.) Muskelmasse (primäres Outcome) beinhalten (entweder Daten zur totalen (absoluten) Muskelmasse, zur totalen appendikulären Muskelmasse, zum appendikulären oder zum absoluten Skelettmuskelindex (SMI), zum totalen Muskelquerschnitt (total cross sectional area) oder zum Muskelquerschnitt diverser Muskelgruppen), die mittels Röntgenabsorptiometrie mit doppelter Energie (DXA/DEXA=Dual energy X-ray absorptiometry), Bioelektrischer Impedanzanalyse (BIA), Computertomographie (CT) oder Magnetresonanztomographie (MRT)/Magnetresonanzbildgebung MRI bewertet wurden.

oder/und

- b.) Muskelkraft bzw. körperlichen Funktion (sekundäre Outcomes) enthalten, die durch folgende Tests ermittelt wurden: Aufstehetest (Zeit für fünfmaliges Sitzen und wieder Aufstehen oder Anzahl des Sitzens innerhalb von 30 Sekunden), Handgriffkraft oder Knieflexion/-extension mittels Dynamometer, 1-RM diverser Muskelgruppen, bzw. Ganggeschwindigkeit (4 m Gehtest, 6 m Gehtest), SPPB-Test (Short Physical Performance Battery=Tandemstand, 4 m Gehtest, Sit to stand test), zeitgesteuerter Up and Go Test, 6 min Gehtest oder 400 m Gehtest (körperliche Funktion).

7.1.5 Art des Studiendesigns

Es wurden randomisiert kontrollierte Studien, Interventionsstudien oder kontrolliert klinische Studien in diesem systematischen Review berücksichtigt.

7.2 Informationsquellen und Suchstrategie

Von Mitte August bis zum 8.9.2019 wurde eine Literaturrecherche in PubMed durchgeführt. Dabei wurde gezielt nach randomisiert kontrollierten Studien, Interventionsstudien und kontrolliert klinischen Studien gesucht, die den Einfluss von Milchprotein oder Aminosäuresupplementen in Kombination mit Krafttraining (alleine oder in Kombination mit Ausdauertraining) auf die körperliche Leistungsfähigkeit und/oder

Muskelparameter bei älteren Personen im Vergleich zu einer Kontrollgruppe untersuchten.

In PubMed wurde die folgende Suchstrategie angewendet: sarcopenia OR dynapenia OR disability OR seniors OR elderly OR older adults NOT frailty AND muscle mass OR cross sectional area OR magnetic resonance imaging {MeSH} OR absorptiometry OR photon {MeSH} DEXA) OR DXA OR bioimpedance analysis OR BIA OR muscle strength OR knee extension OR knee flexion OR legpress OR armcurl test OR chair stand test OR peak respiratory flow OR functional performance OR gait speed OR SPPB OR Short Physical Performance Battery OR Time up and Go test OR 400m walk OR 6 min walk AND protein OR essential amino acids OR BCAA OR branched-chain amino acids OR leucine OR valine OR isoleucine AND resistance training OR resistance exercise OR weight lifting OR resistance and aerobic exercise OR power lifting AND randomized controlled trial) OR intervention study OR controlled clinical trial NOT review AND Humans [Mesh]

Sort by: Best Match

Filters: human, german, english

7.3 Studienauswahl

Die insgesamt 475 Studien, die mit Hilfe der oben genannten Suchstrategie in Pubmed gefunden werden konnten, wurden auf ihre Eignung hin untersucht. Die in Punkt 7.1 genannten Zulassungskriterien dienten dabei als Ein- und Ausschlusskriterien.

7.4 Datenerfassungsprozess

Es wurden alle Schlüsseldaten aus den eingeschlossenen Artikeln in eine Excel-Tabelle extrahiert. Aus jedem Artikel wurden dazu Daten der Autoren, Region, Studiendesign, Charakteristika der Probanden (Probandenanzahl, Geschlecht, Alter, Gesundheitszustand), Beschreibung der Studienarme und gemessene Outcomes und Ergebnisse vor und nach der Intervention herausgefiltert.

7.5 Datenelemente

Aus jeder eingeschlossenen Studie wurden folgende Informationen extrahiert: (1) Charakteristika der Studienteilnehmer (einschließlich Geschlecht, Alter und Gesundheitszustand); (2) Art der Bewegungsintervention (einschließlich Art, Intensität, Dauer, Häufigkeit); (3) Art der Nährstoffintervention (einschließlich Art, Menge, Häufigkeit und Zeitpunkt der Aufnahme); (4) Art der Intervention der Kontrollgruppe (Art, Menge, Häufigkeit und Zeitpunkt der Aufnahme des Placebos falls inkludiert); (5) Art der Ergebnismessung (in Bezug auf die Messung der Muskelmasse, der Muskelkraft und der

körperlichen Funktion) und Auswirkungen auf die Muskelmasse, die Muskelkraft und die körperliche Funktion.

7.6 Verzerrungspotential in einzelnen Studien

Die Qualität und das Verzerrungspotential der eingeschlossenen Studien wurden mit Hilfe des Jadad-Score-Systems bewertet. Mit dem Jadad-Score-System wird die Studienqualität mittels Beschreibung und Angemessenheit der Randomisierung (2 Punkte), der Verblindungsverfahren (2 Punkte) und der Beschreibung der Ausfälle und Ausschlüsse (1 Punkt) beurteilt. Der Jadad-Punkterange reicht dabei von 0 bis 5 Punkte. Bei einer Punktezahl von 5 wurde den Studien eine ausgezeichnete Qualität zugemessen. Bei einer Punktezahl von 3 oder 4 wurden die Studien unter guter Qualität eingestuft. Ein geringerer Punktescore wies hingegen auf eine Studie von schlechter Qualität und hohem Verzerrungspotential hin (Jadad et al., 1996).

7.7 Zusammenfassende Maßnahmen

Die primären Endpunkte in diesem systematischen Review waren die Unterschiede der Mittelwerte der Muskelmasse (totale (appendikuläre) MM, absoluter (appendikulärer) SMI oder totale bzw. muskelgruppenspezifische Querschnittsfläche). Als sekundäre Endpunkte dienten die Unterschiede der Mittelwerte der Muskelkraft (Aufstehetest, Handgriffkraft oder Knieflexion/-extension mittels Dynamometer sowie 1-RM diverser Muskelgruppen) und der körperlichen Funktion (Ganggeschwindigkeit, SPPB-Test, TUG Test, 6 min Gehtest oder 400 m Gehtest)

7.8 Synthese der Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden im Rahmen einer qualitativen Analyse beurteilt. Dazu erfolgte ein Vergleich zwischen den inkludierten Studien, um den Effekt von Milchproteinsupplementen oder Aminosäuren in Kombination mit Krafttraining auf Muskelparameter und die körperliche Funktion bei älteren Personen adäquat bewerten zu können.

8 Ergebnisse

8.1 Studienauswahl

Wie Abbildung 5 zeigt, konnten insgesamt 475 Artikel durch die Suche auf Pubmed gefunden werden. Nach dem Lesen der Titel und Abstracts wurden 409 Artikel aufgrund vorhandener Ausschlusskriterien (vorwiegend fehlende Protein- oder Krafttrainingsintervention, ungeeignetes Alter bzw. Gesundheitszustand der Probanden sowie fehlende Outcomes zur Muskelmasse, Muskelkraft oder körperlichen Funktion) von der systematischen Übersichtsarbeit ausgeschlossen. 65 Artikel wurden folglich zur Volltextüberprüfung hinzugezogen. Davon wurden wiederum 47 Artikel ausgeschlossen, weil sie Probanden mit ungeeignetem Alter oder Gesundheitszustand inkludierten, kein Krafttraining oder keine Proteinsupplementierung enthielten, eine falsche Proteinquelle verabreichten, keine Outcomes zur Muskelmasse, Muskelkraft oder körperlichen Funktion umfassten oder kein Volltext zur Verfügung stand. Folglich wurden 18 Studien in die qualitative Beurteilung miteinbezogen. (Sugihara et al., 2017; Nabuco et al., 2018, Oesen et al., 2015; Verdijk et al., 2009; Holwerda et al., 2018; Trabal et al., 2015; Molnár et al., 2016; Arnarson et al., 2013; Leenders et al., 2013; Thomson et al., 2016; Kukuljan et al., 2009; Farnfield et al., 2012; Seino et al., 2018; Mori & Tokuda, 2018; Chale et al., 2013; Weisgarber et al., 2015; Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015; Holm et al., 2008).

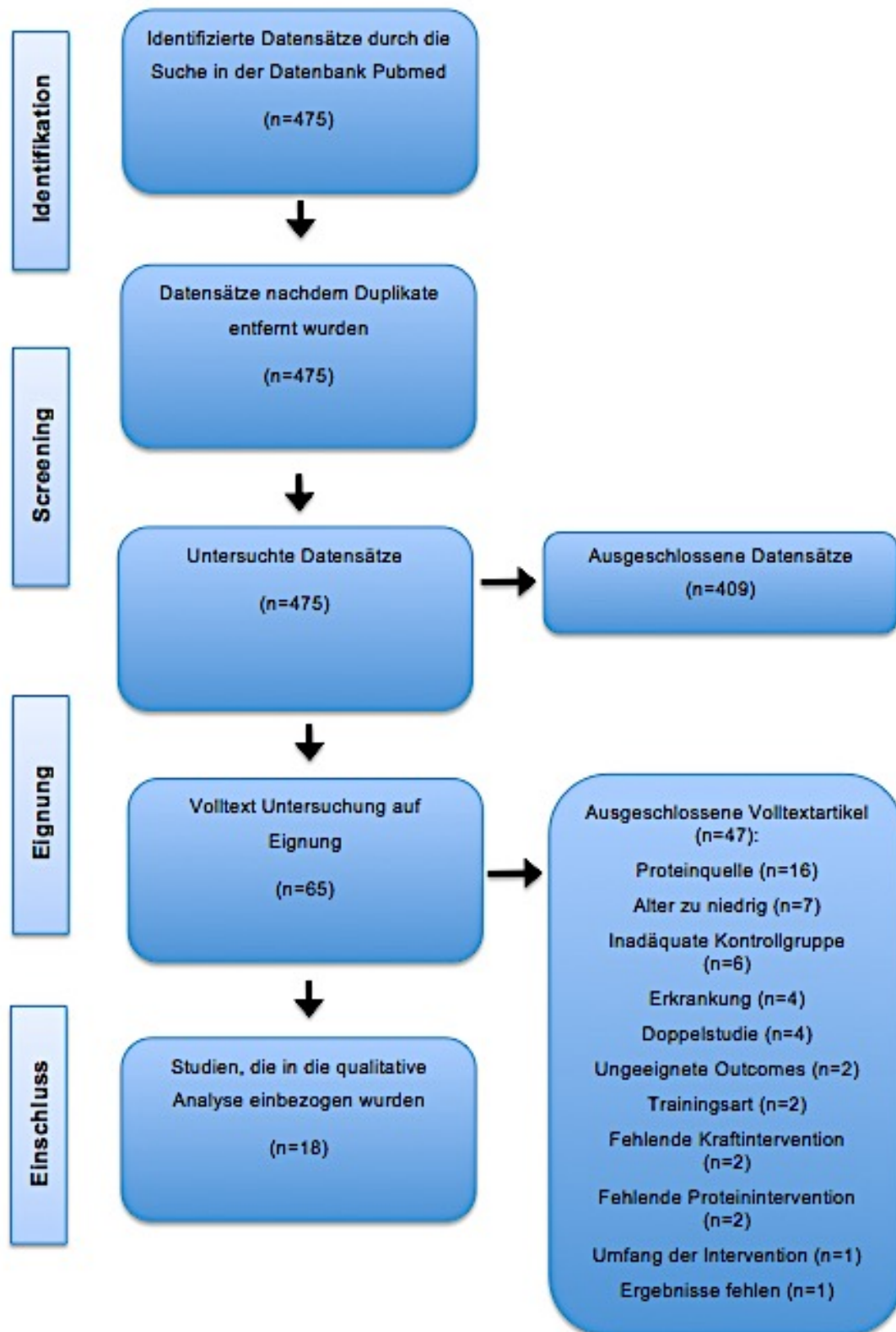


Abb. 5: PRISMA flow chart

8.2 Studienmerkmale

Tabelle 3 enthält eine Zusammenfassung der Merkmale der inkludierten Artikel. Zwei der inkludierten Studien wurden in Südamerika, acht in Europa, drei in Australien, zwei in Asien und drei in Nordamerika durchgeführt. Die eingeschlossenen Studien umfassten insgesamt 1239 Teilnehmer/innen mit einem Alter ab 50 Jahren. Sieben der Studien inkludierten sowohl männliche als auch weibliche Probanden, bei sechs Studien wurden nur Männer und bei fünf Studien nur Frauen miteinbezogen. Zehn der Interventionsstudien bezogen sich auf gesunde ältere Menschen, eine Studie bezog sich auf ältere Menschen mit Einschränkungen der Mobilität. Eine weitere Interventionsstudie inkludierte institutionalisierte ältere Personen und vier andere Studien umfassten ältere Menschen, deren Gesundheitsstatus nicht eindeutig definiert wurde. In diesen Studien wurde jedoch in den Zulassungskriterien klar definiert, welche Erkrankungen als Ausschlussgrund dienten. Des Weiteren inkludierten zwei Studien sarkopenische bzw. sarkopenisch-präsarkopenische und nichtsarkopenische Probanden/innen.

In Bezug auf die Methode wendeten zwölf Studien den Zwei-Gruppen-Vergleich an. Dabei erhielt die eine Gruppe immer ein Milchprotein- oder Aminosäuresupplement. Die andere Gruppe (Kontrolle) erhielt bei acht der zehn Studien ein Placebo. Zwei Studien verabreichten kein Placebo. Alle Gruppen führten innerhalb der Studien außerdem dasselbe Krafttrainingsprogramm aus. Fünf der achtzehn inkludierten Studien führten einen Drei-Gruppen-Vergleich durch. Die Studie von Maltais, Ladouceur & Dionne (2015) untersuchte dabei den Unterschied einer Supplementierung mit essentiellen Aminosäuren oder einem Milchsupplement im Vergleich zu einer Kontrollgruppe, die ein Placebo auf Reismilchbasis erhielt. Thomson und Kollegen (2016) überprüften den Effekt eines Milchproteins sowie eines Sojaproteins im Vergleich zu einer Kontrollgruppe. Bei beiden Studien führten alle Vergleichsgruppen ein Krafttraining aus. Mori & Tokuda (2018) bezogen sich in ihrer Studie auf den Einfluss einer Molkenproteinsupplementierung in Kombination mit einem Krafttraining im Vergleich zu einem reinen Krafttraining bzw. einer reinen Molkenproteinsupplementierung auf diverse Muskelparameter und die körperliche Funktion. Nabuco und Kollegen (2018) überprüften, ob der Zeitpunkt der Aufnahme einer Molkenproteinsupplementierung einen weiteren Effekt im Vergleich zu einer Kontrollgruppe (reines Krafttraining) erzielt. Bei den beiden Interventionsgruppen wurde daher entweder vor oder nach dem Krafttraining Molkenprotein supplementiert. In einer Wiener Studie (Oesen et al., 2015) wurde außerdem die Kombination von Krafttraining und einer Trinknahrung auf Molkenproteinbasis im Vergleich zu einer reinen Krafttrainingsgruppe bzw. einer Kontrollgruppe untersucht. Eine der eingeschlossenen achtzehn Studien bezog sich schlussendlich auch noch auf einen Vier-Gruppen-Vergleich.

Dabei wurde der Effekt von mit Vitamin D und Kalzium angereicherter Milch in Kombination mit Krafttraining im Vergleich zu reinem Krafttraining bzw. reiner Ernährungsintervention und einer Kontrollgruppe in Bezug auf muskuläre und funktionelle Outcomes überprüft (Kukuljan et al., 2009). Lediglich zwölf der achtzehn eingeschlossenen Studien waren doppelblind.

