

# MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Bedeutung einer Proteinsupplementation auf fettfreie  
Körpermasse, Muskelkraft und funktionelle Leistungsfähigkeit  
in Kombination mit Krafttraining bei älteren Menschen mit  
Sarkopenie und Gebrechlichkeit – eine systematische  
Literaturrecherche“

verfasst von / submitted by

Leeb Sebastian, BEd, Bakk.rer.nat.

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

Master of Education (MEd)

Wien 2020 / Vienna 2020

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

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

Betreut von / Supervisor:

UA 199 500 510 02

Masterstudium Lehramt Sek (AB) UF Bewegung und  
Sport UF Geographie und Wirtschaft.

Ass.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

## Danksagung

Ich möchte mich auf diesem Weg bei einigen Menschen bedanken, die mich, insbesondere in den letzten Jahren, auf einem steinigen Weg begleitet und unterstützt haben.

Zuerst gilt mein Dank meiner Mutter, die für mich alles gegeben hat, um mir den späten Wunsch des Lehrberufs zu ermöglichen. Deine großartige Hingabe und Unterstützung in all meinen Lebensphasen sind nicht in Worte zu fassen – vielen Dank, ohne dich hätte ich mir diesen Traum nicht erfüllen können.

Außerdem möchte ich meiner wundervollen Freundin, Sarah, danken, die seit meinem Doppelstudium und meiner Arbeit viel hinnehmen musste und mich trotzdem bestärkt hat weiterzukämpfen und nicht aufzugeben.

Darüber hinaus möchte ich mich bei einigen Kollegen, die mir an der Universität eine unvergessliche Zeit beschert haben, bedanken. Ganz speziell möchte ich mich bei Matthias Hadatsch bedanken, der seit meiner ersten Stunde auf der Schmelz mein Wegbegleiter und guter Freund geworden ist. Meinen Dank will ich auch an Willy Max Joos und Jakob Heiß richten, die ich in den letzten Jahren kennenlernen durfte und dir mir stets bei Fragen zur Seite standen. Allen anderen „Schmelzis“ mit denen ich eine wundervolle Zeit verbracht habe, will ich ein herzliches Dankeschön ausrichten.



## Zusammenfassung

**Einleitung:** Weltweit steigt das Lebensalter der Bevölkerung zusehends an, wodurch sich das Risiko für Sarkopenie und Gebrechlichkeit stark erhöht hat. Sarkopenie und Gebrechlichkeit gehen mit einem Verlust der Muskelmasse, Muskelkraft, funktioneller Leistungsfähigkeit einher, was zu schwerwiegender Abhängigkeit und Institutionalisierung führen kann, wodurch enorme Kosten für eine Behandlung entstehen können. Neben einer altersbedingten Muskelatrophie spielt die zunehmende körperliche Inaktivität eine wesentliche Rolle für die Abnahme dieser Parameter. Daher sind körperliche Betätigung und Nahrungssupplementierung in der Prävention sowie der Behandlung von Sarkopenie und Gebrechlichkeit die Schlüsselfaktoren. Speziell Krafttraining als körperliche Betätigung als auch eine Proteinsupplementation könnten adäquate Methoden darstellen, um negative Auswirkungen auf die ältere Bevölkerung zu minimieren.

**Zielsetzung:** Ziel dieser Arbeit war es herauszufinden, welche Bedeutung eine Proteinsupplementation in Kombination mit Krafttraining auf Muskelkraft, Muskelmasse, funktionelle Leistungsfähigkeit sowie auf die Körperzusammensetzung bei älteren Personen mit Sarkopenie und Gebrechlichkeit hat. Darüber hinaus wurde versucht den Zeitpunkt für die Einnahme und die Dosis an Protein, das supplementiert werden soll, festzustellen.

**Methode:** Es wurde ein systematisches Review zur Beantwortung der Forschungsfragen durchgeführt. Die Datenbanken „Pubmed“, „Web of Science“ und „Science Direct“ wurden nach geeigneter Literatur durchsucht. Anhand von definierten Einschluss- und Ausschlusskriterien wurden acht Studien ausgewählt, die für die Beantwortung herangezogen worden sind.

**Ergebnisse:** Krafttraining in Kombination mit einer Proteinsupplementation kann positive Auswirkungen auf die Muskelkraft, Muskelmasse, funktionelle Leistungsfähigkeit sowie auf die Körperzusammensetzung haben. Hinsichtlich Muskelkraft und Muskelmasse waren die Ergebnisse inkonsistent, wobei die funktionelle Leistungsfähigkeit und die Körperzusammensetzung sich insgesamt verbessert haben. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die Trainingsintervention und die Proteinsupplementation, die für das Ausmaß der Effekte entscheidend sind.

**Schlüsselwörter:** Krafttraining, Proteinsupplementation, ältere Personen, Sarkopenie, Gebrechlichkeit, Muskelkraft, Muskelmasse, funktionelle Leistungsfähigkeit, Körperzusammensetzung

## Abstract

**Introduction:** Worldwide, the older population and the years of life are increasing, which has increased the risk of sarcopenia and frailty. Sarcopenia and frailty are accompanied by a loss of muscle mass, muscle strength, functional performance, which can lead to serious addiction and institutionalization, which results in enormous treatment costs. In addition to age-related amyotrophy, increasing physical inactivity plays an important role in the decrease in these parameters. Therefore, physical activity and nutritional supplementation are key factors in the prevention and treatment of sarcopenia and frailty. Physical activity in particular strength training as well as protein supplementation, could represent adequate methods to minimize negative effects on the older population.

**Objective:** The aim of this work was to analyze the importance of protein supplementation in combination with strength training for muscle strength, muscle mass, functional performance and body composition for older people with sarcopenia and frailty. In addition, it was attempted to determine the time for the intake and the dose of protein to be supplemented.

**Method:** In order to answer the research questions a systematic review was carried out. The databases "Pubmed", "Web of Science" and "Science Direct" were searched for suitable literature. Based on defined inclusion and exclusion criteria, eight studies were selected that were used for answering.

**Results:** Strength training in combination with protein supplementation can have positive effects on muscle strength, muscle mass, functional performance and body composition. The results were inconsistent regarding muscle strength and muscle mass, whereas the functional performance and body composition improved overall. Training intervention and protein supplementation play an important role and are decisive for the extent of the effects.

**Key words:** strength training, protein supplementation, the elderly, sarcopenia, frailty, muscle strength, muscle mass, functional performance, body composition

1	Einleitung und Problemstellung.....	1
1.1	Forschungsfrage und Zielsetzung.....	3
1.2	Methodik.....	3
1.3	Prisma Chart / Flow Diagramm.....	6
1.4	Auswahl der Studien.....	7
2	Theoretische Grundlage .....	8
2.1	Proteine .....	8
2.1.1	Aufbau und Vorkommen der Proteine.....	8
2.1.2	Funktionen der Proteine .....	9
2.1.3	Aminosäuren .....	10
2.1.4	Verzweigt-kettige Aminosäuren .....	14
2.1.5	Empfehlungen für Proteineinnahme.....	15
2.2	Sarkopenie .....	16
2.2.1	Ursachen.....	20
2.2.2	Prävalenz von Sarkopenie.....	22
2.3	Gebrechlichkeit.....	24
2.3.1	Ursachen.....	26
2.3.2	Prävalenz von Gebrechlichkeit .....	28
2.4	Diagnosemethoden.....	30
2.4.1	Isometrische Messung der Handgriffkraft.....	34
2.4.2	Der Aufstehetest (chair-stand test) .....	35
2.4.3	Gehgeschwindigkeit.....	35
2.4.4	Short Physical Performance Batterie .....	37
3	Hauptteil .....	39
3.1	Pedro-Skala.....	39
3.1.1	Skalenkriterien.....	39
3.1.2	Übersichtstabelle PEDro Skala .....	40
3.2	Studienübersicht.....	40
3.3	Analyse der Studien.....	43
3.3.1	Collagen peptide supplementation in combination with resistance training improves body composition and increases muscle strength in elderly sarcopenic men: a randomised controlled trial.....	43

3.3.2	Effects and feasibility of exercise therapy combined with branched chain amino acid supplementation on muscle strengthening in frail and pre-frail elderly people requiring long-term care: A crossover trial .....	46
3.3.3	Effects of Leucine-Enriched Whey Protein Supplementation on Physical Function in Post-Hospitalized Older Adults Participating in 12-Weeks of Resistance Training Program: A Randomized Controlled Trial .....	49
3.3.4	Long-term effects of exercise and amino acid supplementation on muscle mass, physical function and falls in community-dwelling elderly Japanese sarcopenic women: A 4-year follow-up study .....	53
3.3.5	Protein Supplementation Augments Muscle Fiber Hypertrophy but Does Not Modulate Satellite Cell Content During Prolonged Resistance- Type Exercise Training in Frail Elderly .....	55
3.3.6	Resistance training and co-supplementation with creatine and protein in older subjects with frailty: a small-scale exploratory study .....	58
3.3.7	Synergistic effect of bodyweight resistance exercise and protein supplementation on skeletal muscle in sarcopenic or dynapenic older adults .....	61
3.3.8	The Effect of Resistance Training and different Sources of Postexercise Protein Supplementation on Muscle Mass and Physical Capacity in Sarcopenic Elderly Men.....	65
4	Diskussion der Ergebnisse .....	70
5	Zusammenfassung und Ausblick .....	81
	Literaturverzeichnis.....	83
	Tabellenverzeichnis .....	95
	Eidstaatliche Erklärung .....	96

## 1 Einleitung und Problemstellung

Weltweit sind mehr als 800 Millionen Menschen älter als 60 Jahre (ca. 12% der Weltbevölkerung), wobei die ältere Bevölkerung weiter zunimmt. Bis 2050 werden voraussichtlich mehr als 2 Milliarden Menschen über 60 Jahre alt sein (Wasay et al., 2016). In Österreich ist der Anteil sogar noch höher, denn 19% der gesamten österreichischen Bevölkerung ist über 65 Jahre (Statista, 2020).

Altern ist mit einer Verminderung der Muskelmasse verbunden, die häufig zu einer eingeschränkten körperlichen Mobilität und Kraftlosigkeit führen kann (Bernabei et al., 2014). Zusätzlich haben diese Veränderungen eine Abnahme der fettfreien Masse zufolge, die unter anderem nach dem 60 Lebensjahr beschleunigt werden und zu Gebrechlichkeit, Invalidität und funktionalen Einschränkungen führen können. Dieser Prozess führt zu einer Verringerung der Fähigkeit, Aktivitäten des täglichen Lebens auszuführen, wodurch die Abhängigkeit von anderen Menschen erhöht wird (Geirsdottir et al., 2013). Dieser Prozess ist besser bekannt als Sarkopenie, eine unfreiwillige und altersbedingte Reduktion der Muskelmasse und Muskelkraft, die mit Faktoren wie Verlust der Alpha-Motoneuronen, Zunahme entzündlicher Zytokine und Hormonabnahme von Androgen, Testosteron und Östrogen und wiederum mit einer schlechten körperlichen Leistungsfähigkeit einhergehen (Dreyer et al., 2005; Jones et al., 2009; Liao et al., 2019; Malafarina et al., 2012; Visser et al., 2002). Der Grad des Muskelmasseverlusts bestimmt, ob bei einer Person Sarkopenie diagnostiziert wird oder nicht. Eine Auswahl von Techniken helfen bei der Bestimmung der Muskelmasse, wie zum Beispiel Dual-Energy-Röntgenabsorptiometrie (DEXA), Computertomographie, Magnetresonanztomographie und Ultraschall (Jones et al., 2009).

Sarkopenie geht oftmals mit Gebrechlichkeit einher und birgt ähnliche Risiken, wie zum Beispiel unbeabsichtigter Gewichtsverlust, Schwäche, Erschöpfung, geringe körperliche Aktivität, Verschlechterung der Mobilität und kann schlussendlich mit dem Tod enden (Fried et al., 2001). Ab dem 30. Lebensjahre nimmt die Skelettmuskelmasse ab, mit einer durchschnittlichen Reduktion von 15% pro Jahrzehnt ist nach dem 50 Lebensjahr zu rechnen. Ab dem 70. Lebensjahr steigt die durchschnittliche Abnahme sogar auf 30 % pro Jahrzehnt (von Haehling et al., 2012). Diese stetige Abnahme der Skelettmuskelmasse begünstigt Sarkopenie bei älteren Menschen, was sich in der Prävalenz festhalten lässt. Zwischen 60 und 70 Jahren liegt die Prävalenz zwischen 5% und 25% und zwischen 11% und 50% bei über 80 Jährigen (Yazar et al., 2019). Eine schlechte körperliche Konstitution bei älteren Personen, wie zum Beispiel Schwierigkeiten beim Gehen, beim Aufstehen vom Stuhl oder Bett, ist von besonderem Interesse, da sie mit einer früheren Sterblichkeit, einer verstärkten Inanspruchnahme der Gesundheitsversorgung und der Aufnahme in Altersheime zusammenhängt (Geirsdottir et al., 2013).

Eine unausgewogene Nahrungsaufnahme kann das Fortschreiten einer Sarkopenie begünstigen. Eine proteinarme Ernährung verstärkt diesen Effekt noch weiter, da diese von einer Verringerung der fettfreien Masse gekennzeichnet ist (Andrews et al., 2006). Die empfohlene Proteinzufuhr von 0,8 g pro Kilogramm Körpergewicht pro Tag reicht bei älteren Menschen meist nicht aus. Darüber hinaus vermuten andere Autoren, dass ältere Menschen im Vergleich zu jungen Testpersonen eine stumpfe Reaktion der Muskelproteinsynthese auf die Verabreichung von Proteinen und körperlicher Aktivität zeigen (Finger et al., 2015). Daher wird bei älteren Personen eine tägliche Proteinzufuhr von 1,25 bis 1,5 g pro Kilogramm Körpergewicht pro Tag empfohlen, um der Verringerung der fettfreien Masse entgegenzuwirken (Wolfe et al., 2008). Proteine - speziell essenzielle Aminosäuren - können nützliche Nahrungsergänzungsmittel sein, um den Muskelproteinanabolismus und vermutlich auch die Muskelgröße und -funktion zu erhalten, insbesondere bei Inaktivität, Mangelernährung und Gebrechlichkeit (Borack et al., 2016). Innerhalb einer klinischen Studie (Tieland, Michael et al., 2012) wurden drei verschiedenen Gruppen, bestehend aus 70 bis 85-jährigen gebrechlichen Personen, entweder ein Placebo mit Kohlenhydraten oder 1,2 g oder 1,5 g Protein pro Kilogramm Körpergewicht verabreicht. Nach 12 Wochen wurden die Gruppen auf Gehgeschwindigkeit, Muskelmasse in den Extremitäten und den vier Typen von Skelettmuskelmaßen verglichen. Diese vier Typen bestehen aus dem Verhältnis zwischen Skelettmuskeln und Körperfett/ Körpermaßindex/ Gewicht oder Größe. Die Autoren konnten eine signifikante Steigerung der Gehgeschwindigkeit bei der letzten Gruppe mit 1,5 g Protein pro Körpergewicht feststellen. Darüber hinaus war das Verhältnis zwischen Muskelmasse in den Extremitäten und Körperfett, Gewicht und Körpermaßindex signifikant höher als in den anderen beiden Gruppen, jedoch waren kaum Unterschiede zwischen der Placebogruppe und der zweiten Gruppe mit 1,2 g Protein pro Körpergewicht feststellbar.

Ein ähnliches Ergebnis konnte auch in einem systematischen Review und Metaanalyse (Cheng et al., 2018) festgehalten werden. Die Autoren führen aus, dass die Ergänzung mit essenziellen Aminosäuren und Proteine durch orale Nahrungsergänzung oder durch proteinreiche Lebensmittel die fettfreie Masse, die Muskelkraft und die körperliche Funktion bei unterernährten, gebrechlichen und älteren Menschen mit Sarkopenie verbessern können. Weiters meinen sie, dass aufgrund der Heterogenität der Ergebnisse einiger Studien kein exaktes Ergebnis hinsichtlich der Muskelkraft und der körperlichen Funktion festgehalten werden kann.

Die kombinierte Einnahme von Proteinsupplementationen und Krafttraining bzw. physischer Aktivität ist eine sehr vielversprechende Methode, um die negativen Auswirkungen von Sarkopenie aufzuhalten. Speziell drei Stunden nach einem Krafttraining

kann die Muskelproteinsynthese mittels qualitativ hochwertiger Proteine, wie Molke-, Sojaprotein oder Kasein unterstützt werden. Eine wichtige Komponente für ältere Menschen bei der Bestimmung der Reaktion der Muskelproteinsynthese kann der Leucingehalt des Proteins sein. Bei dem Versuch, die Proteinaufnahme zu maximieren, scheinen Milchproteine und ihre isolierten Formen, Molke und Kasein einen anabolen Vorteil gegenüber Sojaproteinen bei der Förderung der Muskelhypertrophie zu bieten (Tang, J. E. et al., 2009).

Verschiedene Proteinsupplementationen, Bewegungstherapien oder eine Kombination aus beiden werden empfohlen, um Sarkopenie oder Gebrechlichkeit bei älteren Personen zu verhindern (Liao et al., 2018; Phillips, 2015). Es bleibt jedoch unklar, ob eine Proteinergänzung mit Krafttraining zu Veränderungen der Muskelmasse, zur Steigerung der Kraft und zur Verbesserung der funktionellen Leistungsfähigkeit beitragen könnten.

### 1.1 Forschungsfrage und Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist, die Auswirkungen einer Supplementation von Protein in Kombination mit einer Trainingsintervention bei älteren Menschen, die gebrechlich und/oder Sarkopenie leiden, zu beleuchten.

Die zentrale These lautet, dass eine Supplementation mit Proteinen in Verbindung mit Trainingsinterventionen zu einer Verbesserung der freien Fettmasse, der Muskelkraft und der funktionellen Leistungsfähigkeit bei älteren gebrechlichen Menschen mit Sarkopenie führen kann.

1. Welche Auswirkungen kann eine Supplementation von Proteinen in Verbindung mit Trainingsinterventionen auf die freie Fettmasse, Muskelkraft und funktionelle Leistungsfähigkeit bei älteren gebrechlichen Personen mit Sarkopenie haben?
2. Welche Dosis von Proteinsupplementen und welcher Zeitpunkt können zu den größten Zuwächsen auf die oben genannten Parameter gewährleisten?

### 1.2 Methodik

Diese wissenschaftliche Arbeit wird hermeneutisch bearbeitet und stützt sich auf eine systematische Literaturrecherche. Es wurden Artikel der letzten fünf Jahre in drei unterschiedlichen Datenbanken analysiert und ausgewählt. Die umfassende Suche wurde in den Onlinedatenbanken „PubMed“, „Web of Science“ und „Science Direct“ vollzogen. Mithilfe von Ein- und Ausschlusskriterien, die vorher definiert wurden und die Suche maßgeblich einschränkten, wurde nach geeigneten Artikeln gesucht, um die Fragestellung der Arbeit beantworten zu können. Die ausgewählten Artikel wurden gründlich auf die vorher definierten Kriterien untersucht und im Anschluss miteinander verglichen und

analysiert. Darüber hinaus wurde die Literatursuche in Form eines „Prismacharts“ festgehalten und veranschaulicht.

Die Recherche wurde wie folgt mithilfe von Operatoren bzw. Suchbegriffen aufgebaut, die in vier unterschiedliche Gruppen aufgeteilt und in Kombination in die Datenbanken eingegeben wurden.

Die erste Gruppe sind die Proteinsupplemente, die den Testpersonen verabreicht werden mussten.

- Protein supplementation
- Amino-acid supplementation
- Nutrient supplement

Die nächste Gruppe definiert speziell das Testpersonenkollektiv, welches ältere Menschen, weiblich als auch männlich, die unter Sarkopenie leiden und/oder gebrechlich sind, beinhaltet. Diese zwei Parameter sind im Alter oft gleichzeitig nachweisbar, weshalb sie kombiniert wurden.

- Older
- Elderly
- Frailty
- Frail
- Sarcopenia

Die dritte Gruppe soll die Auswirkungen der Proteinsupplementation in Kombination mit Krafttraining auf die festgelegten Parameter dieser Gruppe definieren.

- Lean body mass
- Fat free mass
- Body composition
- Muscle mass
- Strength
- Muscle mass
- Physical strength

Die letzte Gruppe inkludiert alle Artikel, die Krafttraining in unterschiedlichsten Formen in Kombination mit den anderen Parametern herangezogen haben.

- Resistance training
- Exercise training
- Strength training
- Exercise

Im Anschluss wurden die Operatoren wie folgt in die unterschiedlichen Onlinedatenbanken eingegeben.

("protein supplementation" OR "amino-acid supplementation" OR "nutrient supplement") AND ("older" OR "elderly" OR "frailty" OR "frail" OR "sarcopenia") AND ("lean body mass" OR "fat free mass" OR "body composition" OR "muscle mass" OR "strength" OR "muscle mass" OR "physical strength") AND ("resistance training" OR "exercise training" OR "strength training" OR "exercise")

Die Literatursuche wurde zusätzlich noch anhand von Filterkriterien und Ein- und Ausschlusskriterien, wie bereits erwähnt, weiter eingegrenzt.

Folgende Filterkriterien wurden zusätzlich ergänzt:

- „clinical trials“
- „humans“
- „5 years“
- „english“
- „+65 years“

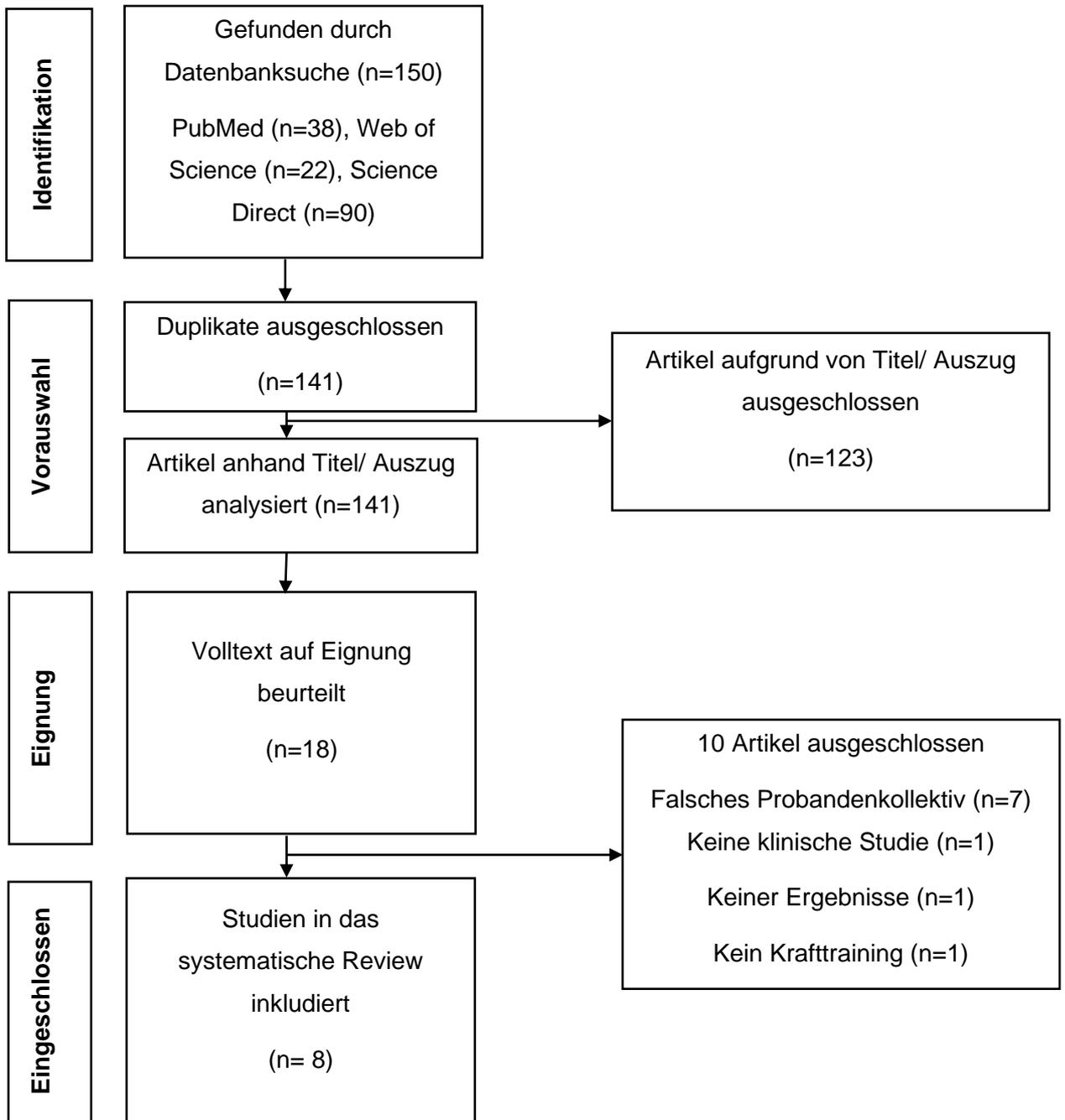
Diese Filterkriterien waren insbesondere bei „PubMed“ sehr einfach auszuwählen, wobei sich die Suche bei „Web of Science“ und Science Direct“ etwas schwieriger eingrenzen ließ. Deshalb sind trotz einer großen Anzahl an Operatoren und Ein- und Ausschlusskriterien, insbesondere bei „Science Direct“, verhältnismäßig viele Artikel zur Auswahl übriggeblieben. Darüber hinaus wurden bei letztgenannter Onlinedatenbank viele Artikel angezeigt, die keine Operatoren im Titel beinhaltet hatten.

Als Einschlusskriterien wurden folgende Punkte definiert, um die Auswahl zu begrenzen und eine möglichst hohe Vergleichbarkeit zu gewährleisten:

Es wurden nur fragile Personen oder Menschen mit Sarkopenie, die das 60. Lebensjahr überschritten haben, ausgewählt. Zusätzlich musste eine Trainingsintervention in Kombination mit einer Einnahme von diversen Proteinquellen stattfinden.

Ausgeschlossen wurden Pilotstudien, Reviews oder Metaanalysen oder Studien mit Personen mit anderen Erkrankungen als Sarkopenie oder Gebrechlichkeit oder adipöse alte Personen mit Sarkopenie.

### 1.3 Prisma Chart / Flow Diagramm



#### 1.4 Auswahl der Studien

Die Suche in den Onlinedatenbanken ergab insgesamt 150 Treffer, wobei die meisten auf Sience Direct mit 90 Treffern entfielen. Im Anschluss wurden die gefundenen Artikel auf Duplikate überprüft und neun doppelte Artikel gelöscht, sodass nur noch 141 Artikel übrigblieben. Jene Artikel wurden anhand des Titels oder des Auszuges bzw. der Zusammenfassung analysiert und gegebenenfalls aussortiert. Schlussendlich wurde eine Vorauswahl von 17 Studien, die sich aus den Datenbanken „PubMed“, „Web of Science“ und „Science Direct“ ergeben hatte, getroffen. Die 18 Studien wurden sorgfältig analysiert und auf die Ein- und Ausschlusskriterien untersucht. Im Zuge dieser Analyse wurden zehn weitere Studien entfernt, die einerseits eine falsche Zielgruppe, also gesunde ältere Menschen als Testpersonenkollektiv hatten, oder andererseits keine klinische Studie darstellte. Unter anderem wurde auch eine Studie vorgeschlagen, die lediglich die Methode und Vorgehensweise beschrieb, aber keine Ergebnisse lieferte, sodass diese ebenfalls ausgeschlossen werden musste. In die Endauswahl kamen letztlich acht Studien, die für die weitere Bearbeitung der Forschungsfrage herangezogen wurden.

## 2 Theoretische Grundlage

In diesem Kapitel werden die Zusammenhänge und Hintergründe von Protein, Sarkopenie und Gebrechlichkeit theoretisch beschrieben. Zudem werden die unterschiedlichen Testmethoden für die funktionelle Leistungsfähigkeit vorgestellt und beschrieben.

### 2.1 Proteine

Das englische Wort Protein stammt aus dem Griechischen „proteios“ und heißt übersetzt wesentlich oder grundlegend. Dieser Begriff eignet sich insbesondere in der Ernährung, da Protein der grundlegendste Bestandteil von Geweben bei Tieren und Menschen ist (Reeds et al., 2000). Proteine zählen neben Fetten und Kohlenhydraten zu den Makronährstoffen und machen quantitativ den größten Anteil in der Zelle aus (Heinrich et al., 2014). Darüber hinaus sind sie für alle biologischen Funktionen und die Zellstruktur, außer das Speicherprotein, von großer Bedeutung. Sie bestehen wie Kohlenhydrate und Lipide aus Elementen wie Wasserstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff und Schwefel, wobei 16% der Trockensubstanz aus Stickstoff besteht (Consortium, 2018). Unter anderem setzen sie sich aus Aminosäureeinheiten zusammen und sind in ihrer Zusammensetzung einzigartige Naturelemente. Sie befinden sich in tierischen als auch in pflanzlichen Lebensmitteln in verschiedenster Form. Die bis dato erforschten ca. 1000 Proteine konnten in ihren komplexen Strukturen und isolierten Grundelementen analysiert werden. Proteine treten meist in kombinierter Form mit Kohlenhydraten, Mineralstoffen, Fetten oder Farbstoffen auf, selten alleine, wie beispielsweise das Albumin im Eiklar (Elmadfa et al., 2019).

#### 2.1.1 Aufbau und Vorkommen der Proteine

Proteine werden aufgrund ihrer generellen Struktur und chemischen Eigenschaft in unterschiedliche Kategorien eingeteilt. Aufgrund ihrer Struktur werden sie in einfache und komplexe oder konjugierte und sekundäre oder abgeleitete Proteine unterschieden. Einfache Proteine enthalten Aminosäuren und deren Derivate. Dazunter fallen die Albumine, Globuline, Gluteline, Prolamine und die Albuminoide. Die komplexen bzw. konjugierten Proteine sind einfache Proteine, die mit Nichtproteinen-Gruppen verknüpft sind. Das sind Nukleoproteine, die zum Beispiel im Drüsengewebe in großen Mengen vorkommen oder das Glykoproteine und Mucoprotein, welche beispielsweise die wesentlichen Bestandteile des Sekretes der Schleimhäute ausmachen. Darüber hinaus zählt das Phosphorprotein zu den komplexen Proteinen und ist in Casein der Milch enthalten. Ebenso sind diese Proteine in Farbstoffen, also zum Beispiel dem Hämoglobin, als Chromoprotein enthalten. Unter anderem treten die komplexen Proteine als Verbindung mit Lipiden, als Lipoproteine und mit Metall, als Metalloproteine auf (Elmadfa et al., 2019). Die sekundär bzw. abgeleitete Proteine sind Proteinteilchen aus Peptidketten mit

unterschiedlicher Dimension. Diese Peptidketten werden aus Peptonen, Polypeptiden und Peptiden gebildet.

Neben der strukturellen Unterteilung kann ein Protein auch aufgrund der chemischen Eigenschaften eingeteilt werden. Zum Beispiel werden tierische Proteine in fibröse und globuläre Proteine unterteilt (Elmadfa et al., 2019). Fibröse Proteine oder Strukturproteine sind Aminosäureketten, die einen spiralförmigen und gefalteten Aufbau haben und in schützenden Geweben, wie Haut und Haaren vorkommen. Darüber hinaus sind sie wasserunlöslich und nur schwer verdaubar. Fibröse Proteine sind beispielsweise Keratin, Kollagen, Elastin, Fibrinogen und Myosin.

Globuläre Proteine oder Funktionsproteine kommen hingegen als verschiedene Flüssigkeiten im Gewebe vor. Sie treten entweder als kolloidale Suspension oder in Form echter Lösung im Gewebe auf. Im Gegensatz zu den fibrösen Proteinen sind globuläre Proteine leicht verdaulich und enthalten eine verhältnismäßig große Menge an essenziellen Aminosäuren, weshalb sie in der Ernährung eine entscheidende Rolle spielen. Sie sind unter anderem auch in Enzymen, Plasma und in einigen Hormonen wie Insulin vorhanden (Elmadfa et al., 2019).

Außerdem gibt es neben den tierischen Proteinen die pflanzlichen Proteine, die nicht so leicht zu unterteilen sind. Im Allgemeinen setzen sie sich entweder aus Glutelinen oder Prolaminen zusammen. Gluteline kommen in Getreidesorten, wie beispielsweise Weizen, Gerste und Reis vor und haben unterschiedliche Löslichkeiten. Einerseits sind sie in neutralen Lösungen nicht, andererseits in alkalischen oder schwach sauren Lösungen leicht löslich. Demgegenüber sind Prolamine in Wasser unlöslich und in Verbindung mit Alkohol löslich.

### 2.1.2 Funktionen der Proteine

Die Nahrungsproteine haben im Organismus unterschiedliche biologische Aufgaben und Funktionen. Sie dienen der Synthese von Körpergewebe speziell beim Wachstum von Kindern und während einer Schwangerschaft. Außerdem sind sie für die Erneuerung von Zellen im Gewebe mithilfe einer Erneuerung körpereigener Proteine verantwortlich. Der Erneuerungsprozess der Zellen oder von Gewebe erfolgt ausschließlich mithilfe von Proteinen und nicht mit anderen Makronährstoffen, wie Kohlenhydraten oder Fetten. Protein dient als Energiequelle ebenso wie Kohlenhydrate oder Fette und weist wie Kohlenhydrate einen physiologischen Brennwert von 17 Kilojoule oder vier Kilokalorien pro Gramm auf. Dennoch ist Protein, aufgrund der ungünstigen physiologischen Verwertbarkeit, ein schlechter Energielieferant (Elmadfa et al., 2019). Abbauprodukte

müssen unter großen Energiebedarf ausgeschieden werden, weshalb sie im Vergleich zu Kohlenhydraten und Fetten bei der Verwertbarkeit im Nachteil sind.

Proteine sind in verschiedenen Körperflüssigkeiten und Körpersekreten vorhanden und somit an unterschiedlichen lebenswichtigen Körperfunktionen beteiligt. Einige Bestandteile von Proteinen oder Aminosäuren sind in Enzymen oder Hormonen, wie Insulin enthalten. Das Protein Albumin, ein Plasmaprotein, hat eine weitere essenzielle Wirkung im Organismus. Es dient der Aufrechterhaltung von osmotischen Bedingungen zwischen unterschiedlichen Bestandteilen der Körperflüssigkeiten. Albumin ist unter anderem auch für den Transport von freien Fettsäuren und Bilirubin verantwortlich. Dadurch ist Protein auch ein wichtiger Bestandteil des Transportes von anderen Stoffen. Insbesondere spielt das Lipoprotein eine wichtige Rolle beim Transport von Triglyzeriden, Phospholipiden, Cholesterin und fettlöslichen Vitaminen. Außerdem geht es unterschiedliche Bindungen, wie zum Beispiel mit Eisen, wodurch Transferrin entsteht, und Calcium ein.

Neben dem Transport dienen speziell das Fibrinogen und das Thrombin der Immunabwehr, sozusagen als Antikörper, in Form unterschiedlicher Gerinnungsfaktoren. Myosine und Aktine, zwei Proteinformen, sind außerdem für die Muskelkontraktion und somit für Bewegungen verantwortlich.

### 2.1.3 Aminosäuren

Aminosäuren sind organische Substanzen, die sowohl Amino- als auch Säuregruppen enthalten, mit Ausnahme von Glycin (Wu, 2009). Weniger als 100 oder über 1000 Aminosäuren bilden über Verbindungen ein Protein. Ein Nahrungsprotein hingegen enthält gewöhnlich verschiedene Mengen von 20 verschiedenen Aminosäuren, die über Peptidbindungen miteinander verbunden sind (Wu, 2013). Diese Aminosäuren, insbesondere die L-Aminosäuren, werden proteinogene Aminosäuren genannt und sind als Translation in Proteinen eingebettet. Hingegen sind die D-Enantiomere biologisch nicht aktiv (Biesalski et al., 2011).

Die Hauptfunktionen von Aminosäuren sind die Synthese von körpereigenem Protein sowie einiger stickstoffhaltiger Verbindungen, wie beispielsweise Purine, Pyrimidine, Porphyrine und Hormone, da es als Grundelement dient. Außerdem dienen es der Gluconeogenese, weshalb sie den Blutzuckerspiegel stabilisieren können (Heinrich et al., 2014).

Aminosäuren liefern Stickstoff, Kohlenwasserstoffgerüste und Schwefel und können nicht durch andere Nährstoffe, einschließlich Kohlendhydraten und Lipiden ersetzt werden, da im Körper weder Stickstoff noch Schwefel gebildet werden kann. Aminosäuren sind wesentliche Ausgangsstoffe für die Synthese von Proteinen, Peptiden und Substanzen mit niedrigem Molekulargewicht, wie Glutathion, Kreatin, Stickoxid, Dopamin, Serotonin, RNA

und DNA und von entscheidender physiologischer Bedeutung (Wu, 2009). Darüber hinaus sind sie das Fundament vieler anderer biologischen Elemente. Beispielsweise Schilddrüsenhormonen, Insulin, Adrenalin oder Transmittersubstanzen, wie Noradrenalin, Acetylcholin oder  $\gamma$ -Aminobuttersäure (Biesalski et al., 2011). Aminosäuren lassen sich in vier Gruppen aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften, mit Ausnahme von Glycin, unterteilen. Einerseits in Aminosäuren mit unpolaren und polaren Seitenketten, andererseits in saure und basische Aminosäuren, wie in Abbildung eins ersichtlich ist. Die unterschiedlichen Gruppen sind in Abbildung eins in vier Bereiche aufgeteilt.