Die Ernährungsintervention umfasste in den inkludierten Studien neunmal ein Molkenproteinsupplement (Molkenproteinsupplement), zweimal eine auf Molkenprotein basierende Trinknahrung (Fortifit), dreimal ein Milchproteinsupplement (davon einmal in Kombination mit einem Mikronährstoffsupplement), einmal ein Kaseinsupplement, einmal eine mit Vitamin D und Kalzium angereicherte Milch, einmal ein Leucinsupplement und einmal ein Supplement mit essentiellen AS (sowie in der Vergleichsgruppe eine mit Milchpulver angereicherte Schokoladenmilch). Des Weiteren wurden alle Krafttrainingsinterventionen zwei- oder dreimal pro Woche durchgeführt. Die Inhalte des Krafttrainings waren dabei von Studie zu Studie unterschiedlich und umfassten Kraftübungen mit dem eigenen Körpergewicht, mit freiem Gewicht oder geführten Gewichten (an Maschinen), mit Therabändern oder Kraftübungen an Sesseln. Die Dauer und Intensität der Krafttrainingsprogramme gestaltete sich daher unterschiedlich und wurde in einigen Studien auch nicht protokolliert. Vielfach wurde auch ein ausdauerspezifisches Auf- und Abwärmen rund um das Krafttraining ausgeführt (Sugihara et al., 2017; Nabuco et al., 2018; Oesen et al., 2015; Verdijk et al., 2009; Holwerda et al., 2018; Trabal et al., 2015; Molnár et al., 2016; Arnarson et al., 2013; Leenders et al., 2013; Thomson et al., 2016; Kukuljan et al., 2009; Farnfield et al., 2012; Seino et al., 2018; Mori & Tokuda, 2018; Chalé et al., 2013; Weisgarber et al., 2015; Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015; Holm et al., 2008).

Tab. 3: Charakteristika der inkludierten Studien

Referenz	Region	Dauer	n	Geschlecht	Alter	Gesundheitszustand	Art der Bewegungsintervention	Häufigkeit, Dauer und Intensität der Bewegungsintervention	Art der Nährstoffintervention	Gesamtmenge an Protein/AS pro Woche	Häufigkeit und Zeitpunkt	Kontrollgruppe	Beurteilung der Outcomes 1.) Muskelmasse 2.) Muskelkraft 3.) körperlichen Funktion	Gemessene Outcomes (ZeitxGruppen-Interaktion)
Sugihara et al., 2017	Brasilien	26 Wo	31	W	67,4 ± 4,0 Jahre	gesund	Ganzkörpertraining mit freien Gewichten: 8 UE (Bankdrücken, Preacher Curl, Rudern im Sitzen, Tripzeps Pushdown, horizontale Beinpresse, Knieextension, Kniecurl, Wadenheben im Sitzen).	3x pro Woche; 40-50 min; 3 Serien zu 8-12 WH mit 1-2 min Serienpause und 2-3 min Übungspause.	Hydrolisiertes Molkenprotein (Lacprodan® PSNU 29900, Arla Foods) gemischt mit 200 ml Wasser und 2,5 g Softdrink (Traube oder Passionsfrucht)	105 g hydrolisiertes WP (3x 35 g)	3x pro Woche 35g direkt nach dem Krafttraining	35 g Maltodextrin mit 200 ml Wasser und 2,5 g Softdrink (Traube oder Passionsfrucht)	1.) DXA (MM) 2.) 1-RM (Bankdrücken, Knieextension, Preacher Curl)	1.) MM ↔E 2.) Knieextension ↑ Bankdrücken ↑ Preacher Curl ↑
Holwerda et al., 2018	Niederlande	12 Wo	41	M	70,0 ± 1,0 Jahre	gesund	Ganzkörpertraining mit Gewichten: 6 UE (Beinpresse, Beinstrecken, Brustdrücken + Latzug und Schulterdrücken + horizontales Rudern)	3x pro Woche; -; 4 Sätze (Unterkörper) 2 Sätze (Oberkörper) Woche 0-4: Steigerung der Arbeitsbelastung von 70 % des 1-RM (8 WH in jedem Satz) auf 80 % des 1-RM (10 WH). Satzpause: 2 min, Serienpause: 3 min; Danach 80% des 1-RM.	Leucinreicher Molkenprotein-drink mit Vanille oder Erdbeergeschmack (21 g Protein, 3 g Leucin) in 250 ml Wasser	210 g Protein, 30 g Leucin (10x pro Woche 21 g Protein und 3 g Leucin)	3x wöchentlich nach dem Training und täglich vor dem Schlafengehen.	Placebo gleicher Energie (0 g EW, 25 g KH, 6 g F)	1.) DXA und CT (CSA Typ 1 Fasern & Typ 2 Fasern Quadrizeps) 2.) Aufstehtest (5x Aufstehen), 1-RM (Beinpresse, Beinextension) 3.) Short physical performance battery (SPPB)	1.) CSA Quadrizeps Typ 1 Fasern ↑ CSA Quadrizeps Typ 2 Fasern ↔S 2.) Aufstehtest (5x) ↔S Beinpresse ↓, Beinstreckung ↓ 3.) Aufstehtest (5x) ↔S SPPB Punkte ↔S
Mori & Tokuda, 2018	Japan	24 Wo	81	W	KT: 70,6 ± 4,2 Jahre PG: 70,6 ± 4,2 Jahre	gesund	Krafttraining mit dem eigenen Körpergewicht und Widerstandsbandern: 7 UE (Aufstehen von einem Stuhl und Wiederhinsetzen Beinstrecken bzw. Brustpresse im Sitzen, Rudern im Sitzen, Kniestrecken, Kniebeugen und Knieheben mit dem Widerstandsband).	2x pro Woche 50-70 % 1-RM bei Therabandübungen	25 g Molkenproteinpulver (Molken Protein; Ezaki Glico Company, Tokyo, Japan; 22,3 g Protein) in Mineralwasser gelöst.	44,6 g Molkenprotein (2x pro Woche 22,3 g)	immer nach dem Krafttraining	Kein Placebo	1.) BIA (SMI) 2.) Dynamometer (Handgriffkraft, Knieextension)	1.) SMI ↔E, 2.) Handgriffkraft ↓, Knieextension ↓

Referenz	Region	Dauer	n	Geschlecht	Alter	Gesundheitszustand	Art der Bewegungsintervention	Häufigkeit, Dauer und Intensität der Bewegungsintervention	Art der Nährstoffintervention	Gesamtmenge an Protein/AS pro Woche	Häufigkeit und Zeitpunkt	Kontrollgruppe	Beurteilung der Outcomes 1.) Muskelmasse 2.) Muskelkraft 3.) körperlichen Funktion	Gemessene Outcomes (Zeitgruppen-Interaktion)
Nabuco et al., 2018	Brasilien	26 Wo	70	W	KG: 66,5 ± 7,2 Jahre PG_vor: 67,5 ± 5,2 Jahre, PG_nach: 66,2 ± 9,4 Jahre	nicht exakt definiert	Krafttraining mit freien Gewichten und an Maschinen: 7 UE (Beinpresse, Rudern im Sitzen, Kniestrecken, Preacher Curls, Beincurl, Trizepszug, Fersenheben im Sitzen).	3x pro Woche; -: Phase 1 (Woche 2-10): 3 Serien zu 10 maximalen Wiederholungen. Phase 2 (Woche 13-25): 3 Serien zu 8-12 Wiederholungen mit fixen Gewichten.	35 g Hydrolysiertes Molkenprotein (Lacprodan®, Aria Foods; 27,1 g Protein) oder ein Placebo (Maltodextrin) gemischt mit einem zuckerfreien Softdrink (Traube oder Passionsfrucht) . 200ml.	81,3 g Molkenprotein (3x pro Woche 27,1 g)	(3x pro Woche) nur vor oder nach dem Training	Placebo vor und nach dem Krafttraining	1.) DXA (SMM) 2.) Aufstehtest (5x Aufstehen); 1- RM (Bankdrücken, Knieextension, Preacher Curl)	Protein_VOR 1.) SMM ↔S, 2.) Aufstehtest (5x) ↔S, Bankdrücken ↑ Knieextension ↑ Preacher Curl ↑ Protein_NACH 1.) SMM ↑ 2.) Aufstehtest (5x) ↔S, Bankdrücken ↑ Knieextension ↑ Preacher Curl ↑
Chalé et al., 2013	Boston	6 Mo	80	M, W	KG: 7,3 ± 3,9 Jahre PG: 78,0 ± 4,0 Jahre	gesund aber Einschränkungen der Mobilität	Progressives hoch intensives Krafttraining mit Gewichten: 5 UE (Beinpresse, Rudern im Sitzen, Beinstrecken, Bankdrücken, Beincurl)	3x pro Woche; -: 80 % des 1-RM: Anfangs 2 Serien zu 10 WH gesteigert zu 3 Serien zu 12 WH während der 6-monatigen Periode. Serienpause: 1-2 min.	40 g Molkenprotein-konzentrat (20 g Protein)	280 g Molkenprotein pro Woche (=2x 20 g WP pro Tag)	2x täglich nach dem Frühstück und nach dem Abendessen bzw. an Trainingstagen nach dem Frühstück und direkt nach dem Krafttraining.	Placebo: isokalorische Gabe (45 g Maltodextrin, 1 g Fett; 189 kcal)	1.) CT (CSA) 2.) 1-RM (Beinpresse, Knieextension) 3.) SPPB-Test; 400 m Gehstest (Ganggeschwindigkeit)	1.) Totale Muskel CSA ↑ 2.) Knieextension re ↑, Knieextension li ↑, Beinpresse ↑ 3.) 400 m Gehstest ↔→E
Weisgarber et al., 2015	Kanada	10 Wo	12	W	57,0 ± 4,7 Jahre	nicht exakt definiert	Unilaterales Krafttraining mit Gewichten (rechte und linke Körperseite im Wechsel): 4 UE (Beincurl, Bizepscurl, Beinextension, Bizepsextension)	4x (2x re + 2x li) pro Woche: 3 Serien zu 30 % des 1-RM bis zur vorsätzlichen muskulären Erschöpfung. Die 1-RM wurde in 6 Sätzen oder weniger erreicht. Satzpause: 2 min.	40 g Molkenprotein (ISOMolken BreezerTM) mit Zitronen-Eistee-Aromapulver	80 g Molkenprotein pro Woche (4x 10 g an 2 Krafttrainingstagen)	An 2 der 4 Trainingstage 40g Molkenprotein aufgeteilt auf 4 Portionen jeweils nach einer Übung von den 4 des Krafttrainings	Placebo: 30 g Maisstärke: Maltodextrin und 10 g Zitronen-Eistee-Saccharose)	2.) 1-RM (Beincurl, Bizepscurl, Beinextension, Trizepsextension)	2.) Beincurl ↓ Bizepscurl ↑ Beinextension ↓ Trizepsextension ↑
Farnfield et al., 2012	Australien	12 Wo	15	M	KG: 67,4 ± 1,3 Jahre PG: 68,1 ± 1,6 Jahre	gesund	Bilaterales progressives Krafttraining mit Gewichten: 6 UE (Beinpresse, Bankdrücken, Rudern im Sitzen, Beinstrecken, Schulterdrücken mit Hanteln, Sit-ups).	3x pro Woche; -: 2 Sätze Woche 1: 50% des 1-RM. Steigerung bis Woche 6: auf 80 % des 1-RM. Forlaufend 80 % des 1-RM. Satzpause: 2 min, Serienpause: 3-5 min.	27 g Molkenproteinpulver (Molkenprotein isolat; Natra-Boost BLG: 90 % Protein, 12,93 g EAA) mit 200ml.	72,9 g Molkenprotein (davon 38,79 g EAA) pro Woche (3x 24,3 g Protein bzw. 12,93 g EAA)	3x pro Woche nach jedem Training	Placebo-Pulver (enthält gleiche Menge an künstlichem Aroma und Aspartam-Süßstoff) mit 200 ml Wasser	2.) Dynamometer (Knieextension; bei 60° 3x 8 WH maximal mit 2min Pause zw. den Sätzen) 1-RM (Beinpresse, Beinextension, Bankdrücken)	2.) Knieextension ↓ Beinpresse ↓ Beinextension ↓ Bankdrücken ↓

Referenz	Region	Dauer	n	Geschlecht	Alter	Gesundheitszustand	Art der Bewegungsintervention	Häufigkeit, Dauer und Intensität der Bewegungsintervention	Art der Nährstoffintervention	Gesamtmenge an Protein/AS pro Woche	Häufigkeit und Zeitpunkt	Kontrollgruppe	Beurteilung der Outcomes 1.) Muskelmasse 2.) Muskelkraft 3.) körperlichen Funktion	Gemessene Outcomes (Zeitgruppen-Interaktion)
Holm et al., 2008	Dänemark	24 Wo	29	W	55,0 ± 1,0 Jahre	gesund	Krafttraining mit und ohne Gewichten: 4 UE (Beinpresse mit niedrigem Fuß, Beinpresse mit hohem Fuß, Kniestrecken, Latzug) + Sit-ups und Übungen zur Rückenstreckung.	Woche 1-12: 3x pro Woche, Woche 13-24: 2x pro Woche; -; Woche 1-2: 3x 15 WH mit 20-RM. Woche 3-12: für HF 3x10 WH mit 10-RM und LF 4x10 WH mit 10-RM. und in Woche 13-24 für beide UE 5x8 WH bei 8-RM. Knieextension: Woche 1-2: 3x 15 WH mit 20-RM. Woche 3-12: 4x10 WH mit 10-RM. Woche 13-24 3x 10 WH bei 10-RM. Sit-ups + Rücken-strecker: Periode I + II: 10 WH, Periode III: 20 WH; Latzug: 1 bis 15 WH bei 20 RM.	Molkenprotein-drink (10 g Molkenprotein, 5,0 g Vitamin D, und 250 mg Kalzium)	20 bzw. 30 g wöchentlich (2 oder 3x 10 g WP)	2 oder 3x pro Woche direkt nach jedem Training	Placebo (6 g Kohlenhydrate, 12 mg Kalzium).	(1) MRI (CSA des Quadrizeps proximal, mid, distal) 2.) Dynamometer (Knieextension)	1.) CSA Quadrizeps proximal ↔S CSA Quadrizeps mid ↔S CSA Quadrizeps distal ↔S 2.) Knieextension ↑
Arnarson et al., 2013	Island	12 Wo	161	W & M	KG: 74,6 ± 5,8 Jahre PG: 73,3 ± 6,0 Jahre	gesund	Krafttraining mit Gewichten: 10 UE (Beinstreckung, Beinbeugung, Brustzug, Rudern, Latziehen, Bizepsbeugung, Trizepsbeugung, unterer Rückenextension und Bauchcurl)	3x pro Woche; -; Woche 1: korrekte Ausführung mit 60 % 1-RM. Danach 3 Sätze zu 6-8 WH und 75–80 % des 1-RM. Die Belastung wurde jede Woche um 5–10 % erhöht.	250 ml Molkenprotein-drink: (Molkenkonzentrat; 20g Protein)	60 g Molkenprotein pro Woche (3x20 g pro Tag)	Jedes mal direkt nach dem Training. (3x pro Woche)	250 ml Placebo: 40 g KH und 1 g Fett	1.) DXA (AMM) 2.) Dynamometer (Quadrizepskraft) 3.) TUG Test, 6 min Gehstest	1.) AMM ↔E 2.) Quadrizeps ↑ 3.) TUG Test ↔E 6 min Gehstest ↓
Oesen et al., 2015	Wien	6 Mo	117	W & M	83,1 ± 6,1 Jahre	gesund aber institutionalisiert	Krafttraining mit Therabändern, Sesseln und dem eigenen Körpergewicht (6-12 Übungen jeweils 1-2 für Beine, Rücken, Bauch, Brust, Schulter und Arme; langsame Ausführung)	2x pro Woche; Ca. 1h; Woche 0-4: 1 Satz mit 15 WH (gelbes Theraband oder stärker). Danach 2 Sätze mit hoher Intensität (rotes oder sogar schwarzes Theraband)	Molkenproteinbasierte Trinknahrung= FortiFit (40 g FortiFit Pulver + 125 ml Wasser: 20,7 g Molkenprotein (3 g Leucin und >10 g EAA))	289,8 g Molkenprotein pro Woche (2x 20,7 g Molkenprotein/Ta g)	(2x pro Tag) morgens und nach dem Training eine Portion Trinknahrung	kein Placebo	2.) Aufstehetest, Dynamometer (isometrische Handgriffkraft) Knieextension und -flexion) 3.) 6 min Gehstest (max. Ganggeschwindigkeit)	2.) Aufstehetest (30s) ↔E Handgriffkraft ↓ Knieextension ↔E Knieflexion ↔E 3.) 6 min Gehstest ↔S Aufstehetest (30s) ↔E
Trabal et al., 2015	Spanien	12 Wo	11	W & M	KG: 84,0 Jahre ± 4,0 Jahre PT: 85,0 Jahre ± 8,0 Jahre	nicht exakt definiert	Progressives Krafttraining eigenes KG: 8 UE (Kniebeugen mit Sessel, Beincurlys, Beinstrecken, Zehenstand, Liegestütz an der Wand, seitliches Beinheben, hinteres Beinheben, Zehen-Fersen Gang)	3x pro Woche; 40 min; 2 Serien mit 15 WH (Steigerung der Serien und WH wenn die Übungen richtig ausgeführt wurden) 65 % des 1-RM	10 g Leucin (L-Leucin; Nutricia) vermengt mit Zitronen oder Limetengeschmack zur Maskierung	70 g Leucin pro Woche (7x pro Woche 10 g)	täglich	Kontrollgruppe erhält 10 g Placebo (Maltodextrin)	2.) Dynamometer (Beinkraft) 3.) 4 m Gehstest, Aufstehetest (5x Aufstehen), TUG Test.	2.) Beinkraft ↑ 3.) 4 m Gehstest ↔E, Aufstehetest ↔E TUG ↔S