All diese Gruppen haben differenzierte chemische Eigenschaften. Der Aufbau einer Aminosäure mit unpolaren Seitenketten ist dreiteilig und besteht aus einfachen bzw. verzweigten Kohlenwasserstoffketten, die in einer Thioethergruppe in Methionin eingebettet sind. Sie bilden eine Kontaktfläche für Membranlipide und sind Hauptbestandteil des hydrophoben Kerns eines Proteins. Die polaren Aminosäuren bilden die Tertiärstruktur und können an Wasserstoffbrücken und anderen Bindungen anknüpfen. Im Gegenteil dazu können die sauren und basischen Aminosäuren Ionenbindungen eingehen und liegen beim physiologischen pH-Wert weitgehend in aufgelöster Form vor (Biesalski et al., 2011).

In jeder dieser Gruppen werden zudem die dazugehörigen Aminosäuren, die in drei Farben dargestellt werden, in Abbildung eins aufgelistet. Die weiße Farbe repräsentiert die entbehrlichen oder nicht essenziellen Aminosäuren, gelb die bedingt entbehrlichen und grün die nicht entbehrlichen oder essenziellen Aminosäuren.

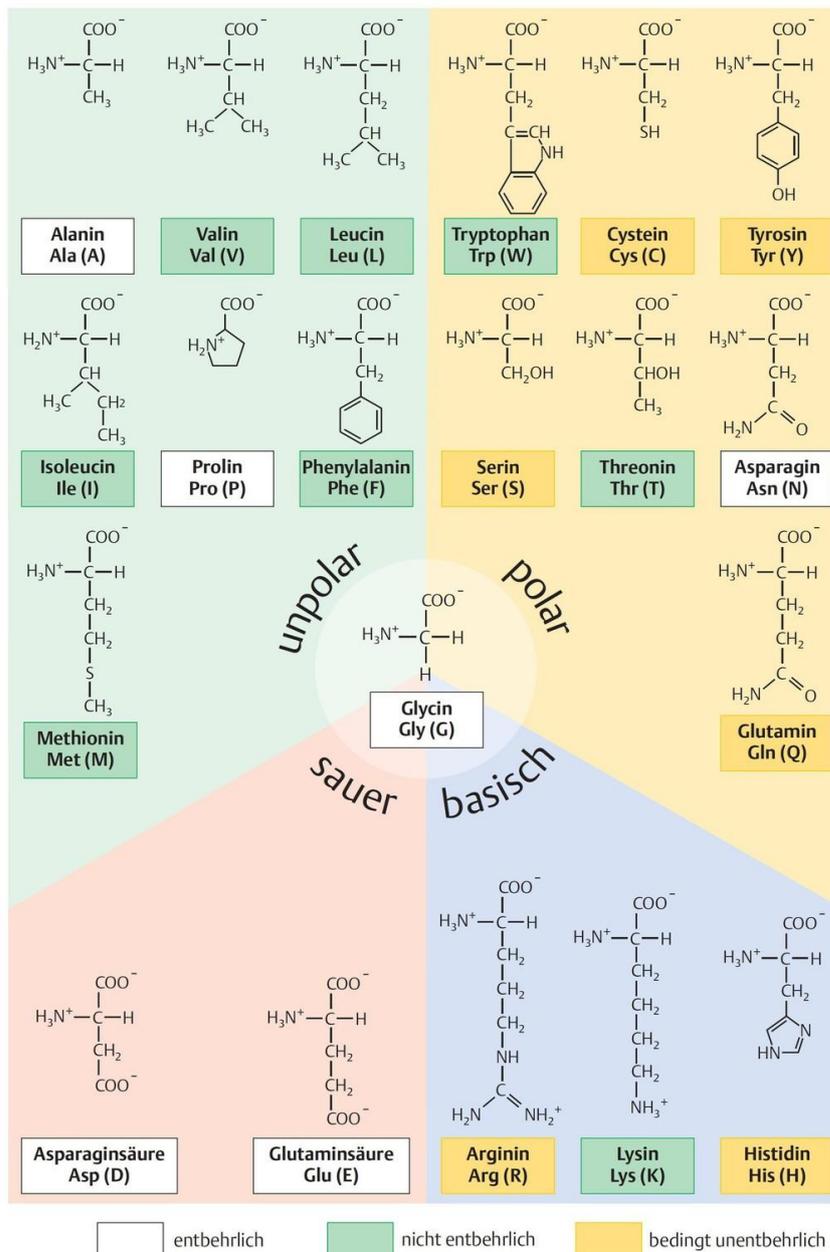


Abb. 1: Einteilung der proteinogene Aminosäuren (Biesalski et al., 2011, S. 115)

Aufgrund des Ernährungsbedarfs an Stickstoffbilanz oder Stickstoffwachstum im Körper wurden Aminosäuren traditionell als essenziell oder unentbehrlich, nicht essenziell oder entbehrlich sowie bedingt unentbehrlich für Mensch und Tier eingestuft (Wu, 2009). Zu den entbehrlichen Aminosäuren zählen unter anderem Glutaminsäure, Asparaginsäure, Asparagin, Prolin und Alanin. Zu den bedingt unentbehrlichen zählen Arginin, Histidin, Serin, Cystein und Tyrosin. Die essenziellen oder nicht entbehrlichen bestehen aus Lysin, Methionin, Isoleucin, Phenylalanin, Leucin, Valin, Tryptophan und Threonin und können vom Körper entweder nicht ausreichend oder gar nicht synthetisiert werden. Mittels der Nahrung werden die unentbehrlichen Aminosäuren zugeführt, sodass der Körper optimal versorgt werden kann. Bedingt unentbehrliche Aminosäuren können grundsätzlich vom

Organismus synthetisiert werden, jedoch ist bei erhöhtem Bedarf eine zusätzliche Einnahme über die Nahrung essenziell. Die Klassifizierung der bedingt entbehrlichen und entbehrlichen wird kontrovers diskutiert, da die funktionellen Bedürfnisse sich im Laufe des Lebens aufgrund von Krankheiten oder Reproduktionsraten ändern können (Wu, 2009). Entbehrliche oder nicht essenzielle Aminosäuren können vom Körper in ausreichender Menge synthetisiert werden, um den täglichen Anforderungen zu genügen.

Aminosäuren haben neben dem Aufbau von Proteinen und Polypeptiden noch andere Aufgaben. Sie sind entscheidende Regulatoren der wichtigsten Stoffwechselwege, die für die Aufrechterhaltung, das Wachstum, die Reproduktion und die Immunabwehr im Organismus verantwortlich sind, weshalb folglich die Effizienz der Nahrungsverwertung und die Proteinakkretion verbessert wird (Wu, 2009). Insbesondere dafür verantwortlich sind die funktionellen Aminosäuren zu denen Arginin, Gystein, Glutamin, Leucin, Prolin und Tryptophan gehören.

Darüber hinaus kann man die essenziellen oder unentbehrlichen weiter untergliedern, nämlich den der verzweigtkettigen Aminosäuren (BCAA), Valin, Leucin und Isoleucin.

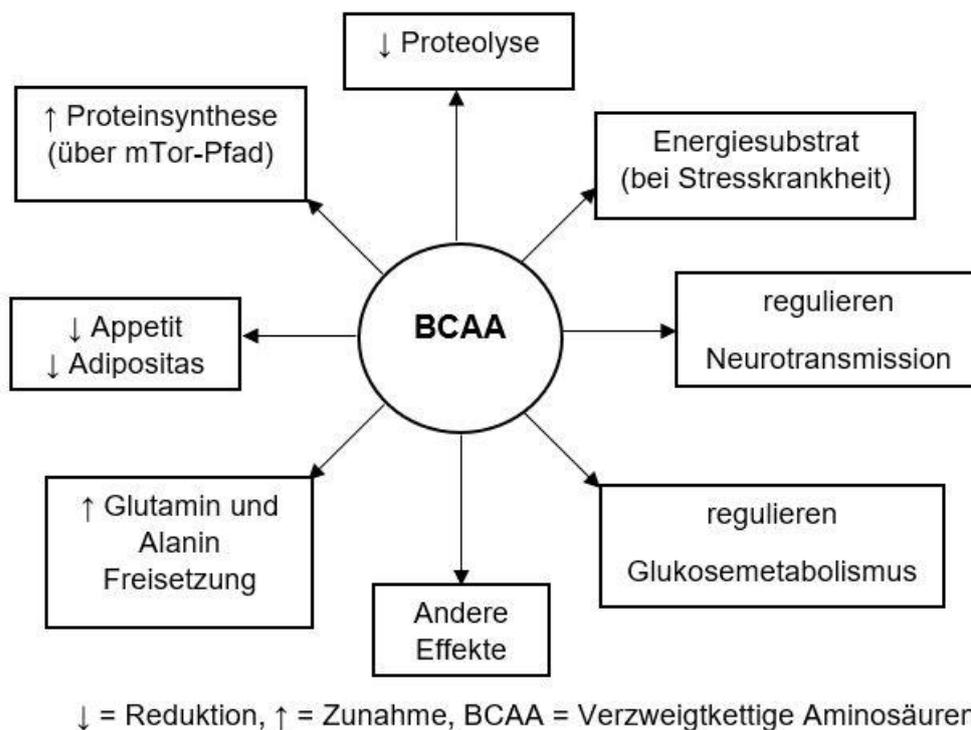


Abb. 2: Auswirkungen einer BCAA Supplementierung (mod. n. Holecek, 2018, S. 4)

In Abbildung zwei sind die möglichen Auswirkungen einer Supplementation von verzweigtkettigen Aminosäuren dargestellt. Hauptsächlich dienen sie als Substrat für die Proteinsynthese oder Energieerzeugung und erfüllen verschiedene Stoffwechsel- und Signalfunktionen, insbesondere über die Aktivierung des Rapamycin (mTor)- Signalweg (Holecek, 2018).

#### 2.1.4 Verzweigtkettige Aminosäuren

Verzweigtkettige Aminosäuren (BCAA) haben neben den Proteinstoffwechsel auch eine stimulierende Wirkung auf die Proteinsynthese und zusätzlich einen hemmenden Effekt auf die Proteolyse. Verantwortlich für diese Reaktion ist speziell Leucin, das über den mTor-Signalweg die Proteinsynthese und die Phosphorylierung von Translationsinitiationsfaktoren und ribosomalen Proteinen stimuliert (Nair et al., 2005). Die hemmende Wirkung der BCAA auf die Proteolyse wird hauptsächlich durch verzweigtkettigen Ketosäuredehydrogenase und 3-Hydroxy-3-methylbuttersäure vermittelt (Holecek, 2018). Darüber hinaus verringert 3-Hydroxy-3-methylbuttersäure die Aktivität des proteolytischen Weges des Ubiquitin-Proteasoms und kann unter verschiedenen Bedingungen bei gesunden oder kranken Menschen eine positive Auswirkung auf die Muskeln haben (Holecek, 2017).

BCAA können auch auf die Neurotransmission eine positive Auswirkung haben. BCAA und aromatische Aminosäuren, wie Phenylalanin, Tyrosin und Tryptophan, werden über denselben Träger ins Gehirn transportiert, wodurch die Synthese einiger Neurotransmitter, aufgrund einer Art von Konkurrenzkampf, beeinflusst werden können. Manipuliert werden insbesondere die Neurotransmitter Serotonin, Dopamin und Noradrenalin. Mithilfe von einem erhöhten BCAA-Niveau im Blutplasma kann der Neurotransmitterspiegel beeinflusst werden, wodurch das Verhalten und die Gehirnfunktion verändert werden (Holecek, 2017). Zum Beispiel hemmt eine Supplementierung von BCAA die Produktion von Serotonin, weshalb die Müdigkeit während des Trainings vermindert werden kann. Außerdem spielt die BCAA-Transaminierung im Gehirn eine wesentliche Rolle bei der Synthese von Glutamat und Gamma-Aminobuttersäure sowie bei der Entgiftung von Ammoniak zu Glutamin in Astrozyten (Pedroso et al., 2015).

Gleichermaßen können BCAA eine positive Auswirkung auf den Glukosestoffwechsel haben. BCAA können den Glukosetransport regulieren, wodurch die Insulinsekretion aktiviert werden kann (Zhang et al., 2017). Aufgrund einer BCAA Supplementierung kann es zu einer vermehrten Ausschüttung von Glutamin und Alanin, das unter anderem die wichtigste glukoneogene Aminosäure ist, kommen. Glutamin und Alanin unterstützen das Immunsystem, die Glutathionproduktion und die Aufrechterhaltung des Säuren-Basen-

Gleichgewichts durch die Niere (Holecek, 2018). Zudem konnte eine Supplementierung Vorteile für die Milchqualität bei Frauen, die Darmentwicklung, die Immunantwort bei Krankheiten, die Biogenese der Mitochondrien und des oxidativen Stress festgestellt werden (Zhang et al., 2017).

#### 2.1.5 Empfehlungen für Proteineinnahme

Der Stoffwechsel des Menschen in Bezug auf Protein ist eng mit dem Energiestoffwechsel verbunden, da der Aminosäuretransport, intrazellulärer Proteinumsatz, Ammoniakentgiftung von Harnstoff-, Harnsäure und Glutaminsynthesen, Bildung von Purinen und Pyrimiden sowie renalen Reabsorption von Aminosäuren und die Ausscheidung stickstoffhaltiger Metaboliten Energie erfordern (Wu, 2013). Neben den Aminosäuren stehen noch Fettsäuren und Stärke als physiologische Energiesubstrate aus Lebensmittel in Form von Triglyceriden, Stärke bzw. Proteinen zur Verfügung. Deshalb kann die Aufnahme von Nahrungsprotein nicht isoliert betrachtet werden, sondern im Zusammenhang mit anderen Energiesubstraten, insbesondere weil die Verwendung von Aminosäuren als Hauptstoffwechsel für andere Gewebe als Dünndarm- und Immunzellen im Vergleich zu Fettsäuren und Glucose energetisch nicht effizient ist (Wu, 2013).

Die Ernährungsbedürfnisse von Aminosäuren und Protein werden von vier Faktoren, nämlich den Ernährungsfaktoren, physiologische Faktoren, pathologische Faktoren und Umweltfaktoren bestimmt. Die Ernährungsfaktoren werden unter anderem durch den Gehalt und den Anteilen an Aminosäuren, der gesamten Energieaufnahme von Protein und dem Zusatz von anderen Lebensmitteln beeinflusst. Die physiologischen Faktoren von Personen sind individuell und hängen vom Alter, Geschlecht, genetischem Hintergrund, zirkadiane Uhr, Hormone, Schwangerschaft oder Stillzeit und körperlicher Aktivität ab. Die pathologischen Faktoren werden von Infektionen, Trauma, Neoplasie, Diabetes, Fettleibigkeit, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Einschränkungen des fetalen Wachstums bestimmt. Die Umweltfaktoren sind vor allem Temperatur, toxische Mitteln, Luftverschmutzung, Ernährungsgewohnheiten und persönlicher Hygiene. Diese Faktoren müssen bei der Abschätzung des menschlichen Bedarfs an Aminosäuren aus der Nahrung berücksichtigt werden (Wang et al., 2012).

Entscheidend ist die unzureichende Nahrungsaufnahme bei älteren Personen, wodurch eine Kompensation der degenerativen Alterungsprozesse nicht möglich ist. Wenn die Proteinaufnahme über die Nahrung reduziert wird, wie das bei älteren Menschen häufig der Fall ist, baut der Körper das Protein der Skelettmuskulatur ab, um das Protein in Aminosäuren umzuwandeln, die schließlich zur Bereitstellung von Energie, der Immunabwehr und anderer physiologischer Prozessen benötigt werden. Unter den

Bedingungen einer Proteinmangelernährung kann der Skelettmuskel weniger Protein synthetisieren, weshalb es zu einer Muskelatrophie kommen kann (Wu et al., 2014). Ältere Erwachsene haben zudem eine beeinträchtigte anabole Reaktion auf den gewöhnlichen Proteinverbrauch zwischen 0,75 g und 1 g pro Kilogramm Körpergewicht pro Tag und eine verstärkte katabole Reaktion, wenn die empfohlene Tagesdosis unterschritten wird (Thalacker-Mercer et al., 2010).

Die empfohlenen Richtlinien der WHO für die tägliche Aufnahme von Protein beträgt 0,8 g pro Kilogramm Körpergewicht (Joint et al., 2007). Diese Richtlinien sind jedoch unabhängig von Alter und Geschlecht und darüber hinaus werden keine altersbedingten Veränderungen des Stoffwechsels, der Immunabwehr, des Hormonspiegels oder einer fortschreitenden Gebrechlichkeit einberechnet (Clegg et al., 2013).

Die „PROT-AGE“ Studiengruppe, die sich aus Personen der Geriatrischen Medizinischen Gesellschaft der Europäischen Union (EUGMS), anderen wissenschaftlichen Organisationen sowie internationalen Studiengruppen zusammensetzt, hat den Proteinbedarf bei älteren Menschen unter verschiedenen Voraussetzungen aus diversen klinischen Studien und Metaanalysen zusammengetragen und zusammengefasst (Bauer et al., 2013).

Sie empfehlen eine tägliche Aufnahme von Nahrungsprotein bei gesunden älteren Personen von mindestens 1 g bis 1,2 g pro kg Körpergewicht. Ältere Menschen benötigen mehr Protein zum Erhalt und Aufbau von Muskelmasse. Außerdem raten sie eine Proteinaufnahme von 25 g bis 30 g mit mindestens 2,5 g bis 2,8 g Leucin pro Mahlzeit, da ältere Personen eine höhere anabole Schwelle als jüngere Personen haben (Bauer et al., 2013).

Die Proteinaufnahme von Menschen mit akuten oder chronischen Krankheiten hängt von der Krankheit, dem Schweregrad der Krankheit und dem Ernährungsstatus der Person ab, weshalb die Aufnahme variieren kann. Dennoch wird ein Minimum an Nahrungsprotein von 1,2 g bis 1,5 g pro kg Körpergewicht pro Tag empfohlen. Bei älteren Personen mit schwerer Krankheit oder Verletzung oder ausgeprägter Unterernährung muss hingegen eine höhere Aufnahme von mindestens 2 g pro kg Körpergewicht verordnet werden (Bauer et al., 2013).

## 2.2 Sarkopenie

Das Wort „Sarkopenie“ leitet sich aus den griechischen Wörtern sarx, für Fleisch und penia für Verlust ab (Rosenberg, 1997). Es bezieht sich auf den altersbedingten Rückgang der Muskelmasse und Muskelfunktion, der sich auf die Gehfähigkeit, Mobilität, Nährstoffaufnahme und Unabhängigkeit auswirkt (Rosenberg, 1997). Sarkopenie kann als Organversagen oder Muskelinsuffizienz angesehen werden und ist in der Regel chronisch.