Referenz	Region	Dauer	n	Geschlecht	Alter	Gesundheitszustand	Art der Bewegungsintervention	Häufigkeit, Dauer und Intensität der Bewegungsintervention	Art der Nährstoffintervention	Gesamtmenge an Protein/AS pro Woche	Häufigkeit und Zeitpunkt	Kontrollgruppe	Beurteilung der Outcomes 1.) Muskelmasse 2.) Muskelkraft 3.) körperlichen Funktion	Gemessene Outcomes (ZeitxGruppen-Interaktion)
Verdijk et al., 2009	Belgien	12 Wo	26	M	72,0 ± 2,0 Jahre	gesund	Progressive Krafttraining an Maschinen: 2 UE (Beinpresse und Beinstrecken)	3x pro Woche; -; Woche 0-4: Steigerung von 60 % des 1-RM (10–15 WH in jedem Satz) auf 75 % des 1-RM (8–10 WH) erhöht. Ab Woche 5: 4 Sätze mit 8 WH bei 75–80 % des 1-RM. Serienpausen: 1,5 bzw. 3 min.	Proteindrink (mit 10 g Kaseinhydrolysat) mit 250 ml Wasser und Vanillegeschmack zum maskieren.	60 g Kaseinhydrolysat (3x pro Woche vor und nach dem Training 10 g)	vor und nach dem Training	Placebo (250 ml Wasser mit Vanillegeschmack)	1.) CT (CSA) 2.) 1-RM (Beinpresse, Beinextension)	1.) CSA des Quadrizeps ↓ 2.) Beinstreckung ↑ Beinpresse ↑
Leenders et al., 2013	Niederlande	24 Wo	60	W & M	70,0 ± 1,0 Jahre	gesund	Betreutes Krafttraining mit Gewichten: 4 UE (Beinpresse, Beinextension, Bankdrücken, horizontales Rudern) + 2 UE (vertikaler Latzug + Bauchmuskeln ODER Bizepscurl + Trizepsextension)	3x wöchentlich; -; Woche 0-4: 4 Sätze für die Beine, 2 Sätze für den Oberkörper mit 60 % von 1-RM (10–15 WH in jedem Satz) auf 75 % von 1-RM (8–10 WH) erhöht. Ab Woche 5: Beinpresse & Beinstreckung: Steigerung auf 4 Sätze von 8 WH mit 75–80 % von 1-RM; Bankdrücken & horizontales Rudern: Steigerung auf 3 Sätze. Satzpausen: 1,5 min; Serienpausen: 3 min.	250 ml Milchprotein-drink (80 % Kasein, 20 % Molkenprotein) (Milchprotein-konzentrat MPC80 DMV International, Delhi, NY; 15 g Protein, 0,42 g Kalzium)	105g Milchprotein bzw. 84 g Kasein & 21 g Molkenprotein pro Woche (7x 15 g pro Woche)	täglich nach dem Frühstück (15 g Milchprotein pro Tag)	Placebo (7,13 g Laktose und 0,42 g Kalzium)	1.) CT (Quadrizeps CSA) 2.) Dynamometer (Handgriffkraft) 1-RM (Beinpresse, Beinextension). 3.) Aufstehetest (5x Aufstehen)	1.) Quadrizeps CSA ↔ E 2.) Handgriffkraft ↔ E Beinpresse ↔ E Beinextension ↔ E Aufstehetest (5x) ↔ E 3.) Aufstehetest (5x) ↔ E
Seino et al., 2018	Japan	12 Wo	82	M	KG: 73,7 ± 4,3 Jahre PG: 73,4 ± 4,3 Jahre	nicht exakt definiert	Ganzkörperkrafttraining mit Widerstandsbändern & Pilatesball: 12 UE (Armcurls, seitliches und vorderes Heben der Schultern, Pull downs, Rudern, Ausfallschritt-Kniebeuge, Kniebeuge, Ausfallschritte u. Heben v. Zehen u. Fersen im Stehen. Ab-, Adduktion und Kniestreckung im Sitzen)	2x pro Woche; 60 min; 2 Sätze mit 20 WH	200ml Milchprotein-drink (10,5 g Milchprotein) und 125 ml Mikronährstoffpräparat	73,5 g Milchprotein (7x pro Woche 10,5 g)	täglich mittags den Proteindrink und zum Frühstück die Mikronährstoffkombination	Die Kontrollgruppe macht nur ein Krafttraining	1.) DXA (MMI) 2.) Aufstehetest (5x Aufstehen & 30 s Test) Dynamometer (Handgriffkraft, Knieextension) 3.) TUG	1.) MMI ↔ E 2.) Aufstehetest (5x) ↔ E Aufstehetest (30s) ↑ Handgriffkraft ↑ Knieextension ↔ E 3.) TUG ↔ E
Thomson et al., 2016	Australien	12 Wo	179	W & M	61,5 ± 7,4 Jahre	gesund	progressives Ganzkörperkrafttraining: 5 UE an Maschinen (Beinpresse, Bankdrücken, Knieextension, Latzug, Beinflexion. 1 UE im Sitzen: Knie-Hüftbeugung)	3x pro Woche; -; UE an den Maschinen: Anfangs 1 Satz von 8 WH bei 8-RM. Steigerung zu 3 Sätze mit 12 WH. Widerstand erhöht: 1 Satz zu 8 WH. Steigerung, zu 3 Sätze mit 12 WH, usw.. UE im Sitzen: Steigerung bis zu 2 Sätzen mit 20 WH.	27 g Milchprotein in Form eines Shakes (475 g fettarme Smart-Milch, 200 g Nestlé Soleil-Diät Fettjoghurt und 20 ml Vanillemilch-Mix-Sirup)	189 g Milchprotein (7x pro Woche-Proteinshake verteilt auf 3 MZ bzw. auf 1 Port. n. d.Tr.)	Täglich auf die 3 Hauptmahlzeiten (Ziel >20 g/MZ) aufgeteilt. An Trainingstagen jedoch Gesamtmenge des Shakes nach dem Krafttraining.	Gleiche Energie (500 ml Orangensaft, 13 g Kohlenhydrat-pulver und 2 Arnotts YoYo-Süßkekse	2.) Dynamometer (Handgriffkraft, Knieextension) 3.) 6 min Gehstest	2.) Handgriffkraft ↑ Knieextension ↑ 3.) 6 min Gehstest ↑

Referenz	Region	Dauer	n	Geschlecht	Alter	Gesundheitszustand	Art der Bewegungsintervention	Häufigkeit, Dauer und Intensität der Bewegungsintervention	Art der Nährstoffintervention	Gesamtmenge an Protein/AS pro Woche	Häufigkeit und Zeitpunkt	Kontrollgruppe	Beurteilung der Outcomes 1.) Muskelmasse 2.) Muskelkraft 3.) körperlichen Funktion	Gemessene Outcomes (ZeitxGruppen-Interaktion)
Kukuljan et al., 2009	Australien	18 Mo	180	M	KG: 60,7 ± 7,1 Jahre PG: 61,7 ± 7,6 Jahre	gesund	Progressives Krafttraining mit freien Gewichten und an Maschinen für Ober- und Unterkörper. 6 UE (Kniebeuge oder Beinpresse, Ausfallschritte, Abduktion und Adduktion der Hüfte, Latzug, Rückenstrecker) + Kombination aus UE zur Bauch- und Rumpfstabilität. Zusätzliche UE zur Ent. d. Gleichgewichts	3x pro Woche; 60-75 min; Woche 0-12: 3 Sätze mit 15-20 WH bei 50 bis 60 % des 1-RM. Danach 2 Sätze mit 8-12 WH. Satz 1: 60-65 % von 1-RM; Satz 2: Woche 0-4: 60-70 % von 1-RM, Woche 5-12: 80-85% von 1-RM.	200 ml mit Kalzium und Vitamin D3 angereicherte Milch (Murray Goulburn Cooperative; 500 mg Kalzium und 400 IU Vitamin D3, 6,6 g Milchprotein)	92,4 g Milchprotein pro Woche (14x 6,6 g=2x pro Tag)	(2x200 ml Milch pro Tag: in der Früh und am Abend.	kein Placebo	1.)CT (CSA des Midfemur) 2.) 1- RM (Bankdrücken, Latzug, Beinpresse) 3.) 6 m Gehtest (Ganggeschwindigkeit)	1.) CSA des Midfemur ↓ 2.) Bankdrücken ↔E Latzug ↔E, Beinpresse ↔E 3.) 6 m Gehtest ↔S
Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	Kanada	4 Mo	30	M	KG: 64,0 ± 4,5 Jahre EAA_G: 64,0 ± 4,8 Jahre Milchsupplementen_G: 68,0 ± 5,6 Jahre	Sarkopenisch	Krafttraining mit Gewichten: 8 UE (Beinpresse, Bankdrücken, Beinstrecken und Schulterdrücken, Sit-Ups, Rudern, Bizepscurls und Beincurls)	3x wöchentlich; 60 min; 6-8 WH bei 80 % des 1-RM: Serienpause 1 Min.	2 Interventionsgruppen: a.) EAA_Supplement (379 ml Sojamilch + EAA Pulver + Schokoladensyrup; Nutricia; 12 g Protein, 7 g EAA davon 3,5 g Leucin) b.) Milchsupplement= 1 % Schokoladenmilch + Milchpulver (375 ml, 13,53 g Protein, 7 g EAA, 3,5 g Leucin)	a.) 36 g Protein; 21 g EAA (davon 10,5 g Leucin) pro Woche b.) 40,59 g Protein + 21 g EAA (davon 10,5 g Leucin) pro Woche	(3x pro Woche) direkt nach jedem Training	Kontrollgruppe erhielt Placebo (Reismilch mit Schokogeschmack)	1.) DXA (MM, MMI, AMMI) 2.) Aufstehetest (5x Aufstehen) 1-RM (Bankdrücken, Latziehen) 3.) 6m Gehtest (max. Ganggeschwindigkeit) , TUG Test, Aufstehetest (5x Aufstehen)	a.) EAA_Gruppe: 1.) MM ↑ MMI ↔E, AMMI ↔E 2.) Aufstehetest ↔E Bankdrücken ↓ Latziehen ↑ 3.) 6 m Gehtest ↔E, TUG ↔S Aufstehetest ↔E b.)MilchSUP_Gruppe: 1.) MM ↓ MMI ↔E AMMI ↔S 2.) Aufstehetest ↑ Bankdrücken ↓ Latziehen ↓ 3.) 6 m Gehtest ↔E TUG ↔S Aufstehetest ↑

Referenz	Region	Dauer	n	Geschlecht	Alter	Gesundheitszustand	Art der Bewegungsintervention	Häufigkeit, Dauer und Intensität der Bewegungsintervention	Art der Nährstoffintervention	Gesamtmenge an Protein/AS pro Woche	Häufigkeit und Zeitpunkt	Kontrollgruppe	Beurteilung der Outcomes 1.) Muskelmasse 2.) Muskelkraft 3.) körperlichen Funktion	Gemessene Outcomes (Zeitgruppen-Interaktion)
Molnár et al., 2016	Ungarn	3 M	34	W & M	KG: 66,35 ± 1,79 Jahre; PG: 66,59 ± 1,63 Jahre	Sarkopenisch, prä-sarkopenisch oder gesund	Kräftigungs-UE inklusive komplexer UE mit dem KG oder Widerstandsbändern (Bänder für UE der oberen und unteren Gliedmaßen, UE zur Kräftigung des Cores im Sitzen, und allg. UE zur Kräftigung und Dehnung der M.)	2x wöchentlich; 30min;	Molkenproteinbasierte Trinknahrung= FortiFit (40 g FortiFit Pulver + 125 ml Wasser enthält 20,7g Molkenprotein (3 g Leucin und >10 g EAA)	289,8 g Molkenprotein pro Woche (2x 20,7 g Molkenprotein/Tag)	zweimal täglich vor dem Frühstück und vor dem Mittagessen	Reines Krafttraining (wie die andere Gruppe)	1.) BIA (CMM) 2.) Dynamometer (Handgriffkraft)	1.) Muskelmasse ↔S 2.) Handgriffkraft ↔E

Wo=Wochen; Mo=Monate; n=Anzahl; W=weiblich, M=männlich; KG=Kontrollgruppe; PG=Proteingruppe; UE=Übungen; WH=Wiederholungen; RM=Wiederholungsmaximum; WP=Molkenprotein; AS=Aminosäure; EAA=essentielle Aminosäuren; BIA=Bioimpedanzanalyse; SMM=Skelettmuskelmasse; TUG=Time up and go Test; DXA=Doppelenergie Röntgenabsorptiometrie; MM=Muskelmasse; MMI=Muskelmassenindex; AMMI=Appendikulärer Muskelmassenindex; CSA=Querschnittsfläche; CT=Computertomographie; MRI=Magnetresonanztomographie; ↑=signifikante Erhöhung; ↓=signifikante Senkung; ↔E=keine signifikante Erhöhung; ↔S=keine signifikante Senkung

8.3 Verzerrungspotential in Studien

Das Verzerrungspotential der einzelnen Studien wurde, wie in Punkt 7.6 beschrieben, nach dem Jadad-Score beurteilt. Die Qualitätsmerkmale zur Bestimmung des Jadad-Scores sowie deren Bewertung werden in Tabelle 4 explizit dargestellt. Entsprechend der Jadad-Skala wurden drei Studien mit schlechter Qualität (<3 Punkten), vierzehn Studien mit guter Qualität (=3-4 Punkte) und eine Studie mit ausgezeichneter Qualität (=5 Punkte) bewertet (Jadad et al., 1996).