Sarkopenie ist eine progressive und generalisierte Muskelerkrankung, die mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit von Nebenwirkungen wie Stürzen, Frakturen, körperlichen Einschränkungen und Mortalität verbunden ist (Cruz-Jentoft et al., 2019). Sie kann sich aber auch akut, während längeren Phasen der kompletten physischen Inaktivität, entwickeln und ist eng mit einer körperlichen Gebrechlichkeit verbunden (Cruz-Jentoft et al., 2014).

2010 definierte die Europäische Arbeitsgruppe für Sarkopenie bei älteren Menschen (EWGSOP) Sarkopenie als die Kombination von wenig Muskelmasse mit niedriger Muskelfunktion, im Sinne der Kraft und Leistung. Die Definition wurde in den laufenden Jahren von anderen Internationalen Gruppen aufgegriffen und erweitert. Im Jahr 2011 wurde Sarkopenie mit eingeschränkter Mobilität von der Gesellschaft für Sarkopenie, Kachexie und Schwächestörungen zusammengefasst, um Menschen eine therapeutische Intervention zu ermöglichen (Morley et al., 2011). Sarkopenie mit eingeschränkter Mobilität wird als Verlust der Muskelmasse (korrigiert um die Körpergröße um mehr als zwei der Standardabweichung unter der von gesunden Menschen im Alter von 20 bis 30 Jahren derselben ethnischen Gruppe) und niedriger Gehgeschwindigkeit ( $\leq 1$  m/s während eines 4-Meter-Gehversuchs oder weniger als 400 Meter innerhalb 6 Minuten) definiert (Cruz-Jentoft et al., 2014). Die „Special Interest Group“ (Vellas et al.) für Sarkopenie, Kachexie und chronischen Schwächestörungen beschreibt eine altersbedingte Sarkopenie als Verlust von Muskelmasse und Muskelkraft, die im fortgeschrittenen Stadium eine körperliche Beeinträchtigung sowie Abhängigkeit von anderen Menschen verursachen kann (Muscaritoli et al., 2010). Erst seit 2016 im September ist Sarkopenie in der internationalen und statistischen Klassifizierung von Krankheiten und gesundheitlichen Problemen (ICD-10) aufgelistet. Sarkopenie wird daher offiziell als Muskelkrankheit anerkannt und in einigen Ländern werden die Kosten für die Pflege übernommen (Cruz-Jentoft et al., 2019) In Tabelle eins sind die unterschiedlichen Arbeitsgruppen und deren Definition für Sarkopenie aufgelistet. Für jede Arbeitsgruppe oder Institution werden die Funktionen beschrieben, die eingeschränkt sein müssen, um die Diagnose „Sarkopenie“ zu stellen. Zusätzlich wird die Voraussetzung für die Muskelmasse entweder allein oder zum Verhältnis zur Körpergröße oder zum Body Maß Index (BMI) beschrieben. Die anderen Arbeitsgruppen bzw. Institutionen fokussieren sich ähnlich wie die EWGSOP auf die Gehgeschwindigkeit, Griffkraft und die Muskelmasse.

Tab. 1: Unterschiedliche Arbeitsgruppen mit deren Definitionen von Sarkopenie und dem Bezug zur Muskelmasse

Definition	Funktion	Muskelmasse
Kachexie-Anorexie bei chronischer Schwächestörung (SIG)	Gehgeschwindigkeit unter 0,8 m/s OR andere physische Performance Tests	wenig Muskelmasse
Europäische Arbeitsgruppe für Sarkopenie bei älteren Menschen	Gehgeschwindigkeit unter 0,8 m/s; Griffkraft 40kg bei Männern und 30kg bei Frauen	wenig Muskelmasse (nicht definiert)
IWGS Sarkopenie Arbeitsgruppe	Gehgeschwindigkeit unter 1 m/s, Griffkraft	Appendikuläre Muskelmasse unter 7.23kg/m <sup>2</sup> Männern und 5.67 Frauen
Sarkopenie mit eingeschränkter Mobilität	In 6 Minuten < 400 Meter OR Gehgeschwindigkeit < 1m/s	Geringe appendikuläre Magermasse/Größe <sup>2</sup>
Asiatische Arbeitsgruppe für Sarkopenie	Gehgeschwindigkeit <0,8 m/s, Griffkraft 26kg Männer, 18kg Frauen	Geringe appendikuläre Magermasse/Größe <sup>2</sup>
Stiftung für nationalen Gesundheitsinstitute	Gehgeschwindigkeit <0,8 m/s, Griffkraft 26kg Männer, 18kg Frauen	appendikuläre Magermasse/ BMI

Quelle: mod. n. Morley, J. E. et al. (2014, S. 254)

In Abbildung drei wurde von der EWGSOP ein Algorithmus erstellt, der Personen mit Sarkopenie identifizieren soll. Es wurden vier Stufen erstellt, die Personen mit einer möglichen Sarkopenie durchlaufen müssen, um eine Diagnose zu erstellen. Die vier Stufen setzen sich aus dem Finden von Fällen, der Beurteilung, der Bestätigung und der Schwere bzw. des Schweregrads zusammen. Zuerst müssen Personen einen SARC-F Fragebogen ausfüllen, um eine mögliche Sarkopenie zu identifizieren. Der Fragebogen beinhaltet fünf Komponenten, wie Kraft, Hilfe beim Gehen, Aufstehen von einem Stuhl, Stufengehen und Stürze. SARC-F Elemente wurden ausgewählt, um Änderungen des Gesundheitszustandes im Zusammenhang mit den Folgen von Sarkopenie widerzuspiegeln. Die Skalenwerte reichen von 0-10 und man kann für jede Komponente maximal 2 Punkte erhalten. Unter einem Wert von 4, also von 0 bis 3, wird man als gesund definiert, alles darüber wird als symptomatisch bezeichnet (Malmstrom et al., 2016). Besteht ein klinischer Verdacht, also bei einem Wert von vier und höher, so kommen die Personen zur Beurteilung. Die Personen müssen einen Test der Muskelkraft absolvieren, der aus der Griffkraft und eines Aufstehetests besteht. Um die schlechte Muskelkraft zu bestätigen, werden die Muskeln auf Qualität und Quantität mithilfe einer DEXA, einer Bioimpedanz Analyse, einer Computertomographie oder einer Magnetresonanztomographie gemessen. Sind diese Werte ebenfalls zu gering wird eine Sarkopenie diagnostiziert. In der vierten Stufe wird die Schwere mittels möglicher Testungen festgestellt. Dafür eignen sich eine „Short Physical Performance Batterie“, die Testung der Gehgeschwindigkeit, der Timed-up-and-go Test und einen 400 Meter Gehetest.

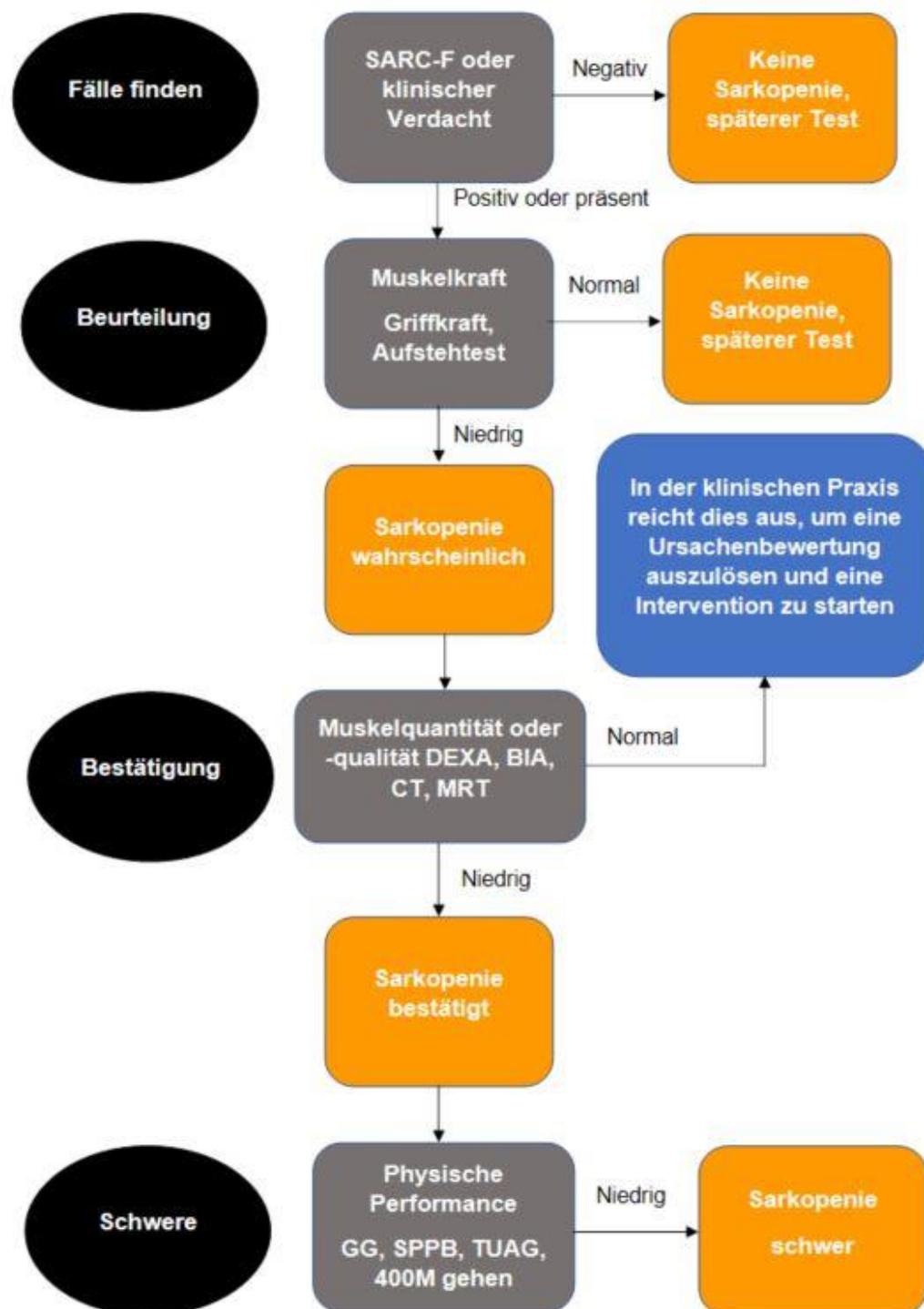


Abb. 3: Algorithmus zur Fallfindung, Diagnose und Schweregradbestimmung der Sarkopenie in der Praxis (mod. n. Cruz-Jentoft et al., 2019, S. 24)

Die EWGSOP hat zudem für den europäischen Raum genaue Werte für Griffkraft (kg), für die appendikuläre Skelettmuskelmasse, für die appendikuläre Skelettmuskelmasse durch die Größe zum Quadrat ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), für die Gehgeschwindigkeit (m/s), für den „timed-up-and-go“ Test (Sekunden), SPPB und den 400 Meter Gehetest definiert, um die Muskelkraft, Muskelmasse und funktionelle Leistungsfähigkeit innerhalb der vier Stufen des Algorithmus

zu bestimmen (Cruz-Jentoft et al., 2019). Die Grenzwerte von Männern und Frauen sind für die unterschiedlichen Tests in Tabelle zwei angeben. Wichtig ist, dass die Grenzwerte unterschritten werden müssen, um bei einem Test negativ zu sein und somit diesen nicht zu bestehen.

Tab. 2: Grenzwerte, die von der EWGSOP für eine Diagnose von Sarkopenie erstellt wurden

Test	Männer	Frauen
<b>Muskelkraft</b>		
	Grenzpunkte	
Griffkraft	<27 kg	<16 kg
Aufstehtest	>15 s für 5x Aufstehen	>15 s für 5x Aufstehen
<b>Muskelquantität</b>		
Appendikuläre Skelettmuskelmasse	<20kg	<15kg
Appendikuläre Skelettmuskelmasse/ Größe (kg/m <sup>2</sup> )	<7 kg/m <sup>2</sup>	<5,5 kg/m <sup>2</sup>
<b>Funktionelle Leistungsfähigkeit</b>		
Gehgeschwindigkeit (m/sek)	≤0,8 m/s	≤0,8 m/s
Timed-up-and-go Test	≥20 s	≥20 s
SPPB	≤8 Punkteanzahl	≤8 Punkteanzahl
400 Meter Gehtest	Nichterfüllung oder ≥6 Min für Erfüllung	Nichterfüllung oder ≥6 Min für Erfüllung

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

### 2.2.1 Ursachen

Die Ursachen für die Entstehung von Sarkopenie sind multifaktoriell und betreffen nicht nur den Abbau von Muskulatur. In Abbildung vier sind mögliche Ursachen, die eine Sarkopenie entscheidend begünstigen können, aufgelistet. Ursachen können eine hormonelle Veränderung, eine neurodegenerative Erkrankung, Veränderung der Gefäße Kachexie, unzureichende Nahrungsaufnahme oder eine altersbedingte Veränderung, wie körperliche Inaktivität, Apoptose und mitochondriale Dysfunktion, sein.

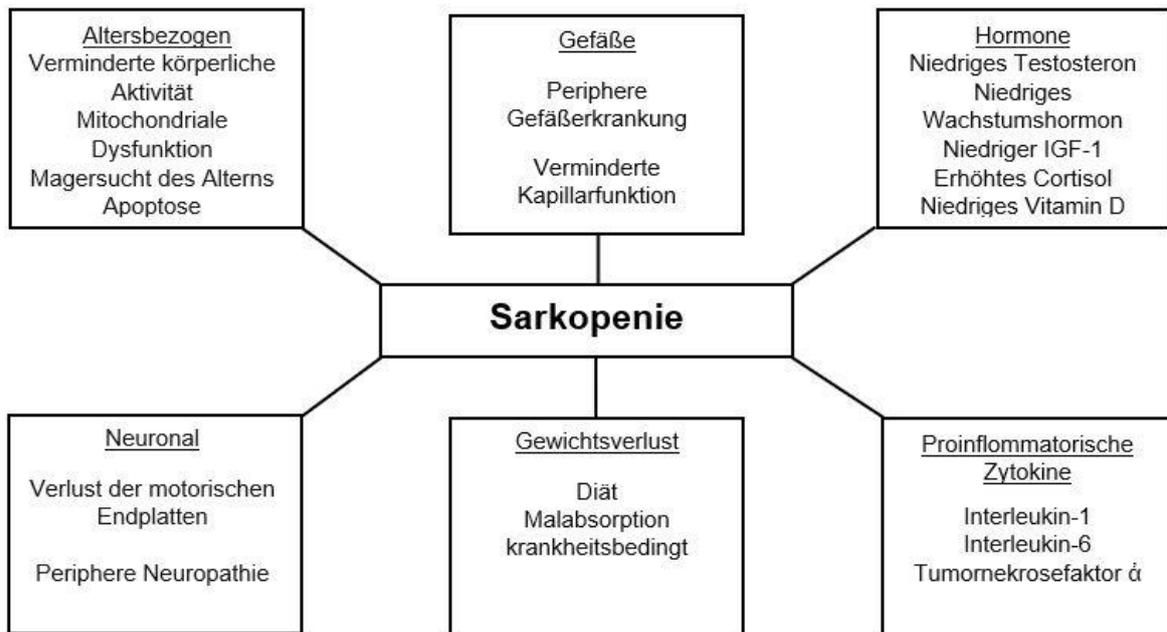


Abb. 4: Ursachen einer Sarkopenie (mod. n. Morley, J. E. et al., 2014, S. 256)

Ein Schlüsselfaktor ist die körperliche Inaktivität für die Entstehung einer Sarkopenie, denn aufgrund der reduzierten kontraktiven Aktivität kommt es zu einer Muskelatrophie, weshalb eine verminderte Kraft die Folge ist (Husom et al., 2005). Entscheidend ist hierbei die Umwandlung von Typ II Muskelfasern in Typ I Muskelfasern bzw. der Verlust der Muskelfaserzahl sowie einer Faseratrophie, die negative Auswirkungen auf die Muskelkraft haben und schlussendlich Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL) erschweren (Lang et al., 2010). Darüber hinaus wird das myofibrilläre Protein reduziert, da die Satellitenzellen nicht im Stande sind auf Wachstumsfaktoren und Zytokine zu reagieren, die zur Stimulierung der Produktion dieser Proteine erforderlich sind, wodurch die Anzahl der intakten Satellitenzellen und Muskelfasern beeinflusst wird (Landi et al., 2014). Aufgrund der Inaktivität kommt es zu einer Veränderung des Nervensystems, im Besonderen dem Verlust von motorischen Einheiten, die für die Ansteuerung von Muskelfasern verantwortlich sind (Doherty et al., 1993). Das bedeutet, dass die Größe der motorischen Einheiten zunimmt und mehrere Muskelfasern von einem einzigen Neuron innerviert werden, wodurch die Muskelkontrolle sowie die Koordination abnimmt (Drey et al., 2014). Die Körperzusammensetzung ändert sich aufgrund der Abnahme der Muskelmasse und es kommt zu einer sogenannten Fettinfiltration innerhalb und zwischen den Fasern (Landi et al., 2014). Dadurch werden toxische Adipokine und Fettsäuren freigesetzt, die unter anderem die Spezialisierung und Funktion von Zellen in ihrer Umgebung beeinflussen. Dieser Prozess ist besser als Lipotoxizität bekannt. Generell ist eine unzureichende Ernährungsaufnahme, insbesondere mangelnde Proteinaufnahme, bei älteren Personen problematisch, da dies ebenfalls zum Verlust von Muskeln und Funktionen führen kann.

(Muscaritoli et al., 2010). Außerdem haben ältere Personen eine eingeschränkte Aufnahme von Vitamin D, das mit einer niedrigen Funktionalität und bei der Signalübertragung bei der Myogenese in Verbindung gebracht wird (Phu et al., 2015).

Neben der Veränderung der Körperzusammensetzung kann es zu einer Veränderung der Gefäße kommen. Eine Ursache kann die Abnahme der Kapillardichte sein, die mit einer geringen Muskelperfusion, zunehmenden oxidativen Stress und mitochondrialer Dysfunktion zusammenhängt (Landi et al., 2014). Zusätzlich kann es zu einer Reduktion von anabolen Hormonen, wie Testosteron, Östrogen, Wachstumshormonen und insulinähnlichen Wachstumsfaktor 1 (IGF-1) kommen, die verschiedene interne Prozesse im Körper beeinflussen. Unter anderem kommt es zu einer Zunahme der apoptotischen Aktivität in den Muskelfasern und der proinflammatorischen Zytokine, insbesondere dem Tumornekrosefaktor Alpha und Interleukin 6 (Joseph et al., 2005).

Nicht immer ist eine klare Diagnose möglich, da Sarkopenie eine Erkrankung mit vielen Ursachen und Ergebnissen ist. Es wurden daher die Kategorien, der primären und der sekundären Sarkopenie für eine geeignete Einordnung definiert, um in der klinischen Praxis eine Diagnose erleichtern zu können (Cruz-Jentoft et al., 2010). Eine primäre Sarkopenie wird definiert, wenn keine andere Ursache als der Alterungsprozess diagnostiziert werden, während bei einer sekundären Sarkopenie eine oder mehrere Ursachen erkennbar sind. Diesbezüglich wird die sekundäre Sarkopenie in eine aktivitätsbezogene, krankheitsbezogene und ernährungsbezogene Sarkopenie unterteilt. Die aktivitätsbezogene kann aufgrund von Bettruhe, Bewegungsmangel, Dekonditionierung oder Schwerelosigkeit verursacht werden. Die krankheitsbezogene ist mit einem fortschreitenden Organversagen, wie Herz, Lunge, Leber, Niere und Gehirn sowie entzündlichen, endokrinen und bösartigen Erkrankungen, beispielweise eines Tumors, assoziiert. Die ernährungsbezogene Sarkopenie ist mit einer unzureichenden Nahrungsaufnahme von Energie, im besonderen Protein, wie bei Malabsorption, Magen-Darm-Störungen oder der Verwendung von Medikamenten, die Magersucht verursachen, verbunden (Cruz-Jentoft et al., 2010).

### 2.2.2 Prävalenz von Sarkopenie

Die Prävalenz für Sarkopenie differenziert je nach Forschungsstudie, da unterschiedliche Bevölkerungsgruppen, verschiedene Techniken zur Messung der Skelettmuskelmasse und -größe sowie unterschiedliche Altersgruppen herangezogen wurden. Die Studie von Beaudart et al. (2017) untersuchte Studien, die zwischen 2012 und 2015 veröffentlicht wurden. Ein Großteil der Studien wurde in Europa (9/17), fünf in Amerika und drei in Asien durchgeführt. Alle Studien umfassen Testpersonen ab 60 Jahren, die entweder in

Wohngemeinschaften, im Krankenhaus oder in Pflegeheimen wohnten. Es wurde nur eine Studie herangezogen, die ausschließlich Männer umfasste. Die restlichen Studien waren gemischte Geschlechterstudien mit einem Frauenanteil zwischen 48,9% und 75%. Die Teilnehmerzahl lag zwischen 99 und 6658 Personen und die Dauer variierte zwischen 3 Monaten und 9,8 Jahren. Sarkopenie wurde mithilfe des Algorithmus der EWGSOP bestimmt. Die Muskelmasse wurde mittels einer bioelektrischen Impedanz Analyse (BIA), anthropometrischen Messung und einer DEXA bestimmt. In allen Studien wurde die Muskelkraft anhand der Griffkraft gemessen, bis auf eine Studie, die ein isokinetisches Gerät verwendet hat. Um die körperliche Leistungsfähigkeit zu messen, wurde eine „Short Physical Performance Batterie“ herangezogen, die aus unterschiedlichen Tests besteht. Die Prävalenz der Sarkopenie schwankte zwischen 4,3% bei ambulanten Männern in Wohngemeinschaften (Cawthon et al., 2015) und 73,3% bei Pflegeheimbewohnern in der Türkei (Saka et al., 2016).

Beudart et al. (2017) unterschieden zwischen sechs Arten von Ergebnissen ihrer untersuchten Studien. Am häufigsten wurde Mortalität als Folgen einer Sarkopenie genannt. 12 Studien wurden verglichen, wobei zehn davon einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Sarkopenie und Mortalität feststellen konnten. Darüber hinaus konnten die Autoren ein viermal höheres Mortalitätsrisiko bei Personen mit Sarkopenie berechnen als jene ohne Sarkopenie. Diese Ergebnisse variierten nach der Unterbringung der Personen oder der Dauer, die für die Studien herangezogen wurden.

Die Zahl der älteren Bevölkerung wird in den nächsten Jahrzehnten deutlich ansteigen. Bis 2050 werden voraussichtlich mehr als 2 Milliarden Menschen über 60 Jahre alt sein (Wasay et al., 2016). In Österreich ist der Anteil sogar noch höher, denn 19% der gesamten österreichischen Bevölkerung ist über 65 Jahre (Statista, 2020). In Abbildung fünf ist die die Bevölkerungspyramide von Männern und Frauen aufgelistet. Zusätzlich sind die Prognosen für das Jahr 2030 und 2060 eingezeichnet. Die Abbildung zeigt einen deutlichen Anstieg der Personen über 65 Jahre in Österreich. 2080 sollte die Bevölkerung über 65 Jahre um 1,25 Millionen höher sein als 2018, was relativ ausgedrückt 29% der Gesamtbevölkerung ausmacht. Die steigende Zahl an älteren Menschen ist dementsprechend mit einem höheren Mortalitätsrisiko und einem höheren Funktionsverlust verbunden (Morley, John E. et al., 2014). Infolgedessen muss die Erhaltung und Verbesserung der Lebenszufriedenheit in Kombination mit der funktionellen Leistungsfähigkeit bei älteren Personen aus präventivmedizinischem Blickwinkel im Fokus stehen.

## Bevölkerungspyramide 2018, 2030 und 2060

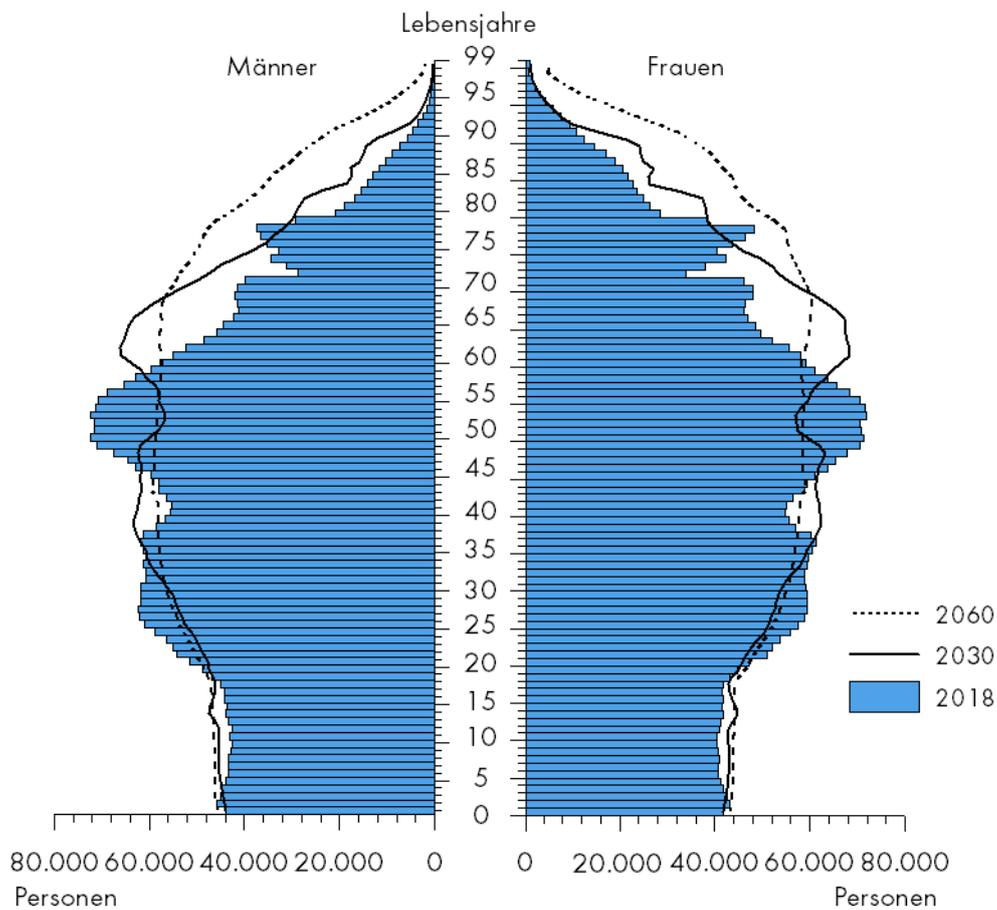


Abb. 5: Bevölkerungspyramide und Bevölkerungsprognose für Österreich (Statistik Austria, 2019)

### 2.3 Gebrechlichkeit

Gebrechlichkeit ist ein mehrdimensionales geriatrisches Syndrom, das durch eine kumulative Reduktion mehrerer Körpersysteme oder Körperfunktionen gekennzeichnet ist (Morley et al., 2013). Eine einheitliche und anerkannte Definition von Gebrechlichkeit gibt es derzeit noch nicht, weshalb eine Diagnose bzw. Beurteilung mit wirksamen Instrumenten schwer möglich ist (Han et al., 2019; Manfredi et al., 2019). Gebrechlichkeit kann vor dem 65. Lebensjahr auftreten, wobei häufig ein Ausbruch ab dem 70. Lebensjahr beobachtet wird (Hoogendijk et al., 2018). Die Pathogenese dieser Krankheit umfasst mehrere Dimensionen. Die Mehrdimensionalität einer Gebrechlichkeit besteht aus kognitiven, psychologischen, soziologischen, spirituellen Komponenten (Sieber, 2017). Die physische Dimension umfasst Bewegungsmangel, unwillkürlichen Gewichtsverlust, Erschöpfung, reduzierte Muskelkraft und langsame Gehgeschwindigkeit (Fried et al., 2001). Das

Syndrom der Gebrechlichkeit ist auf Faktoren wie oxidativen Stress, einer Fehlregulation von Entzündungsprozessen, mitochondrialen Dysfunktionen und zelluläre Seneszenz zurückzuführen. Unter anderem wird dieses Krankheitsbild mit einer erhöhten Morbidität, körperlicher Einschränkung und sogar Mortalität in Verbindung gebracht (Sieber, 2017). Es besteht daher ein klarer Zusammenhang mit Sarkopenie, wodurch Sarkopenie zu einem Phänotyp der körperlichen Gebrechlichkeit gemacht wird (Landi et al., 2015). Primäre Sarkopenie wird als Verlust an Muskelmasse und Funktion im Zuge des Alterns definiert und geht einer Gebrechlichkeit meist voraus, während Gebrechlichkeit ein starker Risikofaktor für die Entstehung von Behinderungen ist. Sekundäre Sarkopenie hingegen entsteht nicht nur durch den Alterungsprozess, sondern durch Inaktivität, mangelnde Ernährung, Krankheiten, etc. Es gibt somit aufgrund der Diagnose Anknüpfungspunkte zwischen Sarkopenie und körperlicher Gebrechlichkeit, wodurch diese bei älteren Personen gemeinsam auftreten können. Der Zusammenhang zwischen Sarkopenie und Gebrechlichkeit ist in Abbildung sechs dargestellt und näher erläutert. Gebrechlichkeit kann vielmehr als ein Kontinuum angesehen werden, das im früheren Stadium erst durch das Ausbrechen von Stressfaktoren erkannt wird oder zu einem späteren Stadium leicht erkennbar ist, wie beispielsweise kompletter Eingeschränktheit im Alltag (Sieber, 2017). Eine exakte Diagnose ist dennoch schwierig, da sich Merkmale, wie beispielsweise verminderte Organfunktion oder verminderte funktionelle Reserve, mit einem normalen Alterungsprozess überschneiden. Der Schweregrad des Syndroms kann zu unterschiedlichen Ergebnissen wie Behinderung, Abhängigkeit, schlechte Lebensqualität, Einweisung in Pflegeheimen führen, wodurch erhöhte Pflegekosten entstehen und schließlich mit Mortalität, enden kann, wie in Abbildung sechs ersichtlich ist. Zudem ist eine entscheidende Komponente für die Entstehung von Risikofaktoren das Alter, Beeinträchtigung von Wahrnehmung, Funktion und Mobilität sowie Lebensverhältnisse und Lebensstil. Darüber hinaus begünstigen andere chronische Krankheiten und Multimorbidität den negativen Verlauf einer körperlichen Gebrechlichkeit (Sieber, 2017).

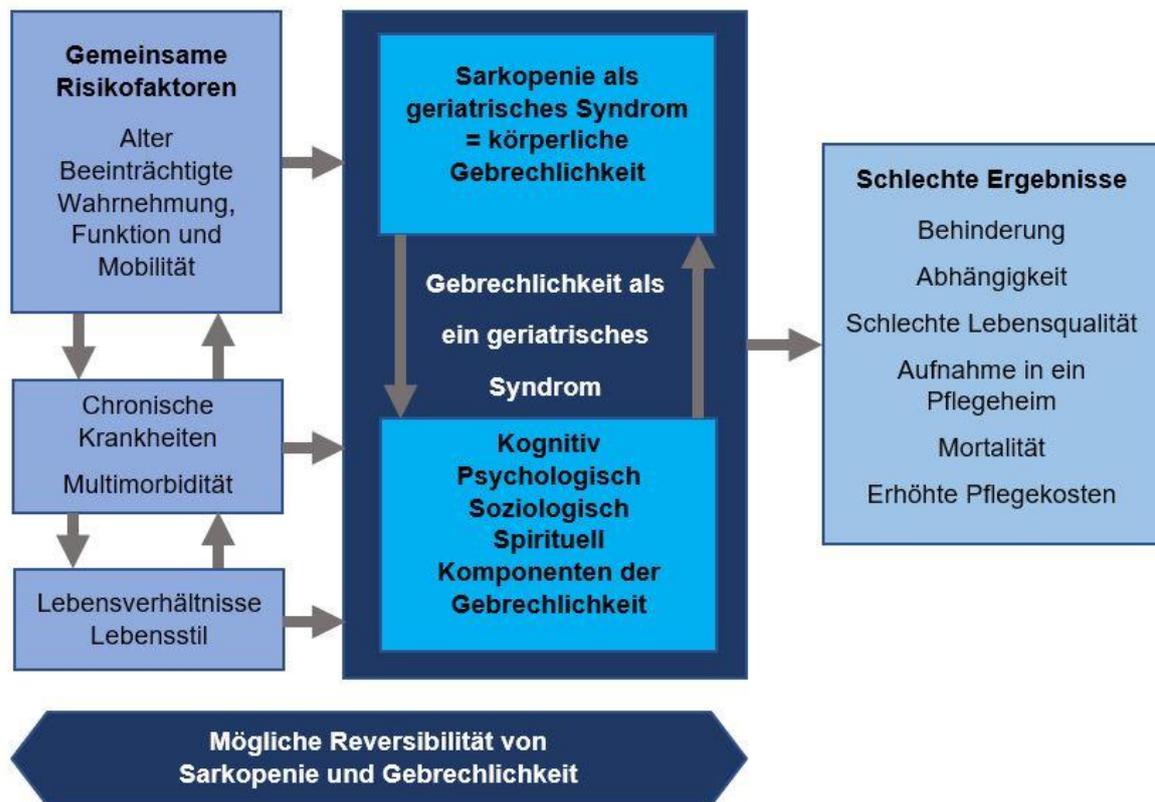


Abb. 6: Sarkopenie und Gebrechlichkeit (mod. n.Cruz-Jentoft et al., 2013, S. 104)

Insgesamt lässt sich sagen, dass Sarkopenie ähnliche Symptome bzw. ähnliche Beschwerden aufweisen wie Gebrechlichkeit, dennoch unterschiedlich definiert werden. Darüber hinaus ist Sarkopenie eine anerkannte Krankheit und körperliche Gebrechlichkeit ein Syndrom. Sarkopenie hat eine entscheidende Rolle in der Entstehung von Gebrechlichkeit, wohingegen Gebrechlichkeit ein umfassenderes Konzept mit mehreren Dimensionen ist, das mit einem lebenslangen Rückgang in zahlreichen physiologischen Systemen charakterisiert ist.

### 2.3.1 Ursachen

Mit zunehmenden Alter treten häufig zahlreiche physiologische Veränderungen auf wie beispielsweise eine reduzierte Hormonproduktion, erhöhter oxidativer Stress, Schwierigkeiten bei der Versorgung von Zellen mit ausreichend Sauerstoff und Beeinträchtigung der körperlichen Funktion (Nascimento et al., 2019). Mit fortschreitendem Alter nehmen die Masse und Funktion der Skelettmuskulatur, insbesondere Kraft und Leistung kontinuierlich ab. Dieser Prozess wird aufgrund von Inaktivität erhöht, wodurch sich die Autonomie und die Unabhängigkeit von älteren Personen verringert.

Wie schon zuvor erwähnt ist der Entstehungsprozess sehr komplex und betrifft neben den physiologischen Veränderungen des Alterns auch psychologische, soziale, spirituelle und soziologische Komponenten, die einen entscheidenden Einfluss haben können, wie in Abbildung sechs ersichtlich ist (Cruz-Jentoft et al., 2013). Diese Komponenten können individuell unterschiedlich sein, wohingegen die physiologischen Veränderungen des Alterns in ähnlicher Weise auftreten. Körperliche Gebrechlichkeit wird zum Beispiel von einer Veränderung des Nervensystems, der Proteinsynthese, mangelnder Ernährungsweise, oxidativen Stress und physischer Inaktivität gefördert (Nascimento et al., 2019).

Die Funktion des Nervensystems wird mit zunehmendem Alter beeinträchtigt, insbesondere bei der Kontrolle, Planung und Ausführung von Bewegungen. Für diese Prozesse sind die Basalganglien, das Kleinhirn und der präfrontale Kortex hauptsächlich verantwortlich. Basalganglien erleiden im Alter einen signifikant degenerativen Verlust, weshalb der präfrontale Kortex Kompensationsmechanismen für die Planung, Ausführung und Koordination von Bewegungen (VanSwearingen et al., 2014). Außerdem nehmen Frontalnetze mit steigendem Alter erheblich ab, wodurch eine Adaptation der Motorsteuerung stattfindet. Die Größe, die Gesamtmenge und die Feuerungsrate der motorischen Einheiten verändern sich. Speziell konnte gezeigt werden, dass eine Zunahme der Größe der motorischen Einheiten und eine Abnahme der Feuerungsraten während einer anhaltenden Muskelaktivierung des Quadrizeps bei älteren Personen am stärksten ausgeprägt ist (Ling et al., 2009). Außerdem kommt es zu einer Verringerung der Myelinisierung der größten axonalen Fasern, wodurch die periphere Nervenleitung beeinträchtigt und diese verlangsamt wird (Yamada et al., 2002). Darüber hinaus konnte nachgewiesen werden, dass eine maximale willkürliche Kontraktion im Vergleich zu einer elektrischen Stimulation zu signifikant niedrigeren Kraftwerten führte (Clark et al., 2013; Yue et al., 1999). Diese anatomischen und physiologischen Veränderungen führen zu Funktionsstörungen und schließlich zu einer Verringerung der körperlichen Aktivität (Varma et al., 2016).