Tab. 4: Bewertungsmerkmale des Jadad Gesamtpunktescores

Referenz	Randomisierung	Methode der Randomisierung beschrieben & angemessen	Verblindung	Methode der Verblindung beschrieben & angemessen	Ausfälle und Ausschlüsse beschrieben	Gesamtpunkte
Sugihara et al., 2017	ja	nein	ja	ja	nein	3
Oesen et al., 2015	ja	nein	nein	nein	ja	2
Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	ja	nein	ja	ja	ja	4
Verdijk et al., 2009	ja	nein	ja	ja	ja	4
Holwerda et al., 2018	ja	nein	ja	ja	ja	4
Seino et al., 2018	ja	ja	nein	nein	Ja	3
Mori & Tokuda, 2018	ja	ja	nein	nein	ja	3
Nabuco et al., 2018	ja	ja	ja	ja	ja	5
Trabal et al., 2015	ja	nein	ja	ja	ja	4
Molnár et al., 2016	ja	nein	nein	nein	nein	1
Chalé et al., 2013	ja	nein	ja	ja	ja	4
Thomson et al., 2016	ja	ja	nein	nein	ja	3
Weisgarber et al., 2015	ja	nein	ja	ja	ja	4
Farnfield et al., 2012	ja	nein	ja	ja	ja	4
Holm et al., 2008	ja	nein	ja	ja	ja	4
Kukuljan et al., 2009	ja	nein	nein	nein	ja	2
Arnarson et al., 2013	ja	ja	ja	ja	ja	5
Leenders et al., 2013	ja	nein	ja	ja	ja	4

8.4 Ergebnisse einzelner Studien

8.4.1 Effekte in Bezug auf die Muskelmasse

Dreizehn der achtzehn einbezogenen Studien erhoben Daten zur Muskelmasse. Dabei wurden verschiedene Parameter (Totale Muskelmasse; Appendikuläre Muskelmasse, Muskelmassenindex; Appendikulärer Muskelmassenindex; Querschnittsfläche der totalen Muskelmasse, der Typ 1 oder Typ 2 Fasern, des Quadrizeps oder des mittleren Oberschenkels) für die Muskelmasse herangezogen und die Werte mittels vier unterschiedlicher Methoden (DXA, BIA, CT & MRT) erhoben. Sieben Studien untersuchten dabei den Einfluss von Molkenprotein in Kombination mit Krafttraining auf die Muskelmasse. Fünf dieser Studien stellten eine signifikante Steigerung der Muskelmasse und eine Studie eine signifikante Senkung der Muskelmasse nach dem Interventionszeitraum fest. Die Studie von Nabuco et al. (2018) untersuchte zusätzlich einmal den Einfluss von Molkenprotein, das vor dem Krafttraining konsumiert wurde, und einmal den Einfluss von Molkenprotein, das nach dem Krafttraining konsumiert wurde. Bei beiden Untersuchungen von Nabuco et al. (2018) war eine signifikante Steigerung der Muskelmasse zu beobachten. Im Vergleich zur Kontrollgruppe (reines Krafttraining) konnten lediglich drei dieser sieben Studien eine signifikante Verbesserung zeigen. So verbesserte sich die totale Muskelmasse bei Nabuco et al. (2018) bei der Supplementierung mit Molkenprotein nach dem Krafttraining deutlich. Bei Chalé et al. (2013) erhöhte sich die totale Querschnittsfläche der Muskulatur mittels Nährstoff- und Trainingsintervention, während bei Holwerda et al. (2018) lediglich die Querschnittsfläche der Typ 1 Muskelfasern jedoch nicht jene der Typ II Muskelfasern, gesteigert wurde.

Eine weitere Studie von Molnár und Kollegen untersuchte des Weiteren den Einfluss einer Molkenproteinbasierten Trinknahrung in Kombination mit Krafttraining auf die Muskelmasse bei älteren sarkopenischen, prä-sarkopenischen oder gesunden Personen. Sie stellten fest, dass die Intervention zu einer signifikanten Verbesserung der Muskelmasse führte. Im Vergleich zur Kontrollgruppe wurde jedoch eine nichtsignifikante Senkung der Muskelmasse beobachtet (Molnár et al., 2016). Verdijk et al. (2009) intervenierten im Vergleich dazu mit einem Kaseinsupplement in Kombination mit einem Krafttraining und kamen zum Schluss, dass die Muskelmasse (CSA des Quadrizeps) nach mehreren Wochen zwar stieg, im Vergleich zur Kontrollgruppe aber sogar signifikant weniger verbessert wurde. In einer kanadischen Studie wurde nach gleichem Schema der Einfluss eines Milchsplements bei sarkopenischen Probanden/innen untersucht. Maltais und Kollegen (2015) stellten dabei fest, dass die totale Muskelmasse und die appendikuläre Muskelmasse nichtsignifikant, der totale Muskelmassenindex jedoch nach der Intervention sehr wohl signifikant gesteigert wurde. Verglichen mit der Kontrollgruppe

konnte zusätzlich eine signifikante Senkung der Muskelmasse, eine nichtsignifikante Steigerung des Muskelmassenindex sowie eine nichtsignifikante Senkung des appendikulären Muskelmasseindex erhoben werden. Zusätzlich untersuchten Maltais und Kollegen (2015) in einem weiteren Studienarm auch den Einfluss von essentiellen Aminosäuren in Kombination mit Krafttraining und beobachteten, dass die Muskelmasse im Vergleich zur Basisuntersuchung zwar erhöht werden konnte, dies aber mit keiner Signifikanz erfolgte. Signifikant war hingegen die Verbesserung des Muskelmassenindex und des appendikulären Muskelmassenindex. Im Vergleich zur Kontrollgruppe wurde bei der Muskelmasse eine signifikante und beim Muskelindex und dem appendikulären Muskelmassenindex keine signifikante Verbesserung festgestellt. In zwei weiteren Studien wurden Milchproteine mit bzw. ohne zusätzliche Mikronährstoffsupplementierung in Kombination mit Krafttraining überprüft. Seino und Kollegen (2018) beobachteten eine Steigerung des Muskelmassenindex nach der Intervention, jedoch keine signifikante Steigerung im Vergleich zur Kontrollgruppe. Leenders et al. (2013) unterteilten ihre Beobachtungen des Weiteren nach Geschlecht und stellten lediglich bei Männern eine signifikante Steigerung der Querschnittsfläche des Quadrizeps im Zeitvergleich fest. Bei den Frauen wurde zwar in der ersten Hälfte der Intervention eine signifikante Erhöhung der Quadrizeps CSA beobachtet, in den weiteren zwölf Monaten erfolgte jedoch keine weitere aussagekräftige Steigerung. Bei beiden Geschlechtern ergaben sich außerdem keine signifikanten Verbesserungen der Quadrizeps CSA im Vergleich zur Kontrollgruppe. Eine dänische Studie untersuchte den Zusammenhang zwischen Krafttraining und mit Kalzium und Vitamin D angereicherter Milch in Bezug auf muskuläre Outcomes. Holm und Kollegen (2008) deuteten auf eine signifikante Steigerung der Quadrizeps CSA (proximal, mid und distal) hin. Aber auch sie beobachteten keine signifikante Senkung im Vergleich zur Kontrollgruppe. Tabelle 5 stellt die Ergebnisse der beschriebenen Interventionen auf die Muskelmasse noch einmal zusammenfassend dar.

8.4.2 Effekte in Bezug auf die Muskelkraft

Alle achtzehn inkludierten Studien erhoben verschiedene Parameter zur Muskelkraft. Sie bezogen sich entweder auf Messungen mit dem Dynamometer, dem 1-RM Test oder dem Aufstehetest. Neun Studien untersuchten dabei den Einfluss von Molkenprotein in Kombination mit Krafttraining auf die Muskelkraft. Bei den Kraftmessungen mittels Dynamometer wurde eine signifikante Steigerung der Handgriffkraft und/oder der Knieextension oder der Quadrizepskraft bei fünf dieser Studien erhoben. Zwei dieser fünf Studien beobachteten außerdem eine signifikante Senkung der Handgriffkraft bzw. der Knieextension im Vergleich zu der Kontrollgruppe. Chale et al. (2013) konnten jedoch

eine signifikante Steigerung der einbeinigen Knieextension (linkes und rechtes Bein) im Vergleich zur Kontrollgruppe feststellen. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Holm und Kollegen (2008) sowie Anarson und Kollegen (2013). Sie beobachteten eine signifikant stärkere Verbesserung der Quadrizepskraft bei der Interventionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe. Des Weiteren untersuchten sieben Studien, welche ein Molkenprotein supplementierten, die Verbesserung der Muskelkraft von diversen Muskelgruppen im 1-RM Test. Mit Ausnahme von Weisgarber und Kollegen (2015), die lediglich beim Beincurl eine nichtsignifikante Verringerung der Muskelkraft feststellten, konnte bei allen Überprüfungen (Bankdrücken, Knieextension, Preacher Curl, Beinpresse, Beinextension, Bizepscurl und Trizepscurl) eine eindeutige Steigerung der Muskelkraft nach der Interventionsperiode erhoben werden. Im Zeit-Gruppenvergleich beobachteten Farnfield et al. (2012) sowohl beim Bankdrücken, beim Beinpressen als auch bei der Beinextension eine signifikante Senkung der Muskelkraft. Denselben Effekt beobachteten auch Holwerda und Kollegen (2018) bei Messungen der Beinpresse und der Beinextension sowie Weisgarber et al. (2015) beim Beincurl und der Beinextension. Im Vergleich dazu erhoben vier Studien die Muskelkraft mittels Bankdrücken, Knieextension, Preacher Curl, Beinpresse, Bizepscurl und Trizepscurl und zeigten signifikante Steigerungen im Vergleich zur Kontrollgruppe. Über Erhebungen der Zeit für das fünfmalige Aufstehen beim Aufstehtest konnten außerdem zwei Studien eine eindeutige Verbesserung, sowohl im Zeit- als auch im Zeit-Gruppenvergleich beobachten. Nach den Interventionen verkürzte sich die Zeit für das fünfmalige Aufstehen nämlich eindeutig.

Oesen und Kollegen (2015) sowie Molnár und Kollegen (2016) beschäftigten sich mit dem Einfluss einer Molkenproteinbasierten Trinknahrung in Verbindung mit Krafttraining auf die Muskelkraft. Während die Handgriffkraft in beiden Erhebungen nach der Intervention eindeutig verbessert wurde, konnte keine eindeutige Verbesserung bzw. sogar eine klare Verschlechterung (bei Oesen und Kollegen, 2015) im Gruppenvergleich ermittelt werden. In Bezug auf die Kraft bei der Knieextension und der Knieflexion beobachteten Oesen et al. (2015) zwar eine klare Verbesserung nach der Intervention, aber keine eindeutige Steigerung der Kraft im Vergleich zur Kontrollgruppe. Beim Aufstehtest (Anzahl des Aufstehens in 30 Sekunden) stellten Oesen und Kollegen (2015) des Weiteren eine signifikante Verbesserung der Muskelkraft nach der Intervention fest. Im Vergleich zu einem reinen Krafttraining konnte jedoch kein Vorteil beobachtet werden.

Eine belgische Studie untersuchte den Effekt eines Kaseinproteins in Kombination mit Krafttraining. Verdijk et al. (2009) ermittelten, dass die Muskelkraft beim 1-RM der Beinpresse und der Beinextension sowohl nach der Intervention als auch im Vergleich zu einer reinen Krafttrainingsgruppe signifikant höher war.

Drei weitere Studien beschäftigten sich auf der anderen Seite mit dem Effekt eines Milchproteins mit oder ohne kombinierte Mikronährstoffaufnahme in Verknüpfung mit einem Krafttraining. Lediglich Thomson und Kollegen (2016) konnten bei der Handgriffkraft sowohl im Zeit- als auch im Gruppenvergleich eindeutige Verbesserungen beobachten. Leenders und Kollegen (2013) sowie Seino und Kollegen (2018) konnten jedoch keine deutliche Verbesserung der Handgriffkraft oder der Knieextension nach der Intervention feststellen. Im Gruppenvergleich ermittelten nur Seino et al. (2018) eine klare Verbesserung der Handgriffkraft. Beim 1-RM der Beinpresse und der Beinextension stellten Leenders und Kollegen (2013) außerdem fest, dass eine klare Verbesserung der Kraft zu beobachten war. Im Vergleich zur Kontrollgruppe gab es jedoch keine deutlichen Unterschiede. Des Weiteren untersuchten zwei dieser Studien auch noch die Kraftentwicklungen im Rahmen des Aufstehtests und konnten beide nach dem Interventionszeitraum eine Zeitverbesserung für das fünfmalige Aufstehen beim Aufstehtest beobachten. Erneut gab es aber keine deutlichen Unterschiede zur Kontrollgruppe.

In einer kanadischen Studie wurden zwei verschiedene Interventionen im Zusammenhang mit Krafttraining überprüft. Maltais, Ladouceur & Dionne (2015) beobachteten einmal den Einfluss von essentiellen Aminosäuren und einmal den Einfluss von einem Milchsupplement auf die Muskelkraft bei sarkopenischen Probanden/innen. Sie kamen zu dem Schluss, dass über das Milchsupplement die Kraft beim Bankdrücken und beim Latziehen signifikant gesteigert werden konnte, im Vergleich zur Kontrollgruppe aber eine signifikant schlechtere Verbesserung stattfand. Beim Aufstehtest konnte über das Milchsupplement zusätzlich keine eindeutige Verbesserung beobachtet werden und im Gruppenvergleich schnitt die Interventionsgruppe sogar schlechter ab als die Kontrollgruppe. Über die Supplementierung mit essentiellen Aminosäuren beim Bankdrücken wurde keine signifikante Verbesserung festgestellt und im Gruppenvergleich wurde sogar ein schlechteres Ergebnis beobachtet. Beim Latziehen führten die Supplementierungen mit essentiellen Aminosäuren hingegen zu signifikanten Kraftverbesserungen sowohl im Zeit- als auch im Gruppenvergleich. Beim Aufstehtest konnten zwar nach der Intervention Verbesserungen beobachtet werden, im Gruppenvergleich hatte die Interventionsgruppe jedoch das Nachsehen.

In einer weiteren Studie von Kukuljan et al. (2009), die den Effekt einer mit Vitamin D und Kalzium angereicherten Milch auf diverse Muskelparameter untersuchten, konnte eine signifikante Steigerung der Kraft beim Bankdrücken, Latziehen und bei der Beinpresse erhoben werden. Ob die Verbesserungen im Vergleich zur Krafttrainingsgruppe signifikant waren, war jedoch fraglich.

Trabal und Kollegen (2015) erhoben schlussendlich noch den Einfluss eines Leucinsupplements in Kombination mit Krafttraining auf diverse muskuläre Outcomes. Sie kamen zu dem Schluss, dass die Beinbeugekraft sowohl im Zeit- als auch im Gruppenvergleich eindeutig verbessert wurde. Beim Aufstehtest wurde des Weiteren eine eindeutige Verbesserung nach der Intervention festgestellt, wobei die Ergebnisse im Vergleich zur Krafttrainingsgruppe nicht deutlich besser waren. Tabelle 6 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die soeben beschriebenen Ergebnisse der Interventionen auf die Muskelkraft.

8.4.3 Effekte in Bezug auf die körperliche Leistungsfähigkeit

Zwölf Studien, die in diesem systematischen Review inkludiert wurden, erhoben neben Parametern zur Muskelmasse und zur Muskelkraft auch Parameter der körperlichen Funktion. Vier Studien beschäftigten sich dabei mit dem Einfluss eines Molkenproteins in Kombination mit Krafttraining auf die körperliche Funktion. Arnarson et al. (2013) beobachteten beim 6 min Gehtest beispielsweise eine signifikante Steigerung der Leistung nach der Intervention. Im Vergleich zur Kontrollgruppe stellten sie jedoch eine signifikant schlechtere Leistung fest. Beim TUG Test wurden in derselben Studie deutliche, aber nichtsignifikante Verbesserung der Testzeit im Vergleich zur Kontrollgruppe, welche nur Krafttraining durchführte, ermittelt. Beim Aufstehtest erhoben zwei weitere Studien (Holwerda et al., 2018; Nabuco et al., 2018) weder eine signifikante Verbesserung nach der Intervention noch im Gruppenvergleich. Bei der Punkteanzahl für den SPPB-Test verzeichneten Holwerda und Kollegen (2018) nach der Intervention zwar eine deutliche Steigerung, im Vergleich mit der reinen Krafttrainingsgruppe wurden jedoch keine Vorteile beobachtet.

Oesen und Kollegen beschäftigten sich in ihrer Studie mit dem Einfluss einer Molkenproteinbasierten Trinknahrung in Verbindung mit Krafttraining und stellten fest, dass sowohl die Zeit als auch die maximale Ganggeschwindigkeit bei einem 6 min Gehtest signifikant gesteigert werden konnte. Im Gruppenvergleich konnten jedoch keine Verbesserungen gegenüber der Kontrollgruppe beobachtet werden. Beim Aufstehtest (Anzahl des Aufstehens in 30 Sekunden) stellten Oesen und Kollegen (2015) des Weiteren eine signifikante Verbesserung der Leistung nach der Intervention fest. Im Vergleich zur Kontrollgruppe wurde jedoch keine stärkere Verbesserung beobachtet.