Die Muskelproteinsynthese spielt bei der Entstehung von Gebrechlichkeit und Sarkopenie eine zentrale Rolle. Während des Alterns kommt es zu einer Beeinträchtigung der anabolen Reaktion. Ältere Menschen entwickeln eine sogenannte „anabole Resistenz“, wodurch die Geschwindigkeit der Proteinsynthese reduziert wird und ein erhöhter Proteinbedarf besteht. Aufgrund mangelnder Ernährungsaufnahme steht dem Körper nicht genügend Protein zu Verfügung und es kommt zu einer Muskelatrophie (Breen et al., 2013; Morton et al., 2018). Die derzeitige empfohlene Nahrungsaufnahme von Protein liegt bei 0,8 g pro Kilogramm Körpergewicht für gesunde erwachsene Menschen. Aufgrund der anabolen Resistenz bei

älteren Menschen ist der Bedarf erhöht, jedoch wird meist die empfohlene Nahrungsaufnahme von Protein nicht erreicht (Landi et al., 2016). Die Prävalenz von Unterernährung in der europäischen Bevölkerung über 65 Jahren liegt zwischen 23% und 66% (Bollwein et al., 2013). Diese Unterernährung führt nicht nur zu einem Verlust des Fettdepots, sondern bei Inaktivität auch zum Verlust der Muskelmasse. Unterernährung in Kombination mit ungewolltem Gewichtsverlust wird darüber hinaus als Diagnosekriterium für Gebrechlichkeit angesehen (Fried et al., 2001).

Inaktivität spielt, wie bei Sarkopenie, eine wesentliche Bedeutung für die Entstehung von Gebrechlichkeit. Zwar steigt die körperliche Aktivität im Zuge der Pensionierung, ab ca. 65 Jahren gering bis mäßig an, aber im Allgemeinen nimmt die Bewegung mit zunehmendem Alter ab. Nur 28% bis 34% der Erwachsenen ab 65 Jahren nehmen an körperlichen Freizeitaktivitäten teil (Nascimento et al., 2019). Die körperliche Aktivität der modernen Gesellschaft sinkt immer weiter, wohingegen ein sitzender Lebensstil überhandnimmt.

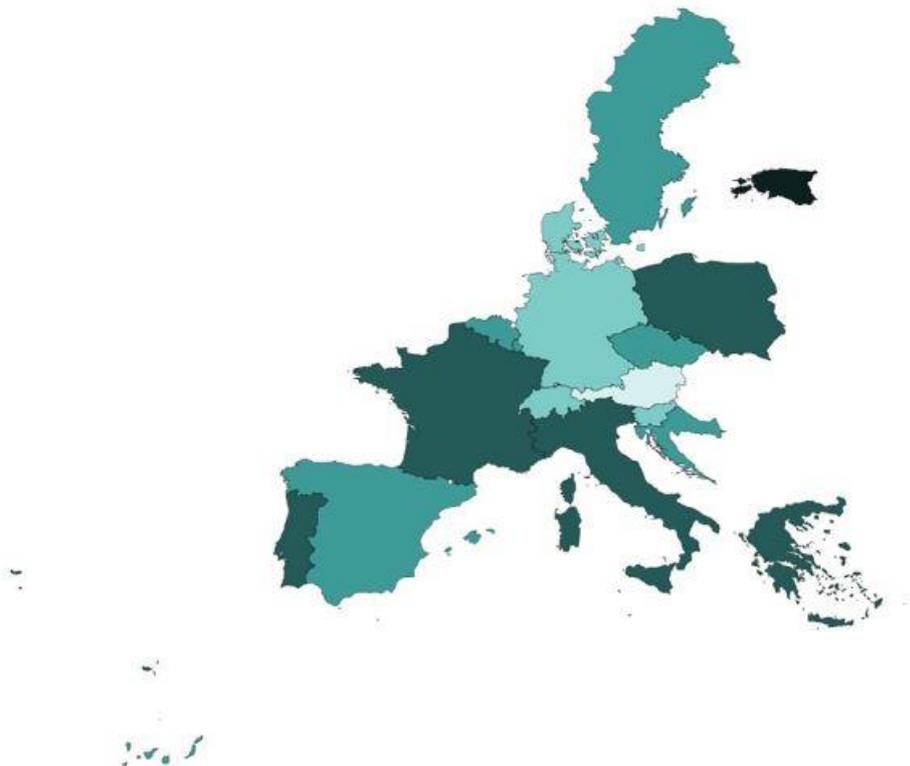
Zusammenfassend ist eine Vielzahl an Ursachen für Gebrechlichkeit zu nennen, die in einem komplexen Zusammenspiel die Ursache für dieses Syndrom sind. Wie bereits erwähnt, kann man Gebrechlichkeit nicht nur auf körperliche Ebene reduzieren, sondern es ist derzeit noch als Syndrom mit verschiedenen Komponenten definiert.

### 2.3.2 Prävalenz von Gebrechlichkeit

Die Prävalenz von Gebrechlichkeit wurde anhand von 68 231 Personen über 50 Jahre in Europa untersucht. Das durchschnittliche Alter betrug 67 Jahre ( $\pm 9.71$ ) und der Anteil an Frauen bestand aus 56,4%, was einer absoluten Zahl von 38 497 entspricht. Es wurde die Prävalenz von Gebrechlichkeit sowie einer Vorstufe von Gebrechlichkeit bei diesen Personen mithilfe eines Fragebogens eruiert (Manfredi et al., 2019). Aufgrund der Vielzahl von Definitionen und Bewertungsinstrumenten für Gebrechlichkeit wurde in gemeindeorientierten Studien eine Prävalenzrate von 4% und 59,1% angegeben (Collard et al., 2012). Es konnte unter anderem ein Unterschied zwischen Männern und Frauen festgestellt werden. Es wurde bei 16,4% der Frauen und nur bei 8,6% der Männer eine Gebrechlichkeit nachgewiesen. Bei der Vorstufe einer Gebrechlichkeit konnte für Frauen eine Prävalenzrate von 43,1%, bei Männern hingegen nur 38,1% festgestellt werden (Macklai et al., 2013). Eine Erklärung dafür könnte der Unterschied der sozioökonomischen Verhältnissen, wie beispielsweise in der Lebensqualität und den Lebensverhältnissen sein, die die weibliche Bevölkerung benachteiligt (Romero-Ortuno et al., 2014). Zudem variieren die Zahlen bei der älteren Bevölkerung aufgrund der Heterogenität, weshalb geographische Vergleiche erschwert werden (Pialoux et al., 2012).

Insgesamt wurde in Europa eine Prävalenzrate einer Vorstufe von Gebrechlichkeit von 42,9% (34% bis 52,8%) berechnet. Die höchsten Werte wurde für Estland (52,8%), Italien (49,7%) und Portugal (47,6%) gemessen, wohingegen Österreich (34%), Slowenien (36,4%) und Dänemark (37%) die niedrigsten Werte aufwiesen. Die Prävalenzraten wurden in Abbildung sieben in grüner Farbe illustriert. Je heller die Flächen desto weniger Personen wurden mit einer Vorstufe der Gebrechlichkeit eingestuft. Österreich ist das einzige Land, das in den untersten Bereich mit 30-34% fällt.

■ 30.0 - 34.9 % 
 ■ 35.0 - 39.9 % 
 ■ 40.0 - 44.9 % 
 ■ 45.0 - 49.9 % 
 ■ 50.0 - 54.9 %



*Abb. 7: Prävalenzraten der Vorstufe von Gebrechlichkeit in Europa und Israel (Manfredi et al., 2019, S. 725)*

Die Prävalenzrate von Gebrechlichkeit beläuft sich auf durchschnittlich 7,7% (3,0% bis 15,6%). Die höchsten Werte wurden in Portugal (15,6%), Israel (14%) und Polen (13,1%) gemessen. Demgegenüber wurden die niedrigsten Werte in der Schweiz (3%), Schweden (4,2%) und Dänemark (5%) ermittelt. Die Prävalenzraten wurden in Abbildung acht in einem Rotton dargestellt. Je heller die Flächen desto weniger Personen wurden als Gebrechlichkeit eingestuft.

■ 2.5 - 4.9 % ■ 5.0 - 7.4 % ■ 7.5 - 9.9 % ■ 10.0 - 12.4 % ■ 12.5 - 14.9 % ■ 15.0 - 17.4 %

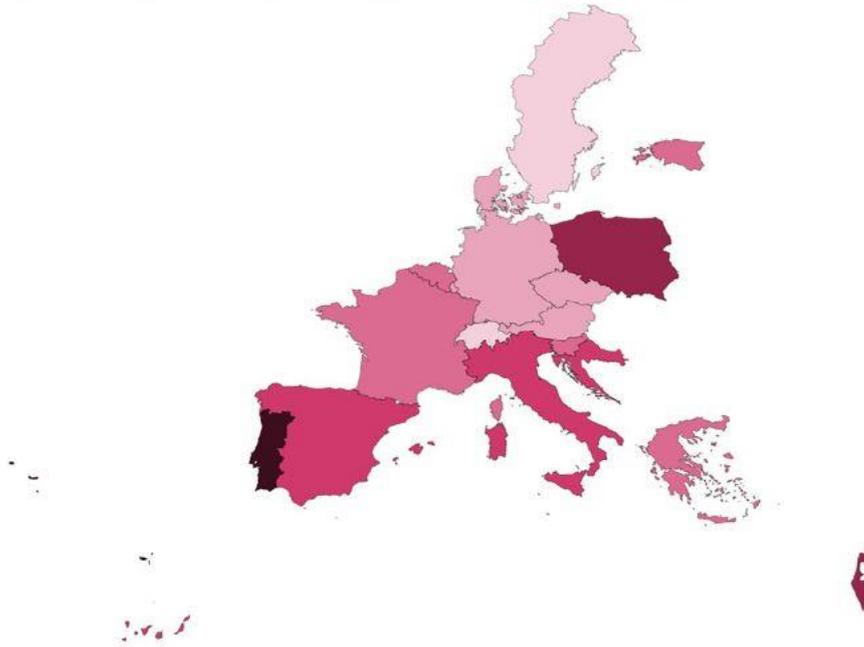


Abb. 8: Prävalenzraten von Gebrechlichkeit in Europa und Israel (Manfredi et al., 2019, S. 725)

#### 2.4 Diagnosemethoden

Die Parameter der Sarkopenie sind die Muskelmasse und ihre Funktion. Messbare Variablen sind die Masse, die Kraft und die funktionelle Leistungsfähigkeit. Es werden Veränderungen der Variablen an Personen mit denselben Maßnahmen getestet, um möglichst genaue Aufschlüsse über den Verlauf der Veränderung zu bekommen. Die Herausforderung bei Sarkopenie besteht darin, eine möglichst gute Diagnose zu stellen, um Interventionen setzen zu können (Cruz-Jentoft et al., 2010). In Tabelle drei werden die unterschiedlichen Messmethoden, die einerseits in der Forschung und andererseits in der Praxis angewendet werden, aufgezählt. Es können Diskrepanzen zwischen Forschung und Praxis auftreten, da die Methoden in der Forschung oftmals nicht in der Praxis verfügbar sind.

Tab. 3: Messungen von Muskelmasse, Kraft und Funktion in Forschung und Praxis

Variable	Forschung	Klinische Praxis
Muskelmasse	Computertomographie (CT)	BIA
	Magnetresonanztomographie (MRT)	DEXA
	Dual-Energie-Röntgenabsorptiometrie (DEXA)	Anthropometrie
	Bioimpedanz Analyse (BIA) Gesamt- oder Teilkörperkalium pro fettfreiem Weichgewebe	
Muskelkraft	Griffkraft	Griffkraft
	Kniestreckung bzw. Kniebeugung	
funktionelle Leistungsfähigkeit	Peak Flow	
	Short Physical Performance Batterie (SPPB)	SPPB
	Gewöhnliche Gehgeschwindigkeit	Gewöhnliche Gehgeschwindigkeit
	Timed get-up and go test (TUAG)	Get-up und go Test
	Stufengehen-Test	

Quelle mod. n. Cruz-Jentoft et al., (2010, S. 415)

Für die Messung der Muskelmasse gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten (Mareschal et al., 2019). Die Kosten, Verfügbarkeit und die Benutzerfreundlichkeit bestimmen, ob ein Einsatz in der Forschung oder in der klinischen Praxis angewandt wird.

Für die Bestimmung der Muskelmasse werden drei Bildgebungstechniken verwendet: Die Computertomographie (CT), die Magnetresonanztomographie (MRT) und die Dual-Energie-Röntgenabsorptiometrie (DEXA), wobei CT und MRT als sehr präzise und zuverlässig gelten, da sie das Fettgewebe vom Körper von anderen Weichteilen des Körper trennen können. Diese Methoden zählen zu den Goldstandards für die Schätzung der Muskelmasse. Demgegenüber stehen hohe Kosten und eingeschränkter Zugang zu den Geräten sowie die Strahlenexposition während der Messung. Deshalb ist der Gebrauch in der klinischen Praxis meist nicht üblich (Chien et al., 2008). Eine DEXA ist dagegen eine günstige Methode sowohl für die Forschung als auch für die klinische Praxis zur Unterscheidung von Fett, Knochenmineralien und mageren Gewebe. Dieses Messverfahren setzt die Testpersonen nur einer minimalen Strahlung aus. Das Gerät ist

aber nicht tragbar, weshalb es in großangelegten Studien kaum Anwendung findet (Chien et al., 2008).

Die Bioimpedanz-Analyse schätzt das Fettvolumen und die Magermasse des Körpers. Die Muskelmasse wird nicht direkt berechnet, sondern leitet stattdessen eine Schätzung der Muskelmasse basierend auf der elektrischen Leitfähigkeit des gesamten Körpers ab (Cruz-Jentoft et al., 2019). Die Testung ist kostengünstig, einfach zu verwenden und leicht reproduzierbar. Es kann sowohl bei ambulanten als auch bei stationären Patienten und Patientinnen, die bettlägerig sind, eingesetzt werden. Die Bewertung der fettfreien Masse mit der Bioimpedanz-Analyse weist jedoch einige Einschränkungen auf, nämlich bei Personen mit veränderter Flüssigkeitszufuhr, wie beispielsweise Ödeme, Aszites oder Flüssigkeitsverlust und bei Personen mit extremen BMI unter 16 kg/m<sup>2</sup> oder über 34kg/m<sup>2</sup> (Kyle et al., 2004).

Insgesamt sind die Messungen im Zusammenhang mit Sarkopenie kritisch zu beleuchten. Aufgrund der technologischen Grenzen sind nämlich die Hauptparameter der Muskelquantität sowie Muskelqualität für die Definition von Sarkopenie problematisch (McGregor et al., 2014). In Zukunft werden Instrumente und Methoden zur Bewertung der Muskelqualität verfeinert, sodass dieser Parameter an Bedeutung gewinnen wird. Derzeit wird hingegen in der Definition der EWGSOP eine geringe Muskelkraft als Hauptparameter für Sarkopenie herangezogen (Cruz-Jentoft et al., 2019).

In Tabelle vier werden die unterschiedlichen Instrumente zur Beurteilung von Muskelmasse, Muskelkraft und funktioneller Leistungsfähigkeit in den unterschiedlichen Settings auf die Anwendbarkeit miteinander verglichen. Es wurde jedem Instrument oder jeder Messmethode ein oder drei Punkte in Form eines „+“, basierend auf der Verfügbarkeit, den Kosten, der erforderlichen Zeit für die Messung und für die Schwellenwerte vergeben. Die Kategorisierung erfolgte mithilfe von drei Punkten, die mit einem Plus ausgedrückt wurden. Sie wurden wie folgt vergeben: „+++“ für die beste empfohlene Messung, „++“ für die beste alternative Methode und „+“ für eine wenig empfohlene Methode (Beaudart et al., 2016). Zur Beurteilung der Muskelmasse wurden die Messmethoden der Dual-Röntgenabsorptiometrie, der Computertomographie, der Magnetresonanztomographie, und der Bioelektrischen Impedanz Analyse herangezogen. Die Anwendbarkeit in der Forschung sowie im klinischen Setting sind äußerst vielversprechend, wohingegen die Anwendbarkeit in der Primärversorgung oder der ambulanten Versorgung nicht empfohlen wird. Zur Beurteilung der Muskelkraft wurden die Handgriffkraft, der Aufstehetest und die Muskelkraft der unteren Extremitäten in den unterschiedlichen Settings untersucht. Insbesondere der Test der Handgriffkraft bzw. der Griffkraft wird in allen Bereichen empfohlen. Im Gegensatz dazu wird der Aufstehetest lediglich in der Primärversorgung als

alternative Methode befürwortet. Der Test zur Beurteilung der unteren Extremitäten wird indessen in der Forschung und im klinischen Setting nur als Alternative empfohlen.

Zur Beurteilung der funktionellen Leistungsfähigkeit werden unter anderem Tests, wie der Timed-up-and-go Test, der 6-Minuten Gehstest, der 400 Gehstest, der Treppensteigttest, die Short Physical Performance Batterie (SPPB) oder die Gehgeschwindigkeit herangezogen. Im Forschungssetting konnten ausschließlich der Gehgeschwindigkeitstest und die SPPB überzeugen, alle anderen Tests wurden nur als Alternative empfohlen. Darüber hinaus wird der Test der Gehgeschwindigkeit für alle anderen Bereiche ebenfalls empfohlen, die SPPB nur im klinischen Bereich. Alle anderen Tests werden im klinischen sowie in der Primärversorgung nicht empfohlen.

*Tab. 4: Anwendbarkeit der vorhandenen Instrumente zur Beurteilung von Muskelmasse, Muskelkraft und funktioneller Leistungsfähigkeit in der Forschung, im klinischen Setting und in der Primärversorgung*

	Anwendbar in der Forschung	Anwendbar im klinischen Setting	Anwendbar in der Primärversorgung
<b>Messung der Muskelmasse</b>			
DEXA	+++	+++	+
Computertomographie	+++	++	+
MRT	+++	++	+
BIA	++	++	+
<b>Messung der Muskelkraft</b>			
Handgriffkraft	+++	+++	+++
Muskelkraft untere Extremität	+++	++	+
Aufstehetest/ chair rise test	+	+	++
<b>Messung der funktionellen Leistungsfähigkeit</b>			
Gehgeschwindigkeit	+++	+++	+++
Timed-up-and-go Test	++	+	+
6 Minuten Gehstest	++	+	+
400 Gehstest	++	+	+
Treppensteigttest	++	+	+
SPPB	+++	++	+

*Quelle: mod. n. Beudart et al. (2016, S. 2)*

#### 2.4.1 Isometrische Messung der Handgriffkraft

Die Messung der Handgriffkraft ist einer der gängigsten Methoden zur Beurteilung der Muskelkraft bei älteren Personen mit Sarkopenie oder Gebrechlichkeit, wobei es unterschiedliche Methoden zur Messung der Handgriffkraft gibt. Die Messung ist leicht durchzuführen, billig und es braucht kein speziell geschultes Personal. (Beaudart et al., 2016). Der „Jamar“ Handdynamometer ist das weitverbreitetste Instrument zur Messung und wird allgemein als Goldstandard aufgrund der normativen Daten angesehen (Roberts et al., 2011). Die absoluten Werte und die Genauigkeit der Messung der Griffkraft können mittels des Erhebungsprotokolls beeinflusst werden. Es müssen Variablen wie beispielsweise die Handgröße und Handdominanz, die Körperhaltung, Gelenkposition, Anstrengung, Ermutigung, Häufigkeit der Tests, und Tageszeit standardisiert werden, um möglichst vergleichbare Werte zu erhalten. Dieser Test wird speziell bei der Beurteilung der Muskelkraft bei älteren Menschen mit dem Verdacht auf von Sarkopenie oder Gebrechlichkeit herangezogen (Cruz-Jentoft et al., 2019). In Tabelle fünf wurde zwei Protokolle angeführt, die für die meisten Messungen herangezogen wurden. Es wurden einerseits das Protokoll von „American Society of Hand Therapists“ (ASHT) und das Southampton Protokoll ausgewertet. Das Southampton Protokoll ist umfangreicher als das ASHT. Beide Protokolle sind sitzend zu absolvieren, wobei bei dem Southampton Protokoll bei jeder Messung der gleiche Stuhl verwendet wurde, um die Vergleichbarkeit zu sichern. Hingegen hat das ASHT genauere Definition bei der Armposition. Das Southampton Protokoll führt noch eine genaue Beschreibung anderer Variablen wie der Füße, der Ermutigung, der Anzahl an Versuchen und der Punktezahl an.