Drei weitere Studien beschäftigten sich nach dem gleichen Schema mit dem Einfluss eines Milchproteins mit oder ohne kombinierte Gabe von Mikronährstoffen. Thomson und Kollegen (2016) beobachteten beim 6 min Gehtest eine signifikante Verbesserung der Leistung nach der Intervention. Seino und Kollegen (2018) erhoben dasselbe beim

Aufstehetest (Anzahl des Aufstehens in 30 Sekunden). Auch im Gruppenvergleich konnten bessere Leistungen in den Interventionsgruppen ermittelt werden. Beim Aufstehetest mit fünfmaligem Aufstehen konnten Seino et al. (2018) jedoch keine eindeutigen Verbesserungen feststellen, weder nach der Intervention noch im Vergleich zur Kontrollgruppe. Hingegen beobachteten Leenders et al. (2013) beim fünfmaligen Aufstehen im Aufstehetest eine signifikante Verbesserung der Zeit, aber wiederum keine deutliche Verbesserung im Vergleich zur Kontrollgruppe.

In der Studie von Maltais, Ladouceur & Dionne (2015) wurden zwei verschiedene Interventionen überprüft. Über das Milchsupplement konnte das Studienpersonal weder im TUG Test noch im 6 m Gehstest Verbesserungen der Leistungen der sarkopenischen Teilnehmer/innen nach der Intervention erheben. Auch im Gruppenvergleich schnitt das Milchsupplement in Kombination mit dem Krafttraining nicht deutlich besser ab als ein reines Krafttraining. Beim fünfmaligen Aufstehen im Aufstehetest konnte das Milchsupplement im Zusammenspiel mit einem Krafttraining zwar keine deutliche Leistungssteigerung bewirken, erzielte aber verglichen mit der Kontrollgruppe eine signifikant geringere Testzeit. Im Gegensatz dazu führte die Supplementierung mit essentiellen Aminosäuren im Zusammenspiel mit Krafttraining in keinem Test zu einer signifikanten Verbesserung im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Kukuljan et al. (2009) untersuchten des Weiteren den Effekt einer mit Vitamin D und Kalzium angereicherten Milch in Kombination mit Krafttraining auf muskuläre Outcomes und die körperliche Funktion. Sie beobachteten, dass sich die Ganggeschwindigkeit beim 6 m Gehstest weder im Zeit- noch im Zeit-Gruppenvergleich signifikant verbesserte.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Trabal und Kollegen (2018). Sie überprüften den Einfluss eines Leucinsupplements in Kombination mit Krafttraining auf die Leistung beim TUG Test, Aufstehetest (5x Aufstehen) und beim 4 m Gehstest. Weder nach der Intervention noch im Vergleich mit einer reinen Krafttrainingsgruppe konnte eine deutlich stärkere Verbesserung bei der Interventionsgruppe beobachtet werden. Alle Ergebnisse, die im Zusammenhang mit der körperlichen Funktion stehen und gerade erwähnt wurden, werden in Tabelle 7 nochmals beschrieben.

Tab. 5: Ergebnisse von Effekten in Bezug auf die Muskelmasse

Methode	Art	Einheit	Studien	Nährstoff- intervention	Interventionsgruppe (Protein+Krafttraining)						Placebogruppe (Krafttraining)					Effekt		
					n ₁	Post x	Post σ	Differenz Zeitvergleich (post-pre) Diff x	Differenz Zeitvergleich (post-pre) σ	Signifikanz (α=0,05)	n ₂	Post x	Post σ	Differenz Zeitvergleich (post-pre) Diff x	Differenz Zeitvergleich (post-pre) σ	Differenz Gruppenzeitvergleich (post x _{n1} -post x _{n2}) Diff x	S	Signifikanz (α=0,05)
DXA	Muskelmasse (MM oder SMM)	kg	Sugihara et al., 2017	Molkenprotein	15	17,60	1,30	0,80	0,47	↑	16	17,50	1,90	0,40	0,67	0,10	1,64	↔E
			Nabuco et al., 2018	Molkenprotein_VOR	22	8,40	2,40	0,70	0,74	↑	12	16,60	2,20	-6,40	0,90	-8,20	2,33	↔S
			Nabuco et al., 2018	Molkenprotein_NACH	21	18,20	3,20	0,80	0,99	↑	12	16,60	2,20	-6,40	0,90	1,60	2,89	↑
			Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	Essentielle AS	8	58,20	7,90	1,90	4,00	↔E	10	57,60	6,80	1,40	2,93	0,60	7,30	↑
			Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	Milchsupplement	8	56,20	4,50	1,70	2,46	↔E	10	57,60	6,80	1,40	2,93	-1,40	5,91	↓
BIA	Muskelmasse (MM oder SMM)	kg	Molnár et al., 2016	Molkenproteinbasierte Trinknahrung	17	22,26	1,22	0,40	0,42	↑	17	22,98	1,41	-1,05	0,48	-0,72	1,32	↔S
DXA	Appendikuläre Muskelmasse (AMM)	kg	Amarson et al., 2013	Molkenprotein	83	24,40	1,20	0,60	0,86	↑	78	22,20	0,80	0,50	1,35	2,20	1,03	↔E
DXA	Muskelmassenindex (MMI oder SMI)	kg/m ²	Mori & Tokuda, 2018	Molkenprotein	25	6,30	0,50	0,20	0,14	↑	25	6,20	0,70	0,10	0,20	0,10	0,61	↔E
			Seino et al., 2018	Milchprotein + Mikronährstoffpräparat	38	6,99	0,80	0,07	0,19	↑	40	6,79	0,74	-0,09	0,17	0,20	0,77	↔E
		kgFFM/m ²	Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	Essentielle AS	8	19,70	1,70	0,80	0,83	↑	10	18,90	1,60	0,40	0,69	0,80	1,64	↔E

		kgFFM/m ²	Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	Milchsupplement	8	18,90	1,30	0,60	0,73	↑	10	18,90	1,60	0,40	0,69	0,00	1,48	↔E
DXA	Appendikulärer Muskelmassen-index (AMMI)	kgAFFM/m ²	Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	Essentielle AS	8	9,70	0,90	0,40	0,45	↑	10	9,30	1,10	0,40	0,45	0,40	1,02	↔E
		kgAFFM/m ²	Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	Milchsupplement	8	9,20	0,90	0,30	0,45	↔E	10	9,30	1,10	0,40	0,45	-0,10	1,02	↔S
CT	CSA Typ I Fasern %	%	Holwerda et al., 2018	Molkenprotein	21	52,00	3,00	-6,00	1,09	↓	20	49,00	4,00	-3,00	1,26	3,00	3,52	↑
	CSA Typ II Fasern %	%	Holwerda et al., 2018	Molkenprotein	21	48,00	3,00	6,00	1,09	↑	20	51,00	4,00	3,00	1,26	-3,00	3,52	↔S
	Totale Muskel CSA	cm ²	Chalé et al., 2013	Molkenprotein	42	100,70	21,70	4,40	4,75	↑	38	100,10	26,00	2,80	5,85	0,60	23,84	↑
	Quadrizeps CSA	cm ²	Verdijk et al., 2009	Kaseinprotein	13	80,00	3,00	6,20	1,22	↑	13	82,40	3,90	6,50	1,49	-2,40	3,48	↓
		cm ²	Leenders et al., 2013*1	Milchprotein	27	k.A.	k.A.				26	k.A.	k.A.					
	CSA des Midfemur	cm ²	Kukuljan et al., 2009	Milch mit Vit.D + Ca	45	147,80	18,20	1,90	3,77	↑	46	153,10	20,20	1,20	4,02	-5,30	19,24	↓
MRI	CSA Quadrizeps proximal	mm ²	Holm et al., 2008	Molkenprotein	13	4,62	0,20	0,32	0,08	↑	16	4,63	0,17	0,19	0,06	-0,01	0,18	↔S
	CSA Quadrizeps mid	mm ²	Holm et al., 2008	Molkenprotein	13	5,39	0,11	0,29	0,04	↑	16	5,84	0,20	0,27	0,07	-0,45	0,16	↔S
	CSA Quadrizeps distal	mm ²	Holm et al., 2008	Molkenprotein	13	3,07	0,12	0,18	0,05	↑	16	3,57	0,14	0,19	0,05	-0,50	0,13	↔S

k.A.=keine Angabe; ↑=signifikante Erhöhung; ↓=signifikante Senkung; ↔E=keine signifikante Erhöhung; ↔S=keine signifikante Senkung; x=Mittelwert; σ=Standardabweichung; S=Standardabweichung der gepoolten Stichproben; Diff x=Mittelwertdifferenz; CSA; Querschnittsfläche; MRI=Magnetresonanztomographie; BIA=Bioimpedanzanalyse; DXA=Doppeltenergie Röntgenabsorptiometrie; CT=Computertomographie.

*1 Steigerung der Quadrizeps CSA bei Frauen nach 24 Wochen nichtsignifikant, bei Männern signifikant. Kein signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe.

Tab. 6: Ergebnisse von Effekten in Bezug auf die Muskelkraft

Methode	Art	Studie	Nährstoff- intervention	Interventionsgruppe (Protein + Krafttraining)						Placebogruppe					Effekt		
				n ₁	Post x	Post σ	Differenz Zeitvergleich (post-pre) Diff x	Differenz Zeitvergleich (post-pre) σ	Signifikanz (α=0,05)	n ₂	Post x	Post σ	Differenz Zeitvergleich (post-pre) Diff x	Differenz Zeitvergleich (post-pre) σ	Differenz Gruppenzeit vergleich (post x _{n1} - post x _{n2}) Diff x	S	Signifikanz (α=0,05)
Dynamometer	Handgriffkraft (kg)	Mori & Tokuda, 2018	Molkenprotein	25	23,6	3,5	1,2	0,98	↑	25	23,7	5,6	0,6	1,54	-0,10	4,67	↓
		Oesen et al., 2015	Molkenproteinbasierte Trinknahrung	36	19,8	6,6	1	1,64	↑	41	20,4	5,8	0,6	1,34	-0,60	6,19	↓
		Molnár et al., 2016	Molkenproteinbasierte Trinknahrung	17	24,54	2,65	2,03	0,86	↑	17	22,18	2,19	-1,55	0,73	2,36	2,43	↔E
		Leenders et al., 2013*1	Milchprotein	27	k.A.	k.A.				26	k.A.	k.A.					
		Seino et al., 2018	Milchprotein + Mikronährstoffpräparat	38	24	6,1	0,1	1,47	↔E	40	23,3	5,9	0,5	1,30	0,70	6,00	↑
		Thomson et al., 2016	Milchprotein	54	36	10,7	1	2,02	↑	61	35,7	9,3	2	1,71	0,30	9,98	↑
	Knieextension (kg)	Mori & Tokuda, 2018	Molkenprotein	25	26,4	5,5	2,6	1,67	↑	25	27,8	4,3	1,1	1,15	-1,40	4,94	↓
	Knieextension (Nm)	Farnfield et al., 2012	Molkenprotein	9	171	12,9	31,6	6,59	↑	9	240,7	22,1	39,5	9,33	-69,70	18,09	↓
	Knieextension (Nm)	Thomson et al., 2016	Milchprotein	54	157,8	62,2	25,5	11,29	↑	61	152,8	50,1	30,5	8,50	5,00	56,10	↑
	Knieextension einbeinig li (N)	Chalé et al., 2013	Molkenprotein	42	386	212	127	38,54	↑	38	273	158	-17	32,88	113,00	188,33	↑
	Knieextension einbeinig re (N)	Chalé et al., 2013	Molkenprotein	42	378	119	92	25,54	↑	38	376	172	79	36,49	2,00	146,55	↑
	Quadrizepskraft (Nm)	Holm et al., 2008*2	Molkenprotein	13	k.A.	k.A.				16	k.A.	k.A.					
	Quadrizepskraft (N)	Amarson et al., 2013	Molkenprotein	83	519,7	184,1	56,5	24,41	↑	78	500,7	176	53,8	24,39	19,00	180,22	↑
	Knieextension 60° (Nm/kg)	Oesen et al., 2015	Molkenproteinbasierte Trinknahrung	36	1,14	0,4	0,07	0,10	↑	41	1,07	0,26	0,09	0,06	0,07	0,33	↔E
	Knieextension (Nm/kg)	Seino et al., 2018	Milchprotein + Mikronährstoff-präparat	38	1,13	0,37	0,01	0,08	↔E	40	1,06	0,35	0,04	0,08	0,07	0,36	↔E
	Beinkraft bei Beinbeugung	Trabal et al.,	Leucinsupplement	12	42,42	8,53	12,482	3,05	↑	12	33,515	8,533	6,007	3,05	8,91	8,53	↑

	von 120°C (kg)	2015 *4				3											
	Knieflexion 60°	Oesen et al., 2015	Molkenproteinbasierte Trinknahrung	36	0,61	0,18	0,02	0,05	↑	41	0,54	0,15	0,03	0,03	0,07	0,16	↔E
1-RM	Bankdrücken (kg)	Sugihara et al., 2017	Molkenprotein	15	47	8,8	2,8	3,21	↑	16	45,2	7,4	1,2	2,63	1,80	8,11	↑
		Nabuco et al., 2018	Molkenprotein_VOR	22	49	10	3	2,91	↑	23	45	8	2	2,36	4,00	9,03	↑
		Nabuco et al., 2018	Molkenprotein_NACH	21	48	10	3	2,94	↑	23	45	8	2	2,36	3,00	9,01	↑
		Farnfield et al., 2012	Molkenprotein	9	63,9	4,8	16,4	2,00	↑	9	74,2	1,7	23,1	0,67	-10,30	3,60	↓
		Kukuljan et al., 2009*3	Milch mit Vit.D + Ca	45	k.A.	k.A.				46	k.A.	k.A.					
		Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	Essentielle AS	8	55,4	15,1	4,3	9,06	↔E	10	59,4	18,9	11,7	6,65	-4,00	17,34	↓
		Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	Milchsupplement	8	49,2	15,1	7	7,70	↑	10	59,4	18,9	11,7	6,65	-10,20	17,34	↓
	Knieextension (kg)	Sugihara et al., 2017	Molkenprotein	15	57,2	10,9	4,5	3,87	↑	16	55,1	13,1	2,29	4,67	2,10	12,09	↑
		Nabuco et al., 2018	Molkenprotein_VOR	22	56	12	4	3,47	↑	23	56	13	4	3,83	0,00	12,52	↑
		Nabuco et al., 2018	Molkenprotein_NACH	21	59	12	4	3,55	↑	23	56	13	4	3,83	3,00	12,53	↑
	Knieextension einbeinig rechts (N)	Chalé et al., 2013	Molkenprotein	42	378	119	92	25,54	↑	38	376	172	79	36,49	2,00	146,55	↑
	Knieextension einbeinig links (N)	Chalé et al., 2013	Molkenprotein	42	386	212	127	38,54	↑	38	376	172	79	36,49	10,00	194,06	↑
	Preacher Curl (kg)	Sugihara et al., 2017	Molkenprotein	15	24,4	4,5	3	1,57	↑	16	24,3	4,6	2,3	1,54	0,10	4,55	↑
		Nabuco et al., 2018	Molkenprotein_VOR	22	25	4	2	1,21	↑	23	23	4	2	1,04	2,00	4,00	↑
		Nabuco et al., 2018	Molkenprotein_NACH	21	25	4	3	1,09	↑	23	23	4	2	1,04	2,00	4,00	↑
	Beinpresse (kg)	Holwerda et al., 2018	Molkenprotein	21	180	6	23	1,70	↑	20	188	7	26	2,06	-8,00	6,51	↓
	Beinpresse (N)	Chalé et al., 2013	Molkenprotein	42	1483	517	260	99,01	↑	38	1465	528	209	113,71	18,00	522,25	↑