Tab. 5: Protokolle zur Messung der Handgriffkraft

Variablen der Messung	American Society of Hand Therapists (ASHT)	Southampton Protokoll
Position	Sitzende Position	sitzende Position; gleicher Stuhl bei jeder Messung
Arm Position	Schultern adduziert und neutral gedreht, Ellbogen 90 ° gebeugt, Unterarm neutral	Unterarm liegen auf der Armlehne des Stuhls
Position Handgelenk	Handgelenk zwischen 0 und 30° Dorsalflexion	Handgelenk knapp über dem Ende der Armlehne des Stuhls in neutraler Position mit dem Daumen nach oben
Position Beine		Füße flach am Boden
Ermutung		„Ich möchte, dass du so lange wie möglich so fest wie möglich drückst, bis ich aufhöre. drücken, drücken, drücken, halten.“
Anzahl an Versuchen		Drei Versuche pro Seite und abwechselnd
Punktezahl		Maximale Griffbewertung aus allen sechs verwendeten Versuchen

Quelle: mod. n. Roberts et al. (2011, S. 5)

#### 2.4.2 Der Aufstehetest (chair-stand test)

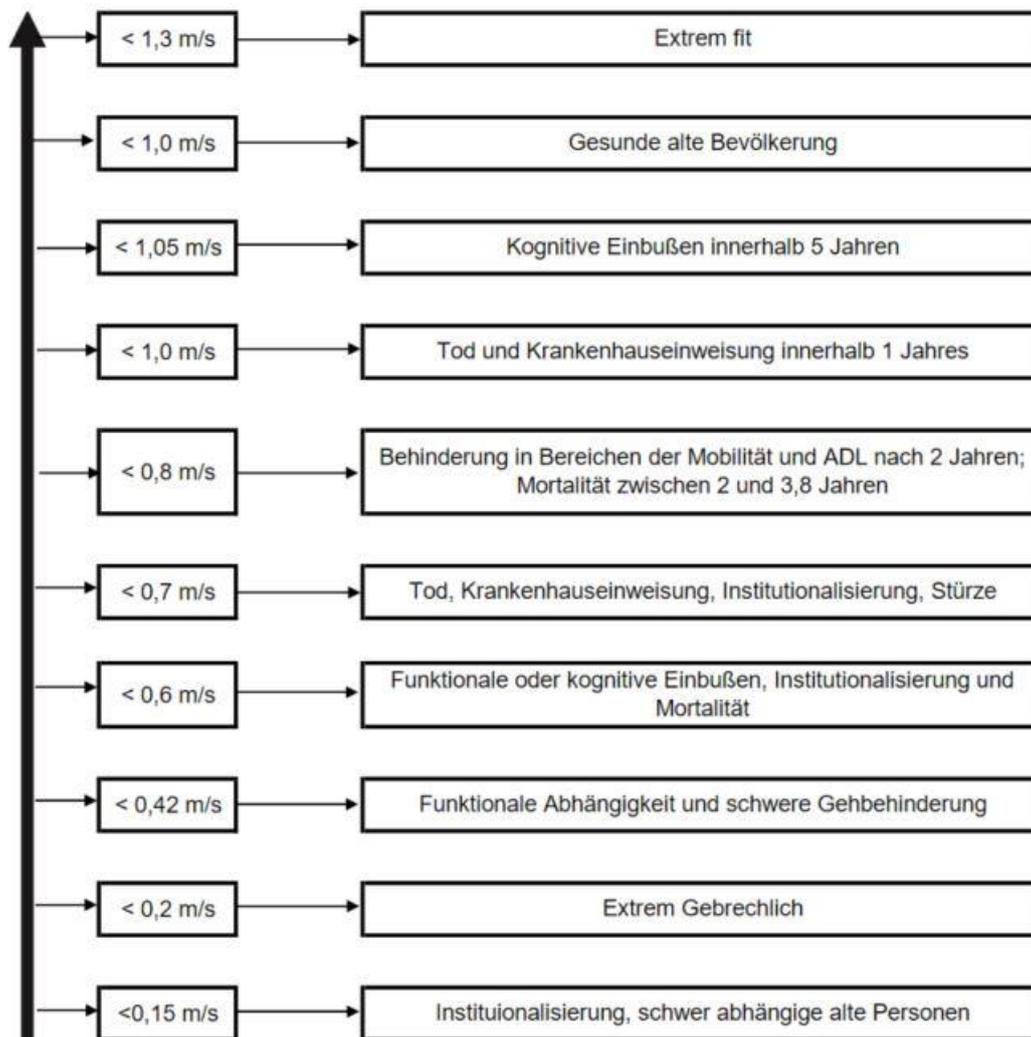
Der Stuhlstandtest oder Aufstehetest wird für die Beurteilung der Stärke der Beinmuskulatur, insbesondere des Quadrizeps herangezogen. Dieser Test kann in zwei unterschiedlichen Varianten durchgeführt werden. Der erste Test misst die Zeit, die eine Testperson benötigt, um fünfmal aus einer sitzenden Position aufzustehen, ohne ihre Arme zu benutzen und die Lehne zu berühren. Die zweite Möglichkeit für die Ausführung dieses Tests ist die zeitgesteuerte Methode bei der die Testperson innerhalb 30 Sekunden sooft als möglich aufstehen und sich wieder hinsetzen muss. Der Stuhlstandtest oder Aufstehetest ist leicht durchzuführen und benötigt kaum Equipment sowie geschultes Personal. Zudem stellt er ein qualifiziertes Maß für die Bestimmung der Kraftwerte einer Person dar (Cruz-Jentoft et al., 2019).

#### 2.4.3 Gehgeschwindigkeit

In der klinischen Praxis wird zur Beurteilung der funktionellen Leistungsfähigkeit die Messung der Gehgeschwindigkeit herangezogen. Dieser Test wird im Bereich der Forschung, im klinischen Setting und in der Primärversorgung angewendet und ist sehr vielversprechend bei der Beurteilung von Sarkopenie und Gebrechlichkeit (Beaudart et al., 2016). Zudem wird kein spezielles Equipment benötigt, da nur ein ebener Boden ohne Hindernisse benötigt wird. Der 4-Metergehtest wird von der EWGSOP empfohlen und wird als Diagnoseinstrument bei Frauen und Männern herangezogen. Als Kriterium für eine

Diagnose müssen die Testpersonen die vorgegebene Strecke unter 0,8 m/s gehen (Cruz-Jentoft et al., 2019). Die Distanz der Testung kann zwischen 2 und 15 Meter variieren und wird oftmals im Zuge der SPPB Testung durchgeführt. Die Ergebnisse der Gehgeschwindigkeit stehen im Zusammenhang mit Einschränkungen des kognitiven Denkens, der Mobilität oder im Zusammenhang mit einer Institutionalisierung oder mit Stürzen (Peel et al., 2012). In der Tabelle sechs hat Peel et al. (2012) in seinem Review die unterschiedlichen Schwellenwerte mit den Risiken für unerwünschte Ereignisse zusammengetragen. Die Gehgeschwindigkeiten variieren hier zwischen 0,15 m/s und 1,3 m/s., wobei der unterste Wert mit einer schweren Abhängigkeit und Institutionalisierung zusammenhängt und der oberste Wert „extrem fit“ bedeutet. Wie man in der Tabelle sehen kann ist eine Gehgeschwindigkeit unter 0,8 m/s mit einem höheren Mortalitätsrisiko, Abhängigkeit sowie Institutionalisierung verbunden. Ab 0,2 m/s gilt man schon als gebrechlich und weist dieselben Symptome auf.

Tab. 6: Schwellenwerte der Gehgeschwindigkeit bei normalem Tempo und Risiko für unerwünschte Ergebnisse in der Literatur



Quelle: mod. n. Peel et al. (2012, S. 887)

#### 2.4.4 Short Physical Performance Batterie

Die Short Physical Performance Batterie (SPPB) wird als Diagnoseinstrument für Sarkopenie und körperliche Gebrechlichkeit herangezogen und besteht aus drei Tests. Dem Tandemtest, einem Gehgeschwindigkeitstest von 4 Metern und einem „Sit-to-stand“ Test. Bei jedem Test kann man maximal vier Punkte und minimal null Punkte erreichen, wobei 12 Punkte die Höchstzahl ist. Die Referenzwerte mit der Punkteanzahl zu den jeweiligen Tests sind in Tabelle sieben angeführt. Der Tandemtest besteht aus drei Teilen, nämlich einem Stand, bei dem beide Füße beisammen sind, einem Semitandemstand, bei dem die Ferse eines Fußes an der Mitte der Innenseite des anderen Fußes platziert ist, dabei kann die Testperson selbst entscheiden, welches Bein vorne steht. Der letzte Tandemtest ist der Tandemstand, bei dem beide Füße hintereinanderstehen. Der

Gehgeschwindigkeitstest wird vor Beginn mit einer Gewöhnung der Testbedingungen begonnen, indem die Testperson eine Strecke in der gewöhnlichen Gehgeschwindigkeit geht. Im Anschluss wird die Strecke auf Zeit gemessen, wobei die Zeit erst gestoppt wird, wenn die Person mit einem Fuß die Linie überschreitet. Der letzte Test ist der Aufstehtest oder sit-to-stand Test, bei dem die Beinkraft gemessen werden soll. Auch hier hat die Testperson die Möglichkeit, einen Testversuch zu absolvieren. Ziel ist es, innerhalb kürzester Zeit fünfmal von einem Stuhl aufzustehen und sich wiederzusetzen. Die Arme werden dabei vor dem Oberkörper verschränkt, sodass ein Abstützen oder Mitschwingen der Arme verhindert wird (Büsching, 2015).

Bei einem Ergebnis unter oder gleich Acht haben die Personen eine reduzierte körperliche Leistungsfähigkeit.

Tab. 7: Punkteanzahl und Referenzwerte für die Tests der SPPB

<b>Tandemtest</b>	<b>Zeit</b>	<b>Punkte</b>
Stand mit geschlossenen Füßen	10 Sek.	1
	< 10 Sek.	0
Semitandemstand	10 Sek.	1
	< 10 Sek.	0
Tandemstand	10 Sek.	2
	3 - 9 Sek.	1
	< 3 Sek.	0

	<b>Zeit</b>	<b>Punkte</b>
<b>Gehgeschwindigkeitstest 4 Meter</b>	< 4,82 Sek.	4
	4,82 - 6,2 Sek.	3
	6,21 - 8,7 Sek.	2
	> 8,7 Sek	1
	Distanz nicht bewältigt	0

	<b>Zeit</b>	<b>Punkte</b>
<b>Aufstehtest / Sit-to- stand</b>	< 11,19	4
	11,2 - 13,69 Sek.	3
	13,7 - 16,69 Sek.	2
	> 16,7 Sek.	1
	> 60 Sek. oder Test nicht abgeschlossen	0

Quelle: mod. n. Büsching (2015, S. 43)

### 3 Hauptteil

#### 3.1 Pedro-Skala

Die Pedro-Skala basiert auf der Evidenzdatenbank PEDro und ist von Physiotherapeuten entwickelt worden. Es ist eine frei zugängliche Seite, die mehr als 20.000 randomisierte Kontrollstudien, systematische Reviews sowie Praxisrichtlinien umfasst und der Bewertung von klinischen Studien dienen soll. Die PEDro Skala weist eine Bandbreite von null bis zehn Punkten auf, wobei zehn Punkte eine valide und ausreichende Information einer Studie darstellt.

Keine der acht Studien wurde in der PEDro Datenbank gefunden, weshalb eine manuelle Eingabe der Skala erfolgte. Die analysierten Studien wurden im Kapitel 3.2.2 in der Tabelle aufgelistet. Die Tabelle gibt Aufschluss, ob die Skalenkriterien, die im nächsten Kapitel aufgelistet sind, erfüllt wurden.

##### 3.1.1 Skalenkriterien

Die Skalenkriterien wurden von der „Physiotherapie Evidenzdatenbank“ PEDro entnommen und aufgelistet. (CEBP, 2020)

1. *„Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden spezifiziert“*
2. *„Die Probanden wurden den Gruppen randomisiert zugeordnet (im Fall von Crossover Studien wurde die Abfolge der Behandlungen den Probanden randomisiert zugeordnet)“*
3. *„Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte verborgen“*
4. *„Zu Beginn der Studie waren die Gruppen bzgl. der wichtigsten prognostischen Indikatoren ähnlich“*
5. *„Alle Probanden waren geblindet“*
6. *„Alle TherapeutInnen, die eine Therapie durchgeführt haben, waren geblindet“*
7. *„Alle Untersucher, die zumindest ein zentrales Outcome gemessen haben, waren geblindet“*
8. *„Von mehr als 85% der ursprünglich den Gruppen zugeordneten Probanden wurde zumindest ein zentrales Outcome gemessen“*
9. *„Alle Probanden, für die Ergebnismessungen zur Verfügung standen, haben die Behandlung oder Kontrollanwendung bekommen wie zugeordnet oder es wurden, wenn dies nicht der Fall war, Daten für zumindest ein zentrales Outcome durch eine „in-tention to treat“ Methode analysiert“*
10. *„Für mindestens ein zentrales Outcome wurden die Ergebnisse statistischer Gruppenvergleiche berichtet“*
11. *„Die Studie berichtet sowohl Punkt- als auch Streuungsmaße für zumindest ein zentrales Outcome“*

### 3.1.2 Übersichtstabelle PEDro Skala

Studienautor (Jahr)	Gesamt	Auswahl kriterien	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zdzieblik (2015)	8/10	X	X	X		X	X		X	X	X	X
Ikeda (2016)	7/10	X	X	X		X	X			X	X	X
Amasene (2019)	7/10	X	X	X		X	X				X	X
Kim (2016)	7/10	X	X	X	X	X	X			X		X
Dirks (2017)	7/10	X	X	X		X	X			X	X	X
Collins (2016)	8/10	X	X	X		X	X	X		X	X	X
Yamada (2019)	6/10	X	X	X		X			X		X	X
Maltais (2016)	8/10	X	X	X		X	X		X	X	X	X
Summe		8	8	8	1	8	7	1	3	6	7	8

Qualität der Studien:  $\geq 7$  Hoch; 4 bis 6 Mittel;  $\leq 3$  Gering; Richtlinien der PEDro Skala verfügbar auf der Website PEDro Database (<https://www.pedro.org.au/german/downloads/pedro-scale/>)

### 3.2 Studienübersicht

In diesem Abschnitt werden die Studien angeführt, die im Zuge der systematischen Literaturrecherche ausgewählt und analysiert wurden. Die acht ausgewählten Studien werden zunächst in einer Tabelle dargestellt und im weiteren Kapitel näher beschrieben. Die Resultate werden dann im folgenden Kapitel der Diskussion miteinander verglichen und mit weiterer Literatur untersucht, um die Forschungsfragen dieses systematischen Reviews beantworten zu können.

Studie (Jahr)	Gruppen	Alter	Sex (w/m)	N	Design	Patiententyp	Messung Körperzusammensetzung	Trainingsintervention		Proteinsupplementation		Messzeitpunkt	Ergebnisse	
								% des 1-RM	Frequenz x Dauer	Typ	Konsummenge (g/d or g/Einheit)			
Zdzieblik (2015)	VG: KT+ PS	72.3 ± 3.7	0/26	26	double-blind randomisiert PK	Sarkopenie	DEXA	50-80%	3t/w x 12 Woche	EAA	15 g/t	Am Anfang	FFM ↑; MK↑, FM↓	
	KG: KT + PLA	72.1 ± 5.5	0/27	27		Nur Männer								12 Wochen
Ikeda (2016)	VG: KT+ PS	78.4 ± 7.8	9/18	27	single-blind randomisiert Crossover	gebrechlich		30% MVC	2t/w x 12 Woche	EAA	2 x 6g /w vor KT	Am Anfang	KSK ↑; BP ↑; FRT ↑	
	KG: KT + PLA	80.4 ± 8.9	10/15	25		12 Wochen								
Amasene (2019)	VG: KT+ PS	81.7 ± 6.4	7/8	15	single-blind randomisiert PK	Sarkopenie	DEXA	50-70%	2t/w x 12 Woche	WHEY + LEU	2 x 20g /w vor KT	Am Anfang	Keine Unterschiede	
	KG: KT + PLA	82.9 ± 5.5	7/6	13		MD				13 Wochen				
Kim (2016)	VG: KT + PS	80.9 ± 2.9	36/0	36	single-blind randomisiert PK	Sarkopenie	BIA	KA	2t/w x 12 Woche	EAA	6g 2x/t	Am Anfang	ASM ↑; BMM ↑, KSK ↑, GGG ↑	
	KG 1: KT	81.4 ± 4.3	35/0	35		nur Frauen								12 Wochen
	KG 2: PS	81.2 ± 4.9	34/0	34		EAA								
	KG 3: Kontrolle	81.1 ± 5.1	34/0	34										
Dirks (2017)	VG: KT+ PS	76 ± 8.2	11/6	17	double-blind randomisiert PK	gebrechlich	DEXA	50-75%	2t/w 24 Wochen	Milchprotein	15g 2x/t	Am Anfang	MM ↑; AMM ↑	
	KG: KT + PLA	77 ± 8.2	11/6	17		12 Wochen						SPPB↑; AT ↓		
												24 Wochen	1-RM BK ↑	
Collins (2016)	VG: KT + WHEY + C	~70.3	KA	9	double-blind randomisiert	gebrechlich	DEXA	80%	2t/w x 14 Wochen	WHEY + CR		Am Anfang	Keine Unterschiede	

	KG: KT + WHEY	69.4	KA	7	PK					WHEY	Keine Angaben (KA)	14 Wochen		
Yamada (2019)	VG: KT + PS	84.9 ± 5.6	20/8	28	double-blind randomisiert PK	Sarkopenie	BIA	Körper	2t/w x 12 Woche	WHEY	10/t	Am Anfang	AMM ↑; GG ↑	
	KG1: KT	84.7 ± 5.1	18/10	28										1-RM BK ↑
	KG2: PS	83.2 ± 5.7	20/8	28						WHEY	10/t	12 Wochen		EBS ↑; GG ↑; AT ↑
	KG3: Kontrolle	83.9 ± 5.7	15/13	28										
Maltais (2016)	VG1: KT + Milchp.	68.0 ± 5.6	0/8	8	double-blind randomisiert PK	Sarkopenie	DEXA	80%	3t/w x 16 Woche	Milchprotein	19-20;5g/t	Am Anfang	MM ↑; TUAG ↓	
	VG2: KT + EAA	64.0 ± 4.8	0/8	8		Nur Männer				EAA + Protein	19g/t	16 Wochen		
	KG: KT + PLA	64.0 ± 4.9	0/10	10										

Anmerkung: ↑ = signifikante Verbesserung; signifikante Verringerung; KG = Kontrollgruppe; VG = Versuchsgruppe; PLA = Placebo; PS = Protein Supplement KT= Krafttraining SB = Single blind; DB = Double blind; PK = Placebo kontrolliert; DEXA = Dual-Energie-Röntgenabsorptiometrie-Messung; KT = Krafttraining; EEA = essenzielle Aminosäure; MK = Muskelkraft; FFM= Fettfreie Masse; MM = Magermasse; FM = Fettmasse; KSK = Kniestreckkraft; BP = Beinpresse; FRT = Functional Reach Test; BMM = Beinmuskelmasse; GGG = gewöhnlichen Gehgeschwindigkeit; 1-RM BK = 1 Wiederholungsmaximum Beinkraft; ASM: appendikuläre Skelettmuskelmasse; AMM = appendikuläre Magermasse; EBS = Einbeinstand; GG = Griffkraft; TUAG = Timed up and go Test; SPPB = Short Physical Performance Batterie; AT = Aufstehtest MD = Maltodextrin, WHEY = Molkeprotein; C = Kreatin; KA =Keine Angaben

### 3.3 Analyse der Studien

#### 3.3.1 Collagen peptide supplementation in combination with resistance training improves body composition and increases muscle strength in elderly sarcopenic men: a randomised controlled trial

In der vorliegenden Studie von Zdzieblik et al. (2015) wurde die Wirkung einer Proteinsupplementation nach dem Training mit Kollagenpeptiden auf Muskelmasse und Muskelfunktion von Personen mit Sarkopenie während eines 12-wöchigen Krafttrainingsprogramms untersucht.