	Beinpresse (kg)	Farnfield et al., 2012	Molkenprotein	9	57,6	4,9	18,3	2,09	↑	9	86	12,1	30	4,50	-28,40	9,23	↓
		Verdijk et al., 2009	Kaseinprotein	13	215	11	42	3,77	↑	13	210	10	40	3,55	5,00	10,51	↑
		Leenders et al., 2013*1	Milchprotein	27	k.A.	k.A.				26	k.A.	k.A.					
		Kukuljan et al., 2009*3	Milch mit Vit.D + Ca	45	k.A.	k.A.				46	k.A.	k.A.					
	Beinextension (kg)	Holwerda et al., 2018	Molkenprotein	21	102	4	17	1,09	↑	20	105	4	17	1,12	-3,00	4,00	↓
		Weisgarber et al., 2015	Molkenprotein	12	65,2	9,9	5,5	5,26	↑	12	66,2	13,5	5,2	6,07	-1,00	11,84	↓
		Farnfield et al., 2012	Molkenprotein	9	57,6	4,9	18,3	2,09	↑	9	86	12,1	30	4,50	-28,40	9,23	↓
		Verdijk et al., 2009	Kaseinprotein	13	115	5	31	1,78	↑	13	111	5	23	1,78	4,00	5,00	↑
		Leenders et al., 2013*1	Milchprotein	27	k.A.	k.A.				26	k.A.	k.A.					
	Beincurl (kg)	Weisgarber et al., 2015	Molkenprotein	12	60,1	7,4	-1,7	4,05	↔S	12	62,5	7,1	1	4,07	-2,40	7,25	↓
	Bizepscurl (kg)	Weisgarber et al., 2015	Molkenprotein	12	24	5	5,8	1,83	↑	12	22,5	4,1	3,5	1,74	1,50	4,57	↑
	Trizeps-extension (kg)	Weisgarber et al., 2015	Molkenprotein	12	20,5	4,2	9,5	1,31	↑	12	20,2	5,2	9,2	1,58	0,30	4,73	↑
	Latziehen (kg)	Kukuljan et al., 2009*3	Milch mit Vit.D + Ca	45	k.A.	k.A.				46	k.A.	k.A.					
		Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	Essentielle AS	8	70,2	10,2	8,2	5,70	↑	10	65,1	10,9	7,5	5,10	5,10	10,60	↑
		Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	Milchsupplement	8	61,4	9,9	8,6	5,13	↑	10	65,1	10,9	7,5	5,10	-3,70	10,47	↓
Aufstehetest	5x Aufstehen (s)	Holwerda et al., 2018	Molkenprotein	21	10,8	0,27	-0,77	0,08	↓	20	11,2	0,322	-1,1	0,10	-0,40	0,30	↔S
		Nabuco et al., 2018	Molkenprotein_VOR	22	10,8	1,1	-1,2	0,41	↓	23	11	1,8	-0,7	0,53	-0,20	1,50	↔S
		Nabuco et al., 2018	Molkenprotein_NACH	21	10,5	1,7	-1,2	0,49	↓	23	11	1,8	-0,7	0,53	-0,50	1,75	↔S
		Leenders et al., 2013*1	Milchprotein	27	k.A.	k.A.				26	k.A.	k.A.					

		Seino et al., 2018	Milchprotein + Mikronährstoffpräparat	38	6,1	1,5	-2,3	0,45	↓	40	6	1,1	-2	0,31	0,10	1,31	↔E
		Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	Essentielle AS	8	11,7	1,9	-1,2	1,17	↓	10	11,7	2,1	-0,4	0,96	0,00	2,01	↔E
		Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	Milchsupplement	8	12,4	2,9	-0,1	1,38	↔S	10	11,7	2,1	-0,4	0,96	0,70	2,48	↑
		Trabal et al., 2015 *4	Leucinsupplement	12	15,695	1,01	-5,15	0,55	↓	12	12,998	1,284	-1,924	0,64	2,70	1,16	↔E
	Anzahl des Aufstehens in 30 Sek	Seino et al., 2018	Milchprotein + Mikronährstoffpräparat	38	27,4	5,8	5,9	1,21	↑	40	26,5	4,7	5,2	1,03	0,90	5,26	↑
		Oesen et al., 2015	Molkenproteinbasierte Trinknahrung	36	15	7	3	1,43	↑	41	15	4	4	0,88	0	5,6	↔E

*1 Keine signifikante Steigerung der Handgriffkraft bei Frauen sowie bei Männern nach 24 Wochen Intervention, auch nicht im Gruppenvergleich. Die Kraft an der Beinpresse hat nach 24 Wochen Intervention bei Frauen um 31 % ± 3 % und bei Männern um 26 % ± 2 % zugenommen (P < 0,001), ohne Unterschiede zwischen den Gruppen. Nach 12-wöchiger Intervention hatte die Beinstreckkraft bei Frauen um 22 % ± 2 % und bei Männern um 23 % ± 2 % zugenommen (P<0,001), ohne Unterschiede zwischen den Gruppen. Zwischen 12 und 24 Wochen nach der Intervention erhöhte sich die Beinstreckkraft bei den Frauen um weitere 17 % ± 1 % und bei den Männern um 16 % ± 1 %. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen beobachtet. Signifikante Verbesserung der Zeit für fünfmaliges Aufstehen beim Aufstehtest sowohl bei Männern als auch bei Frauen. Keine Gruppenunterschiede feststellbar.

*2 Signifikante Steigerung der Quadrizepskraft nach 24 Wochen (14 ± 4 %). Im Vergleich zur Kontrollgruppe (8 ± 4 %) konnte ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen erkannt werden.

*3 Signifikante Steigerung der Kraft beim Bankdrücken, Latziehen und bei der Beinpresse. Stärker Verbesserungen im Vergleich zur Krafttrainingsgruppe, aber Signifikanz fraglich.

*4 Ergebnisse als Mittelwert der kleinsten Quadrate und Standardfehler des Mittelwertes angegeben.

k.A.=keine Angabe; ↑=signifikante Erhöhung; ↓=signifikante Senkung; ↔E=keine signifikante Erhöhung; ↔S=keine signifikante Senkung; x=Mittelwert; σ=Standardabweichung; S=Standardabweichung der gepoolten Stichproben; Diff x=Mittelwertdifferenz; 1-RM=Maximum bei einer Wiederholung; AS=Aminosäuren

Tab. 7: Ergebnisse von Effekten in Bezug auf die körperliche Funktion

Methode	Art	Studien	Nährstoff- intervention	Interventionsgruppe (Protein + Krafttraining)						Placebogruppe					Effekt		
				n1	Post x	Post σ	Differenz Zeitvergleich (post-pre) Diff x	Differenz Zeitvergleich (post-pre) σ	Signifikanz ($\alpha=0,05$)	n2	Post x	Post σ	Differenz Zeitvergleich (post-pre) Diff x	Differenz Zeitvergleich (post-pre) σ	Differenz Gruppen- zeitvergleich (post-pre) Diff x	S	Signifikanz ($\alpha=0,05$)
6 min Gehtest	Meter	Arnarson et al., 2013	Molkenprotein	83	477,10	38,00	35,10	9,62	↑	78	480,90	75,90	39,90	12,15	-3,80	59,45	↓
		Oesen et al., 2015	Molkenproteinbasierte Trinknahrung	36	396,00	143,00	37,00	29,18	↑	41	422,00	91,00	55,00	20,21	-26,00	118,15	↓
		Thomson et al., 2016	Milchprotein	54	641,20	61,30	36,60	11,34	↑	61	603,70	86,20	19,20	15,35	37,50	75,55	↑
	max. Ganggeschwin- digkeit (m/s)	Oesen et al., 2016	Molkenproteinbasierte Trinknahrung	36	1,62	0,83	0,12	0,18	↑	41	1,71	0,52	0,22	0,10	-0,09	0,68	↔S
TUG Test	Sekunden	Arnarson et al., 2013	Molkenprotein	83	8,70	1,70	0,60	0,30	↑	78	8,60	0,80	0,50	0,28	0,10	1,34	↔E
		Seino et al., 2018	Milchprotein + Mikronährstoff- präparat	38	5,50	1,00	-0,60	0,27	↓	40	5,40	0,60	-0,70	0,16	0,10	0,82	↔E
		Maltais, Ladouceur & Dionne, 2016	Milchsupplement	8	6,40	1,00	-0,10	0,55	↔S	10	7,00	1,40	0,10	0,58	-0,60	1,24	↔S
		Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	Essentielle AS	8	6,00	1,20	-1,30	0,63	↔S	10	7,00	1,40	0,10	0,58	-1,00	1,32	↔S
		Trabal et al., 2015 *2	Leucinsupplement	12	14,62	0,74	-3,54	0,51	↔S	12	16,08	0,79	-0,80	0,52	-1,46	0,76	↔S
Aufsteht est	5x Aufstehen (s)	Holwerda et al., 2018	Molkenprotein	21	10,80	0,27	-0,77	0,08	↔S	20	11,20	0,32	-1,10	0,10	-0,40	0,30	↔S
		Nabuco et al., 2018	Molkenprotein_VOR	22	10,80	1,10	-1,20	0,41	↔S	23	11,00	1,80	-0,70	0,53	-0,20	1,50	↔S
		Nabuco et al., 2018	Molkenprotein_NACH	21	10,50	1,70	-1,20	0,49	↔S	23	11,00	1,80	-0,70	0,53	-0,50	1,75	↔S
		Leenders et al., 2013*1	Milchprotein	27	k.A.	k.A.				26	k.A.	k.A.	*				
		Seino et al., 2018	Milchprotein + Mikronährstoffpräparat	38	6,10	1,50	-2,30	0,45	↔S	40	6,00	1,10	-2,00	0,31	0,10	1,31	↔E

		Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	Essentielle AS	8	11,70	1,90	-1,20	1,17	↔S	10	11,70	2,10	-0,40	0,96	0,00	2,01	↔E
		Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	Milchsupplement	8	12,40	2,90	-0,10	1,38	↔S	10	11,70	2,10	-0,40	0,96	0,70	2,48	↑
		Trabal et al., 2015*2	Leucinsupplement	12	15,70	1,01	-5,15	0,55	↔S	12	13,00	1,28	-1,92	0,64	2,70	1,16	↔E
	Anzahl des Aufstehens in 30 Sek	Seino et al., 2018	Milchprotein + Mikronährstoffpräparat	38	27,40	5,80	5,90	1,21	↑	40	26,50	4,70	5,20	1,03	0,90	5,26	↑
		Oesen et al., 2015	Molkenproteinbasierte Trinknahrung	36	15,00	7,00	3,00	1,43	↑	41	15,00	4,00	4,00	0,88	0,00	5,60	↔E
SPPB Punkte		Holwerda et al., 2018	Molkenprotein	21	11,50	0,20	0,20	0,05	↑	20	11,60	0,10	0,40	0,05	-0,10	0,16	↔S
4 m Gehtest	Ganggeschwindigkeit (s)	Trabal et al., 2015 *2	Leucinsupplement	12	4,78	0,29	-1,00	0,15	↔S	12	4,64	0,33	-0,32	0,15	0,15	0,31	↔E
6 m Gehtest	Ganggeschwindigkeit (m/s)	Kukuljan et al., 2009	Milch mit Vit.D + Ca	45	2,15	0,73	-0,43	0,18	↔S	46	2,44	0,80	-0,48	0,19	-0,29	0,77	↔S
		Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	Milchsupplement	8	1,90	0,30	-0,10	0,18	↔S	10	1,90	0,60	0,20	0,27	0,00	0,49	↔E
		Maltais, Ladouceur & Dionne, 2015	Essentielle AS	8	2,10	0,60	0,30	0,28	↑	10	1,90	0,60	0,20	0,27	0,20	0,60	↔E
400 m Gehtest	Ganggeschwindigkeit (m/s)	Chalé et al., 2013	Molkenprotein	42	1,10	0,20	0,00	0,04	↔E	38	1,00	0,20	0,00	0,05	0,10	0,20	↔E

*1 Signifikante Verbesserung der Zeit beim Aufstehtest, aber keine signifikanten Unterschiede zur Kontrollgruppe.

*2 Ergebnisse als Mittelwert der kleinsten Quadrate und Standardfehler des Mittelwertes angegeben.

k.A.=keine Angabe; ↑=signifikante Erhöhung; ↓=signifikante Senkung; ↔E=keine signifikante Erhöhung; ↔S=keine signifikante Senkung; x=Mittelwert; σ=Standardabweichung; S=Standardabweichung der gepoolten Stichproben; Diff x=Mittelwertdifferenz; TUG=Time up and go; SPPB=Short Physical Performance Battery

9 Diskussion

9.1 Zusammenfassung der Beweise

Das Ziel dieser systematischen Überprüfung war es, den Einfluss von Krafttraining in Kombination mit einem Protein- oder Aminosäuresupplement auf muskuläre Outcomes (Muskelmasse und Muskelkraft) und die körperliche Funktion bei älteren gesunden oder sarkopenischen Erwachsenen zu erheben und zu bewerten. Lediglich zwei Studien mit sarkopenischer Studienpopulation wurden inkludiert. Molnár et al. (2016) konnten keine signifikante Verbesserung der Muskelmasse bzw. der Muskelkraft durch das Zusammenspiel einer Molkenproteinbasierten Trinknahrung und einem Krafttraining im Vergleich zu reinem Krafttraining finden. Und auch Maltais, Ladouceur & Dionne (2015) stellten weder über eine Supplementierung mit essentiellen Aminosäuren noch über die Aufnahme eines Milchsupplements in Kombination mit Krafttraining eine eindeutige Verbesserung des primären Outcomes (Muskelmasse) oder der sekundären Outcomes (Muskelkraft und körperliche Funktion) fest. Aufgrund der geringen Studienanzahl zur sarkopenischen Population ist die Stärke der Beweise jedoch eingeschränkt.

Elf andere Studien, die in diese systematische Übersichtarbeit miteinbezogen wurden und Parameter zur Muskelmasse erhoben, inkludierten gesunde Personen in ihren Untersuchungen. Im Vergleich zu einem reinen Krafttraining konnten lediglich drei (Nabuceo et al., 2018; Chale et al., 2013; Holwerda et al., 2018) dieser elf Studien eine signifikante Verbesserung der Muskelmasse zeigen. Bei allen drei Studien wurden Supplementierungen mit Molkenprotein in größeren Mengen (81,3 g, 280 g & 210 g pro Woche) durchgeführt. Die Supplementierung erfolgte immer nach dem Krafttraining und teils auch noch zu zusätzlichen Zeiten.

Im Rahmen der sekundären Outcomes untersuchten alle sechzehn Studien, die eine gesunde Studienpopulation heranzogen, zumindest einen Parameter der Muskelkraft. Bei fünf von elf Studien, die dabei Messungen mit dem Dynamometer (Handgriffkraft oder Beinkraft) durchführten, konnte eine signifikante Steigerung der Kraft festgestellt werden. Diese positiven Effekte konnten zweimal auf eine Molkenproteinsupplementierung, und jeweils einmal auf eine Leucin-, Milchprotein- und Milchprotein plus Mikronährstoffgabe zurückgeführt werden. Bei der Überprüfung des 1-RM für verschiedene Muskelgruppen beobachteten fünf von zehn Studien, dass durch die Intervention von Nährstoffen in Kombination mit Krafttraining zumindest eine der beobachteten Muskelgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant gesteigert werden konnte. Lediglich Weisgarber et al. (2015) mussten neben einer deutlichen Steigerung der Trizepsextension und dem Bizepscurl auch eine Senkung der Kraft beim Beincurl und der Beinextension im Vergleich

zur Krafttrainingsgruppe feststellen. Vier dieser Studien supplementierten mit Molkenprotein, während eine ein Kaseinsupplement einsetzte. Bei einer von sechs Studien, welche die muskulären Auswirkungen mit Hilfe des Aufstehetests ermittelten, konnten signifikant bessere Ergebnisse in Bezug auf die Muskelkraft erhoben werden als bei den reinen Krafttrainingsgruppen. Die Intervention umfasste ein Milchprotein sowie ein Mikronährstoffpräparat in Kombination mit einem Krafttraining. Bei der Überprüfung der Effekte einer Kombination aus Nährstoffen und Krafttraining auf die körperliche Funktion konnten lediglich zwei von elf Studien, die diverse Tests zur Ermittlung der körperlichen Funktion durchführten, eine signifikante Verbesserung im Gruppenvergleich feststellen.

Thomson et al. (2016) beobachteten über die Gabe eines Milchproteins in Kombination mit Krafttraining beispielsweise eine Verbesserung im 6 min Gehetest. Seino und Kollegen (2018) deuteten außerdem auf eine Verbesserung des Aufstehetests durch die Zufuhr eines Milchproteins in Kombination mit einem Mikronährstoffpräparat und einem Krafttraining hin.

Insgesamt deuteten also jeweils weniger als 50 % der Studien, welche Parameter zur Muskelmasse, Muskelkraft oder der körperlichen Funktion erhoben auf eine signifikant stärkere Verbesserung der primären oder sekundären Outcomes verglichen zur Kontrollgruppe hin. Dementsprechend konnte auf keinen eindeutigen Vorteil der kombinierten Intervention bei gesunden oder sarkopenischen Probanden im Vergleich zu einem reinen Krafttraining geschlossen werden.

9.2 Einschränkungen

Dieser systematische Review weist einige Einschränkungen auf. Bei der Einbeziehung von Studien beschäftigte sich diese Übersichtsarbeit mit gesunden oder sarkopenischen Probanden/Probandinnen. Personen mit der Diagnose Frailty sollten dabei ausgeschlossen werden. Da zwischen Sarkopenie und Frailty ein relativ fließender Übergang besteht, konnte jedoch nicht mit Sicherheit bestätigt werden, dass die beiden Studien, die sich mit sarkopenischen Personen beschäftigten, nicht auch Personen, die an Frailty erkrankt waren, einschlossen.

Eine ähnliche Problematik ergab sich bei jenen sechzehn Studien, die eine gesunde Population zu Untersuchungszwecken heranzog. Der Großteil der einbezogenen Studien deutete zwar auf eine gesunde Studienpopulation hin, teilweise wurde jedoch auch beschrieben, dass ein kleiner Anteil der Probanden/Probandinnen an Stoffwechselerkrankungen litt. Da dieser Anteil jedoch keinen repräsentativen Charakter aufwies, wurden auch jene Studien in diese systematische Überprüfung miteinbezogen.

Des Weiteren konnten im Rahmen der sarkopenischen Population nur zwei Studien gefunden werden. Die Beweiskraft der beiden Studien ist aufgrund der geringen Anzahl an Studien begrenzt.

Diese Überprüfung ist aber auch aufgrund der Unterschiede zwischen den Studien limitiert. So unterschieden sich die Bewegungsinterventionen der Studien hinsichtlich der Art der Übungen, der Umfänge, der Intensitäten und der Dauer sehr stark voneinander. Des Weiteren wurde die Einhaltung dieser Protokolle nicht in allen Studien bestätigt. Dies schränkte die Beurteilung der tatsächlichen Auswirkungen der Trainingsinterventionen auf die Muskelparameter und die körperliche Funktion ein.

Zusätzlich variierten auch die in den Studien eingesetzten Supplemente sehr stark voneinander. So wurden unterschiedliche Supplemente in unterschiedlichen Dosen und Häufigkeiten sowie zu unterschiedlichen Zeitpunkten verabreicht. Diese Parameter dürften jedoch den größten Einfluss auf den potentiellen Nutzen von Nährstoffsupplementen auf die muskulären Outcomes und die körperliche Funktion zusätzlich zu einem Krafttraining haben.

Weiters gibt es auch im Rahmen der Ergebnisdarstellung vereinzelte Einschränkungen. So wurden in drei Studien lediglich die Veränderungen der Outcomes in Prozent oder pro Einheit angegeben. Auf die Angabe der Ausgangs- und Enddaten wurde jedoch verzichtet.

Und letztendlich wurde auch der Ernährungs- und Fitnesszustand der Probanden/innen beim Großteil der Studien nicht berücksichtigt. Dies sind jedoch bedeutsame Punkte im Zusammenhang mit der Effektivität der Interventionen. Mangelernährte Personen sprechen vermutlich weniger gut auf Krafttrainingsinterventionen an als normal genährte Personen, da für den Muskelmassenaufbau ausreichend Eiweiß zur Verfügung stehen muss. Auf der anderen Seite sprechen mangelernährte Probanden/Probandinnen vermutlich stärker auf Nahrungssupplemente an, als dies normal ernährte und besonders fitte Probanden/Probandinnen tun werden. Auch die Krafttrainingsinterventionen führen bei Personen mit schlechterem Fitnesszustand vermutlich zu einem stärkeren Effekt in Bezug auf die muskulären Outcomes und die körperliche Funktion. Bei körperlich sehr fitten Probanden gibt es vermutlich keine gravierenden Veränderungen zu beobachten.

9.3 Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich ein Krafttraining positiv auf die Muskelmasse, Muskelkraft und die körperliche Funktion bei älteren gesunden Personen ab 50 Jahren auswirkt. Eine weitere Verbesserung der Outcomes über die Gabe von Milchprotein- oder Aminosäuresupplementen zusätzlich zum Krafttraining konnte nur in

weniger als fünfzig Prozent der Studien beobachtet werden. Ansonsten konnte keine signifikante Steigerung der Muskelmasse, der Muskelkraft oder der körperlichen Funktion im Vergleich zu einem reinen Krafttraining erhoben werden. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass vor allem Milchproteine –beziehungsweise speziell das Molkenprotein– den größten Einfluss auf die gemessenen Outcomes erzielen können. Des Weiteren scheint die Verabreichung des Nährstoffsupplements nach dem Krafttraining einen weiteren Vorteil zu bewirken. Aufgrund der unterschiedlichen Krafttrainings- und Supplementierungsprotokolle und der fehlenden Daten zu den Ernährungs- und Fitnesszuständen der Studienpopulation ist die Stärke der Beweise jedoch limitiert. Um eindeutige Aussagen zum Einfluss von kombinierten Krafttrainings- und Nährstoffinterventionen auf muskuläre Outcomes und die körperliche Funktion treffen zu können, sind daher weitere Forschungsarbeiten nötig, welche die oben genannten Parameter genauer definieren und eine bessere Vergleichbarkeit aufweisen.

In Bezug auf die sarkopenische Population kann mit Hilfe der geringen Anzahl an Studien keine Aussage bezüglich der Effekte einer kombinierten Krafttrainings- und Nährstoffintervention auf die gemessenen Outcomes getroffen werden. Aufgrund der Zunahme der älteren Population und dem Fortschreiten von altersbedingten Erkrankungen wie Sarkopenie ist der Bedarf für weitere Studien in diesem Rahmen jedoch groß; speziell, weil der positive Effekt der kombinierten Intervention von Krafttraining und Proteinsupplementierungen in einem sehr aktuellen Review von Liao und Kollegen (2019) bereits bestätigt wurde. Auch in diesem Forschungsfeld müssten bei weiteren Studien jedoch diverse Parameter exakter erhoben bzw. beschrieben werden. Der Bedarf für weitere Forschungen im Zusammenhang mit der Prävention oder der Behandlung von Sarkopenie ist insgesamt jedoch hoch, und dieser sollte zukünftig vorangetrieben werden.

10 Literatur

- Arnarson, A., Geirsdottir, O. G., Ramel, A., Briem, K., Jonsson, P. V., Thorsdottir, I. (2013). Effects of whey proteins and carbohydrates on the efficacy of resistance training in elderly people: double blind, randomised controlled trial. *European Journal of Clinical Nutrition*, 67, 821-826. [doi:10.1038/ejcn.2013.40](https://doi.org/10.1038/ejcn.2013.40)
- Attie, K. M., Borgstein, N. G, Yang, Y., Condon, C. H., Wilson, D. M., Pearsall, A. E., ... Sherman, M. L. (2013). A single ascending-dose study of muscle regulator ACE-031 in healthy volunteers. *Muscle Nerve* 47(3), 416-423. [doi:10.1002/mus.23539](https://doi.org/10.1002/mus.23539)
- Beaudart, C., Dawson, A., Shaw, S. C., Harvey, N. C., Kanis, J. A., Binkley, N., ... the IOF-ESCEO Sarcopenia Working Group (2017). Nutrition and physical activity in the prevention and treatment of sarcopenia: systematic review. *Osteoporosis International*, 28, 1817-1833. [doi:10.1007/s00198-017-3980-9](https://doi.org/10.1007/s00198-017-3980-9)
- Beaudart, C., Reginster, J-Y., Slomian, J., Buckinx, F., Locquet, M., Bruyère, O. (2014). Prevalence of sarcopenia: the impact of different diagnostic cut-off limits. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 14(4), 425-431. Zugriff am 5. Dezember 2019 unter <http://www.ismni.org/jmni/pdf/58/04BEAUDART.pdf>
- Becker, C., Lord, S. R., Studenski, S. A., Warden, S. J., Dielling, R. A., Recknor, C. P., ... STEADY Group (2015). Myostatin antibody (LY2495655) in older weak fallers: a proof- of-concept, randomised, phase 2 trial. *Lancet Diabetes Endocrinology*, 3, 948-957. [doi:10.1016/S2213-8587\(15\)00298-3](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(15)00298-3)
- Burton, L. A., & Sumukadas, D. (2010). Optimal management of sarcopenia. *Clinical Interventions in Aging*. 5, 217-228. [doi:10.2147/cia.s11473](https://doi.org/10.2147/cia.s11473)
- Büsching, G. (2015). Ein Muss in der Geriatrie. Short Physical Performance Battery Test. *Physiopraxis*, 1, 42-43. Zugriff am 5. Dezember 2019 unter <https://www.thieme-connect-de.uaccess.univie.ac.at/products/ejournals/pdf/10.1055/s-0034-1399816.pdf> (limitierter Zugriff)
- Chalé, A., Cloutier, G. J., Hau, C., Phillips, E. M., Dallal, G. E., Fielding, R. A. (2012). Efficacy of whey protein supplementation on resistance exercise-induced changes in lean mass, muscle strength, and physical function in mobility-limited older adults. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Science and Medical Science*, 68(6), 682-690. [doi:10.1093/gerona/gls221](https://doi.org/10.1093/gerona/gls221)
- Cornish, S. M., Myrie, S. B., Bugera, E. M., Chase, J. E., Turczyn, D. & Pinder, M. (2018). Omega-3 supplementation with resistance training does not improve body composition or lower biomarkers of inflammation more so than resistance training

- alone in older men. *Nutrition Research*, 60, 87-95. [doi:10.1016/j.nutres.2018.09.005](https://doi.org/10.1016/j.nutres.2018.09.005)
- Cruz-Jentoft, A. J., Baeyens, J. P., Bauer, J. M., Boirie, Y., Cederholm, T., Landi, F., ... Zamboni, M. (2010). Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Ageing*, 39(4), 412-423. [doi:10.1093/ageing/afq034](https://doi.org/10.1093/ageing/afq034)
- Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., ... Zamboni, M. (2019). Guidelines. Sarcopenia: Revised European Consensus on Definition and Diagnosis. *Age and Ageing*, 48, 16-31. [doi:10.1093/ageing/afy169](https://doi.org/10.1093/ageing/afy169)
- Cruz-Jentoft, A. J., Landi, F., Schneider, S. M., Zúñiga, C., Arai, H., Boirie, Y., ... Cederholm, T. (2014). Prevalence of and interventions for sarcopenia in ageing adults: a systematic review. Report of the International Sarcopenia Initiative (EWGSOP and IWGS). *Age and Ageing*, 43(6), 748–759, [doi:10.1093/ageing/afu115](https://doi.org/10.1093/ageing/afu115)
- Cruz-Jentoft, A. J., Sayer, A. A. (2019). Sarcopenia. *Lancet*, 393, 2636-2646. [doi:10.1016/S0140-6736\(19\)31138-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)31138-9)
- Denison, H.J., Cooper, C., Sayer, A. A. & Robinson, S. M. (2015). Prevention and optimal management of sarcopenia: a review of combined exercise and nutrition interventions to improve muscle outcomes in older people. *Clinical Interventions in Aging*, 10, 859-869. [doi:10.2147/CIA.S55842](https://doi.org/10.2147/CIA.S55842)
- Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung (2019). *Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr* (5. aktualisierte Ausgabe). Bonn: Umschau Buchverlag.
- Dhillon, R. J. S. & Hasni, S. (2017). Pathogenesis and Management of Sarcopenia. *Clinics in Geriatric Medicine*, 33, 17-26. [doi:10.1016/j.cger.2016.08.002](https://doi.org/10.1016/j.cger.2016.08.002)
- Ethgen, O., Beaudart, C., Buckinx, F., Bruyère, O., Reginster, J.Y. (2017). The Future Prevalence of Sarcopenia in Europe: A Claim for Public Health Action. *Calcified Tissue International*, 100, 229-234. [doi:10.1007/s00223-016-0220-9](https://doi.org/10.1007/s00223-016-0220-9)
- Farnfield, M. M., Breen, L., Carey, K. A., Garnham, A., Camerson-Smith, D. (2012). Activation of mTOR signalling in young and old human skeletal muscle in response to combined resistance exercise and whey protein ingestion. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 37(1), 21-30. [doi:10.1139/h11-132](https://doi.org/10.1139/h11-132)
- Fitts, R. H., Peters, J. R., Dillon, E. L., Durham, W. J., Sheffield-Moore, M., Urban, R. J. (2015). Weekly versus monthly testosterone administration on fast and slow skeletal muscle fibers in older adult males, *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 100(2), 223-231. [doi:10.1210/2Fjc.2014-2759](https://doi.org/10.1210/2Fjc.2014-2759)

- Fried, L. P., Tangen, C. M., Walston, J., Newman, A. B., Hirsch, C., Gottdiener, J., ... Burke, G. (2001). Frailty in older adults evidence for a phenotype. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Science and Medical Science*, 56, 146–157. Zugriff am 24. September 2019 unter <https://academic.oup.com/biomedgerontology/article/56/3/M146/545770>
- Fry, C. S., Drummond, M. J., Glynn, E. L., Dickinson, J. M., Gundermann, D. M., Timmermann, K. L., ... Rasmussen, B. B. (2013). Skeletal muscle autophagy and protein breakdown following resistance exercise are similar in younger and older adults. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Science and Medical Science*, 68, 599-607. [doi:10.1093/gerona/gls209](https://doi.org/10.1093/gerona/gls209)
- Fry, C. S. & Rasmussen, B. B. (2011). Skeletal muscle protein balance and metabolism in the elderly. *Current Aging Science*, 4(3), 260-268. Zugriff am 2. August 2019 unter <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5096733/>
- Giallauria, F., Cittadini, A., Smart, N. A., Vigorito, C. (2015) Resistance training and sarcopenia. *Monaldi Archives for Chest Disease, Cardiac Series*, 84, 738-740. Zugriff am 5. Dezember 2019 unter <https://www.monaldi-archives.org/index.php/macd/article/view/738/718>
- Gielen, E., O'Neill, T. W., Pye, S. R., (2015). Endocrine determinants of incident sarcopenia in middle-aged and elderly European men. *Journal of Cachexia Sarcopenia and Muscle*, 6, 242-252. [doi:10.1002/jcsm.12030](https://doi.org/10.1002/jcsm.12030)
- Granacher, U., Borde, R. (2013). Dosis-Wirkungs-Beziehungen beim Krafttraining im Alter. *Schweizer Zeitschrift für Ernährungsmedizin*, 5, 22-32. Zugriff am 24. September 2019 unter https://www.rosenfluh.ch/media/ernaehrungsmedizin/2013/05/Muskulatur_im_Alter.pdf
- Hanach, N.I., McCullough, F., Avery, A. (2019). The Impact of Dairy Protein Intake on Muscle Mass, Muscle Strength, and Physical Performance in Middle-Aged to Older Adults with or without Existing Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Advances in Nutrition*, 10, 59-69. [doi:10.1093/advances/nmy065](https://doi.org/10.1093/advances/nmy065)
- Hofmann, M., Schober-Halper, B., Oesen, S., Franzke, B., Tschan, H., Bachl, N., ... Wessner, B. (2016). Effects of elastic band resistance training and nutritional supplementation on muscle quality and circulating muscle growth and degradation factors of institutionalized elderly women: the Vienna Active Ageing Study (VAAS). *European Journal of Applied Physiology*, 116, 885-897. [doi:10.1007/s00421-016-3344-8](https://doi.org/10.1007/s00421-016-3344-8)

- Holm, L., Olesen, J. L., Matsumoto, K., Doi, T., Mizuno, M., Alsted, T. J., ... Kjær, M. (2008). Protein-containing nutrient supplementation following strength training enhances the effect on muscle mass, strength, and bone formation in postmenopausal women. *Journal of Applied Physiology*, 105, 274-281. [doi:10.1152/jappphysiol.00935.2007](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00935.2007)
- Holwerda, A. M., Overkamp, M., Paulussen, K. J., Smeets, J. S., van Kranenburg, J., Backx, E. V., ... van Loon, L. J. (2018). Protein supplementation after exercise and before sleep does not further augment muscle mass and strength gains during resistance exercise training in active older men. *The Journal of Nutrition*, 148, 1723-1732. [doi:10.1093/jn/nxy16](https://doi.org/10.1093/jn/nxy16)
- Jadad, A. R., Moore, R. A. & Carroll, D. (1996). Assessing the quality of reports of randomized clinical trials: is blinding necessary? *Controlled Clinical Trials*, 17(1), 1-12. [doi:10.1016/0197-2456\(95\)00134-4](https://doi.org/10.1016/0197-2456(95)00134-4)
- Kanasi, E., Ayilavarapu, S. & Jones, J. (2016). The aging population: demographics and the biology of aging. *Periontology 2000*, 72, 13-18. Zugriff am 1. Dezember 2019 unter <https://onlinelibrary-wiley-com.uaccess.univie.ac.at/doi/epdf/10.1111/prd.12126>
- Keller, K. (2017). Sarcopenia. *Wiener Medizinische Wochenschrift*, 169, 157-172. [doi:10.1007/s10354-018-0618-2](https://doi.org/10.1007/s10354-018-0618-2)
- Kukuljan, S., Nowson, C. A., Sanders, K., Daly, R. M. (2009). Effects of resistance exercise and fortified milk on skeletal muscle mass, muscle size, and functional performance in middle-aged and older men: an 18-mo randomized controlled trial. *Journal of Applied Physiology*, 107, 1864-1873. [doi:10.1152/jappphysiol.00392.2009](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00392.2009)
- Landi, F., Liperoti, R., Fusco, D., Mastropaolo, S., Quattrociocchi, D., Proia, A., ... Onder, G. (2012). Prevalence and risk factors of sarcopenia among nursing home older residents. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Science and Medical Science*, 67(1), 48-55. [doi:10.1093/gerona/glr035](https://doi.org/10.1093/gerona/glr035)
- Leenders, M., Verdijk, L. B., Van der Hoeven, L., Van Kranenburg, J., Nilwik, R., Wodzig, W. K., ... Van Loon, L. J. (2013). Protein supplementation during resistance-type exercise training in the elderly. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(3), 542-552. [doi:10.1249/MSS.0b013e318272fcd6](https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318272fcd6)
- Liao, C., Chen, H., Huang, S., Liou, T. (2019). The role of muscle mass gain following protein supplementation plus exercise therapy in older adults with sarcopenia and frailty risks: a systematic review and meta-regression analysis of randomized trials. *Nutrients*, 11, 1-23. [doi:10.3390/nu11081713](https://doi.org/10.3390/nu11081713)

- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., Moher, D. (2009). The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *PLOS Medicine*, 6(7), 1-28. [doi:10.1371/journal.pmed.1000100](https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100)
- Lou, D., Lin, Z., Li, S. & Liu S. J. (2017). Effect of nutritional supplement combined with exercise intervention on sarcopenia in the elderly: A meta-analysis. *International Journal of Nursing Sciences*, 4, 389-401. [doi:10.1016/j.ijnss.2017.09.004](https://doi.org/10.1016/j.ijnss.2017.09.004)
- Maltais, M. L., Ladouceur, J. P. & Dionne, I. J. (2015). The effect of resistance training and different sources of postexercise protein supplementation on muscle mass and physical capacity in sarcopenic elderly men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1680-1687. [doi:10.1519/JSC.0000000000001255](https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001255)
- Makanae, Y. & Fujita, S. (2015). Exercise and Nutrition in the Prevention of Sarcopenia. *Journal of Nutrition Science and Vitaminology*, 61, 125-127. [doi:10.3177/jnsv.61.S125](https://doi.org/10.3177/jnsv.61.S125)
- Martone, M.A., Marzetti, E., Calvani, R., Picca, A., Tosato, M., Santoro, L.,... Landi, F. (2017). Exercise and protein intake: A synergistic approach against sarcopenia. *BioMed Research International*, 2017:2672435. [doi:10.1155/2017/2672435](https://doi.org/10.1155/2017/2672435)
- Marty, E., Liu, Y., Samuel, A., Or, O., Lane, J. (2017). A review of sarcopenia: Enhancing awareness of an increasingly prevalent disease. *Bone*, 105, 276-286. [doi:10.1016/j.bone.2017.09.008](https://doi.org/10.1016/j.bone.2017.09.008)
- Mitnitski, A. B., Mogilner, A. J., Rockwood, K. (2001). Accumulation of deficits as a proxy measure of aging. *The Science World Journal*, 1, 323-336. Zugriff am 24. September 2019 unter https://www.researchgate.net/publication/10708984_Accumulation_of_Deficits_as_a_Proxy_Measure_of_Aging/link/0c9605164454f125e0000000/download
- Molnár, A., Sztruhár, I. J., Csontos, A. A., Ferencz, C., Várbíró, S., Székács, B. (2016). Special nutrition intervention is required for muscle protective efficacy of physical exercise in elderly people at highest risk of sarcopenia. *Physiology International*, 103(3), 368-376. [doi:10.1556/2060.103.2016.3.12](https://doi.org/10.1556/2060.103.2016.3.12)
- Mori, H. & Tokuda, Y. (2018). Effect of whey protein supplementation after resistance exercise on the muscle mass and physical function of healthy older women: A randomized controlled trial. *Geriatrics and Gerontology International*, 18(9), 1398-1404. [doi:10.1111/ggi.13499](https://doi.org/10.1111/ggi.13499)
- Murton, A. J. (2015). Muscle protein turnover in the elderly and its potential contribution to

- the development of sarcopenia. *Proceedings of the Nutrition Society*, 74, 387-396.
[doi:10.1017/S0029665115000130](https://doi.org/10.1017/S0029665115000130)
- Nabuco, H. C. G., Tomeleri, C. M., Sugihara, P., Fernandes, R. R., Edilaine, F. Cavalcante E. F., ... Cyrino, E. S. (2018). Effects of whey protein supplementation pre- or post-resistance training on muscle mass, muscular strength, and functional capacity in pre-conditioned older women: a randomized clinical trial. *Nutrients*, 10, 563-577. [doi:10.3390/nu10050563](https://doi.org/10.3390/nu10050563)
- Naseeb, M. A. & Volpe, S. L. (2017). Protein and exercise in the prevention of sarcopenia and aging. *Nutrition Research*, 40, 1-20. [doi:10.1016/j.nutres.2017.01.001](https://doi.org/10.1016/j.nutres.2017.01.001)
- Rockwood, K., Andrew, M., Mitnitski, A. (2007). A comparison of two approaches to measuring frailty in elderly people. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, 62, 738-743. [doi:10.1093/gerona/62.7.738](https://doi.org/10.1093/gerona/62.7.738)
- Sakuma, K., Yamaguchi, A. (2012). Sarcopenia and cachexia: the adaptations of negative regulators of skeletal muscle mass. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 3, 77-94. [doi:10.1007/s13539-011-0052-4](https://doi.org/10.1007/s13539-011-0052-4)
- Sakuma, K., Yamaguchi, A. (2018). Recent advances in pharmacological, hormonal, and nutritional intervention for sarcopenia. *European Journal of Physiology*, 470(3), 449-460. [doi:10.1007/s00424-017-2077-9](https://doi.org/10.1007/s00424-017-2077-9)
- Schuster, T., Liesen, A. (2014). *Statistik für Wirtschaftswissenschaftler: Ein Lehr- und Übungsbuch für das Bachelor-Studium*. Berlin Heidelberg: Springer Gabler-Verlag.
- Seino, S., Sumi, K., Narita, M., Yokoyama, Y., Ashida, K., Kitamura, A., Shinkai, S. (2018). Effects of low-dose dairy protein plus micronutrient supplementation during resistance exercise on muscle mass and physical performance in older adults: a randomized, controlled trial. *Journal of Nutrition, Health and Aging*, 22(1), 59-67. [doi:10.1007/s12603-017-0904-5](https://doi.org/10.1007/s12603-017-0904-5)
- Serafini, E., Marzetti, E., Calvani, R., Picca, A., Tosato, M., Bernabei, R., Landi, F. (2019). Nutritional approach to sarcopenia. *Journal of Gerontology and Geriatrics*, 67, 52-61. Zugriff am 5. Dezember 2019 unter <https://www.researchgate.net/publication/332876050>
- Sousa, A. S., Guerra, R. S., Fonseca, I., Pichel, F., Ferreira, S., Amaral, R. F. (2016). Financial impact of sarcopenia on hospitalization costs. *European Journal of Clinical Nutrition*, 70, 1046-1051. [doi:10.1038/ejcn.2016.73](https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.73)
- Sugihara, P., Ribeiro, A. S., Nabuco, H. C. G., Fernandes, R. R., Tomeleri, C. M., Cunha,

- P. M., ... Cyrino, E. S. (2017). Effects of whey protein supplementation associated with resistance training on muscular strength, hypertrophy and muscle quality in pre-conditioned older women. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 28(5), 528-535. [doi:10.1123/ijsnem.2017-0253](https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0253)
- Thomas, D. K., Quinn M. A., Saunders, D. H. & Greig, C. A. (2016). Protein supplementation does not significantly augment the effects of resistance exercise training in older adults: a systematic review. *Journal of American Medical Directors Association*, 17, 959-959. [doi:10.1016/j.jamda.2016.07.002](https://doi.org/10.1016/j.jamda.2016.07.002)
- Thomson, R. L., Brinkworth, G. D., Noakes, M., Buckley, J. D. (2016). Muscle strength gains during resistance exercise training are attenuated with soy compared with dairy or usual protein intake in older adults: A randomized controlled trial. *Clinical Nutrition*, 35, 27-33. [doi:10.1016/j.clnu.2015.01.018](https://doi.org/10.1016/j.clnu.2015.01.018)
- Tieland, M., Boronjen-Van den Berg, K. J., van Loon, L. J., de Groot, L. C. (2012). Dietary protein intake in community-dwelling, frail, and institutionalized elderly people: scope for improvement. *European Journal of Nutrition*, 51, 173-179. [doi:10.1007/s00394-011-0203-6](https://doi.org/10.1007/s00394-011-0203-6)
- Tieland, M., Trouwborst, I. & Clark, B. C. (2018). Skeletal muscle performance and ageing. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 9, 3-19. [doi:10.1002/jcsm.12238](https://doi.org/10.1002/jcsm.12238)
- Trabal, J., Forga, M., Leyes, P., Torres, F., Rubio, J., Prieto, E., Farran-Codina, A. (2015). Effects of free leucine supplementation and resistance training on muscle strength and functional status in older adults: a randomized controlled trial. *Clinical Interventions in Aging*, 10, 713-723. [doi:10.2147/CIA.S75271](https://doi.org/10.2147/CIA.S75271)
- Verdijk, L. B., Jonkers, R. A., Gleeson, B. G., Beelen, M., Meijer, K., Savelberg, H. H., ... van Loon, L. J. (2009). Protein supplementation before and after exercise does not further augment skeletal muscle hypertrophy after resistance training in elderly men. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 89, 608-616. [doi:10.3945/ajcn.2008.26626](https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.26626)
- Wackerhage, H. (2017). Sarcopenia: causes and treatments. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 68, 178-183. [doi:10.5960/dzsm.2017.289](https://doi.org/10.5960/dzsm.2017.289)
- Weisgarber, K. D., Candow, D. G. & Farthing, J. P. (2015). Whey protein and high-volume resistance training in postmenopausal women. *The Journal of Nutrition, Health and Aging*, 19(5), 511-607. [doi:10.1007/S12603-015-0454-7](https://doi.org/10.1007/S12603-015-0454-7)
- Wilson, D., Jackson, T., Sapey, E., Lord, J. M. (2017). Frailty and sarcopenia: The potential role of an aged immune system. *Ageing Research Reviews*, 36, 1-10.

[doi:10.1016/j.arr.2017.01.006](https://doi.org/10.1016/j.arr.2017.01.006)

Xu, Z. R., Tan, Z. J., Zhang Q., Gui, Q. F. & Yang, Y. M. (2015). The effectiveness of leucine on muscle protein synthesis, lean body mass and leg lean mass accretion in older people: a systematic review and meta-analysis. *The British Journal of Nutrition*, 113(1), 25-34. [doi:10.1017/S0007114514002475](https://doi.org/10.1017/S0007114514002475)

11 Verzeichnisse

11.1 Abbildungsverzeichnis

<i>Abb.1.: EWGSOP2 Leitfaden zur Diagnose der Sarkopenie.</i>	21
<i>Abb.2.: Prozentsatz der über 60 Jährigen auf verschiedenen Flächen, Kontinenten oder in Ländern aus dem Jahr 2013.</i>	22
<i>Abb.3.: Verteilung der Sarkopeniefälle auf Frauen und Männer in den Jahren 2016 und 2045 in Bezug auf die höchsten und niedrigsten Prävalenzschätzungen.</i>	24
<i>Abb.4.: Der Mechanismus des mTORC1 Signalweges im menschlichen Skelettmuskel</i>	30
<i>Abb. 5: PRISMA flow chart</i>	45

11.2 Tabellenverzeichnis

<i>Tab. 1: EWGSOP2 Diagnostische Definition der Sarkopenie.</i>	17
<i>Tab. 2: EWGSOP2 Sarkopenie Grenzwerte</i>	20
<i>Tab. 3: Charakteristika der inkludierten Studien</i>	48
<i>Tab. 4: Bewertungsmerkmale des Jadad Gesamtpunktescores</i>	54
<i>Tab. 5: Ergebnisse von Effekten in Bezug auf die Muskelmasse</i>	61
<i>Tab. 6: Ergebnisse von Effekten in Bezug auf die Muskelkraft</i>	63
<i>Tab. 7: Ergebnisse von Effekten in Bezug auf die körperliche Funktion</i>	67

11.3 Abkürzungsverzeichnis

4E-BP1	4E-Bindungsprotein-1
ACE-Hemmer	Angiotensin-Converting-Enzym-Hemmer
AMMI	Appendikulärer Muskelmassenindex
AS	Aminosäuren
ASM	appendikuläre Skelettmuskelmasse
ATP	Adenosintriphosphat
BIA	Bioelektrische Impedanzanalyse
CSA	Querschnittsfläche
CT	Computertomographie

DXA	Dual-Energy-Röntgenabsorptionsmessung
EAA	essentielle Aminosäuren
eIF4G	eukaryotischen Translationsinitiationsfaktor 4G
GH	Wachstumshormon
IGF-1	Insulin-ähnlichen Wachstumsfaktor 1
IL6	Interleukin-6
k.A.	keine Angabe
KG	Kontrollgruppe
M	männlich
MM	Muskelmasse
MMI	Muskelmassenindex
MPS	Muskelproteinsynthese
mRNA-Translation.....	Boten-Ribonukleinsäure Translation
MRT	Magnetresonanztomographie
mTORC1	Rapamycin-Komplex 1
n	Anzahl
p70S6K	p70 ribosomalen Protein S6 Kinase
PG	Proteingruppe
RM.....	Wiederholungsmaximum
SCWD	Society for Sarcopenia, Cachexia and Wasting Disorders
SMI	Skelettmuskelindex
SMM.....	Skelettmuskelmasse
SPPB.....	Short Physical Performance Battery
TNF- α	Tumornekrosefaktor α
TUG.....	Time Up and Go Test
UE	Übungen
W	weiblich
WH	Wiederholungen

WP Molkenprotein