Es wurden 53 Männer mit diagnostizierter Sarkopenie Klasse I und II als Testpersonenkollektiv herangezogen. Die Männer waren im Schnitt 72 Jahre alt und waren frei von akuten Krankheiten oder krankheitsbedingter Kachexie. Unter Verwendung eines Dynamometers und einer Dual-Energie-Röntgenabsorptiometrie (DEXA) wurde bei allen Teilnehmern Sarkopenie festgestellt. Die Diagnose und Klassifizierung der Sarkopenie wurde durch den Verlust von Muskelmasse und Muskelfunktion gemäß den aktuellen Richtlinien festgelegt (Cruz-Jentoft et al., 2010). Sarkopenieklasse I wurde diagnostiziert, wenn die Muskelmasse 1–2 Standardabweichung unter dem geschlechtsspezifischen Mittelwert für junge Erwachsene lag, und Sarkopenieklasse II wurde diagnostiziert, wenn die Muskelmasse unter 2 Standardabweichung lag.

#### Methode:

Es erfolgte eine doppelblinde randomisierte Zuordnung der Testpersonen in eine Versuchsgruppe (TG, n= 26) und eine Kontrollgruppe (PG, n= 27). Alle Testpersonen mussten dreimal wöchentlich ein geführtes Krafttraining an der Universität Freiburg absolvieren, wobei die Versuchsgruppe eine Proteinsupplementation erhielt. Es wurde die Muskelkraft des rechten Quadriceps mittels einer Isokinetischen Messung vor und nach der Intervention gemessen. Zusätzlich wurde ein standardisierter Einbeinstand (Posturomed; Haider-Bioswing) durchgeführt.

#### Trainingsintervention

Es wurden hauptsächlich große Muskelgruppen, an Geräten wie LAT-Zug, Beinpresse, Rückenpresse, etc., innerhalb eines 60-minütigen Interventionsprogramm trainiert. Die Trainingsintensität wurde je nach Trainingsleistung individuell adaptiert. Die Intensität basierte auf der Anzahl möglicher Wiederholungen (Woche 1–4: 15 Wiederholungen, Woche 5–9: zehn Wiederholungen, Woche 10–12: acht Wiederholungen). Jede Wiederholung sollte circa vier Sekunden dauern. Die Anzahl an Sätzen wurde in der Beschreibung nicht erwähnt. Die Muskelkraft des rechten Quadriceps wurde mittels einer

Isokinetischen Kraftmessung sowie die Sensomotorik (SMC) im Zuge eines standardisierten Stabilisierungstests auf einem Bein durchgeführt.

#### Proteinsupplementation

Im Anschluss an die Trainingseinheit, aber maximal innerhalb einer Stunde später, mussten die Testpersonen entweder 15g Kollagenpeptide oder ein Placebo, bestehend aus Siliziumdioxid, aufgelöst in 250 Milliliter Wasser, einnehmen. An Tagen ohne Trainingsintervention waren die Teilnehmer angehalten zum selben Zeitpunkt ihr Supplement einzunehmen. Zusätzlich wurde die Nahrungsaufnahme der Teilnehmer vor und am Ende der Studie anhand von vier Tagesernährungsprotokollen, die sie selbst ausfüllen mussten, bewertet. Die Auswertung der Ernährungsprotokolle ergab, dass die Gesamtenergiezufuhr der Testpersonen im Schnitt bei 1854 kcal pro Tag lag. Davon war die Proteinmenge mit 0,91 g/kg Körpergewicht im unteren Referenzbereich, was für diese Altersgruppe zu wenig ist. Die Zusammensetzung der Supplementation ist in Tabelle acht aufgeschlüsselt.

Tab. 8: Zusammensetzung aller Aminosäuren der Supplementation

Amino acid	Weight (%)	Mol (%)
Hydroxyproline	11.3	9.6
Aspartic acid	5.8	4.8
Serine	3.2	3.4
Glutamic acid	10.1	7.5
Glycine	22.1	32.3
Histidine	1.2	0.8
Arginine	7.8	5.0
Threonine	1.8	1.7
Alanine	8.5	10.5
Proline	12.3	11.8
Tyrosine	0.9	0.5
Hydroxylysine	1.7	1.2
Valine	2.4	2.3
Methionine	0.9	0.9
Lysine	3.8	2.9
Isoleucine	1.3	1.1
Leucine	2.7	2.3
Phenylalanine	2.1	1.4

Quelle: Zdzieblik et al. (2015, S. 1238)

#### Studienergebnis

Beide Gruppen konnten nach der 12-wöchigen Trainingsintervention einen statistisch signifikanten Anstieg ( $P < 0,001$ ) der fettfreien Masse (Cawthon et al.) und einen signifikanten Verlust ( $P < 0,001$ ) der Fettmasse (Cawthon et al.) verzeichnen. Außerdem verbessert sich die Muskelkraft, die SMC und die Knochenmasse in beiden Gruppen signifikant ( $P < 0,001$ ). Auch im Vergleich zwischen den Gruppen konnte ein Unterschied festgestellt werden. Die Placebogruppe (+2,9 kg; SD 1,84) erzielte gegenüber der Versuchsgruppe (+4,22 kg; SD 2,31) einen signifikant höheren Anstieg der FFM. Zusätzlich war die Abnahme der FM bei der Versuchsgruppe stärker (-5,45 kg; SD 3,17) ausgeprägt

als der in der Kontrollgruppe (-3,51 kg; SD 2,16). Auch hier konnte ein signifikanter Unterschied ( $P < 0,05$ ) zwischen den Gruppen festgestellt werden.

Obwohl der Unterschied nicht beträchtlich war, zeigten die Grundparameter, dass die Testpersonen in der Kontrollgruppe weniger wogen und relativ mehr FFM und weniger FM im Vergleich zur Versuchsgruppe hatten. In beiden Gruppen korrelierte der FM-Verlust mit einem Anstieg des FFM. Das bedeutet, dass der Korrelationskoeffizient in der Versuchsgruppe ( $r = 0,72$ ;  $P < 0,001$ ) ausgeprägter war als in der Kontrollgruppe ( $r = 0,55$ ,  $P < 0,03$ ). Auch bei der Muskelkraft konnten beide Gruppen am Ende der Trainingsintervention signifikante Zuwächse erreichen. Die Unterschiede zwischen der Versuchsgruppe (+16,12NM, SD 12,9) und der Kontrollgruppe (+7,38NM; SD 13) waren hier auch bemerkenswert. Hingegen konnte zwischen den Gruppen keine Unterschiede bei der Knochenmasse festgehalten werden, obwohl es insgesamt einen bedeutenden Zuwachs ( $P < 0,001$ ) bei beiden Gruppen gab. Alle Ergebnisse mit Standardabweichung der ersten sowie zweiten Testung beider Gruppen sind in Tabelle neun aufgelistet. Darüber hinaus wurden signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen aufgelistet.

Tab. 9: Vergleich der Ergebnisse zwischen Versuchs- und Placebogruppe

	Treatment group (n 26)				Placebo group (n 27)				Significance between groups in RM ANOVA testing assessing (treatment x time) interaction (P)
	Baseline examination		Final examination		Baseline examination		Final examination		
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
Weight (kg)	88.2†	12.1	87.3	11.9	83.1	14.8	82.8	14.5	NS
Fat-free mass (%)	64.7†	4.26	70.31***	4.8	66.8	4.77	70.4***	4.94	<0.05
Fat mass (%)	31.63†	4.58	25.67***	5.22	29.5	5.53	25.4***	5.55	<0.05
Bone mass (%)	3.6†	0.47	4.02***	0.59	3.81	0.61	4.18***	0.71	NS
Fat-free mass (kg)	56.9†	6.68	61.1***	6.88	54.9	6.96	57.8***	7.46	<0.05
Fat mass (kg)	28.1†	7.09	22.7***	7.08	25.1	8.69	21.6***	8.15	<0.05
Bone mass (kg)	3.14†	0.36	3.46***	0.38	3.1	0.36	3.34***	0.43	NS
Power (knee extension) (Nm)	123†	27.3	140***	28.3	132	27	139*	27.4	<0.05
Sensory motor control (mm)	1205†	852	477***	228	1374	639	516***	24	NS

RM, repeated measurements; mm, length of path on posturometer.

\*  $P < 0.05$  within the group from baseline to final examination; \*\*\*  $P < 0.001$  within the group from baseline to final examination.

† No significant difference at baseline between treatment group and placebo group.

Quelle: Zdzieblik et al. (2015, S. 1240)

### 3.3.2 Effects and feasibility of exercise therapy combined with branched chain amino acid supplementation on muscle strengthening in frail and pre-frail elderly people requiring long-term care: A crossover trial

In der vorliegenden Studie von Ikeda et al. (2016) wurden die Auswirkungen einer Trainingsintervention in Kombination mit der Einnahme von essenziellen Aminosäuren (BCAA) bei der ambulanten Rehabilitation auf die Verbesserung der körperlichen Funktion und Muskelkraft untersucht.

Es wurden 52 gebrechliche und vorgebrechliche ältere Erwachsene untersucht, die eine Langzeitpflege benötigten und eine ambulante Rehabilitation in einer Gesundheitseinrichtung für ältere Menschen erhielten. An der Studie nahmen 33 Männer und 19 Frauen teil. Einschlusskriterien waren der Abschluss einer Pflegeversicherung und das Training mit einer Trainingsmaschine. Der Gesundheitszustand der Testpersonen wurde mittels des Phänotyps der Gebrechlichkeit definiert (Fried et al., 2001). Personen, die keine körperliche Aktivität absolvieren durften oder andere Krankheiten hatten, wurden von der Studie ausgeschlossen. In einer zweimal durchgeführten 12-wöchigen Trainingsintervention wurden Muskelkraft (isometrische Stärke der oberen und unteren Extremität), Gleichgewicht, Aktivitäten des täglichen Lebens, Griffstärke, „timed-up-and-go“ Test (TUAG), funktionalen Reichweitentest (FRT), „Frenchay Activity Index“ (FAI) von zwei Gruppen miteinander verglichen. Der Index gibt die Häufigkeit und Intensität einer körperlichen Aktivität an, wobei der Wert 0 ein sitzender und 45, der höchste Wert, ein sehr aktiver Lebensstil ist. Eine Gruppe ( $78.4 \pm 7.8$ ) erhielt im ersten Zyklus, also in den ersten 12 Wochen, und im Anschluss die zweite Gruppe ( $80.4 \pm 8.9$ ) während des zweiten Zyklus, also in den zweiten 12 Wochen der Trainingsintervention essenzielle Aminosäuren. Zwischen den Zyklen wurde ein Monat pausiert, um die essenziellen Aminosäuren auszuwaschen.

Methode:

Die Testpersonen wurde in der experimentellen Cross-over Studie mittels single-blind und randomisierten Verfahren in zwei Gruppen aufgeteilt. Vor Beginn der Trainingsintervention wurden alle Ausgangsparameter der Testpersonen erhoben und im Anschluss der Trainingsintervention wieder gemessen und die Werte miteinander verglichen. Die Messung erfolgte an einer Beinpresse, an einer Trainingsmaschine für Hüftabduktion, für Kniestreckung und für eine Ruderbewegung. Beinpresse und Kniestreckung wurden in einer Trainingsmaschine (Wel-Tonic L-Serie, Minato Medical Science Co., Ltd.) bei einem Hüft- und Kniewinkel von 90 Grad Flexion Ausgangsposition gemessen. Der Winkel der Hüfte bei der Hüftabduktion betrug 0 Grad Abduktion. Nachdem die Teilnehmer mit dem Testverfahren vertraut gemacht worden waren, wurden zwei Versuche mit maximaler

Anstrengung mit einer Erholungszeit von 15 Minuten durchgeführt. Das Körpergewichtsverhältnis des höheren Wertes wurde zur Analyse verwendet. Die Griffstärke aller Testpersonen wurde unter Verwendung eines Griffdynamometers vom Smedley-Typ (Grip-D, Takei Scientific Instruments Co., Ltd.) gemessen.

Die Fähigkeit zum dynamischen Gleichgewicht wurde anhand des FRT (Duncan et al., 1990) und des TUAG gemessen. Jeder Test wurde zweimal durchgeführt, wobei der höhere Wert des FRT und der niedrigere Wert des TUAG verwendet wurden. Die körperliche Aktivität wurde anhand der ADL innerhalb der letzten drei Monate vor Beginn der Studie erhoben.

#### Trainingsintervention

Die gesamte Trainingsintervention betrug zweimal 12 Wochen und ein Monat lang eine sogenannte Auswaschphase, in der die Testpersonen keine Supplemente bekamen. Jede Trainingsintervention beinhaltete fünf Sätze, wobei drei Sätze mit 20 Wiederholungen als klassisches Krafttraining an Maschinen, ein Satz Aerobic-Übungen und ein Satz Gleichgewichtsübungen vorgesehen waren. Die Satzpausen waren mit 15 Minuten angesetzt. Die Intensität des Krafttrainings wurde mit 30% der maximalen willkürlichen Kontraktion (MVC) festgelegt. Die Bewegungsgeschwindigkeit wurde den Testpersonen vorgegeben und sollte drei Sekunden exzentrisch, drei Sekunden konzentrisch und eine Sekunde isometrische Aktion beinhalten, jedoch ohne Pause zwischen den Wiederholungen. Während des Krafttrainings waren Physiotherapeuten anwesend, um Ausgleichsbewegungen auszubessern. Die Aerobic-Übungen wurden entweder auf einem Ergometer (Akku-Fahrrad V65Ri, Senoh Co., Ltd.) oder auf einem liegenden Crosstrainer (NUSTEP-Liegerad-Cross-Trainer T4r, NuStep Inc.) absolviert. Die Intensitätsstufe wurde auf der Stufe 12 der Borg-Skala eingestellt und betrug einmal 10 Minuten. Die Gleichgewichtsübungen wurden mit einem Balance Pad (Balance Pad Elite, Airex AG, Sins) in Kombination mit einem Gangtraining durchgeführt und bestanden aus einem Satz von 15 Minuten.

#### Proteinsupplementation

Während des ersten Zyklus wurde für Teilnehmer der ersten Gruppe eine BCAA-Supplementation und während des zweiten Zyklus für Teilnehmer der letzten Gruppe zweimal pro Woche bereitgestellt. Zehn Minuten vor dem Training nahmen die Teilnehmer ein 6 g Aminosäurenpräparat ein (Kalorien 25,5 kcal, Amino-Vital-Tablette, Ajinomoto Co., Inc.). Das Präparat enthielt 500 mg Aminosäuren pro 1 g: 260 mg BCAA und 240 mg bedingt essenzielle Aminosäuren (105 mg Leucin, 85 mg Isoleucin, 70 mg Valin, 123 mg Glutamat und 117 mg Arginin). Hingegen bekam die Kontrollgruppe statt des BCAA ein

Maltodextrinpräparat in Tablettenform. Ebenfalls zehn Minuten vor Beginn des Trainings nahmen die Teilnehmer 6 g Maltodextrin (Polysaccharid, Kalorien 23,4 kcal) ein. BCAA-Präparate und Maltodextrin wurden mit 200 ml Wasser oder kalorienfreiem Tee eingenommen. Während der Auswaschphase nahmen die Teilnehmer keine BCAA-Präparate oder Maltodextrin, sondern nur ein kalorienfreies Erfrischungsgetränk zu sich. Zusätzliche Aminosäurepräparate und Nahrungsergänzungsmittel waren während der Trainingsintervention verboten.

#### Studienergebnis

Beide Gruppen hatten eine ähnliche Compliance Rate des Trainings sowie der Nahrungsaufnahme mit mindestens 95%. Zwölf Testpersonen konnten aufgrund von Krankenhausaufenthalten oder anderen Gründen die gesamte Studie nicht vollständig abschließen. Keine Testpersonen hatte aufgrund der BCAA Supplementation Nebenwirkungen.

Die BCAA Gruppe hatte signifikante Zuwächse bei der Beinpresse ( $P=0,032$ ;  $13,9\% \pm 36,0\%$ ) im Vergleich zur Kontrollgruppe ( $2,7\% \pm 12,5\%$ ). Unter anderem wurde auch ein bedeutender Zuwachs bei den Beinstreckern ( $P= 0,008$ ;  $9,5\% \pm 26,3$ ) in der BCAA Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe ( $-0,8 \pm 18,2\%$ ) gemessen. Die BCAA Gruppe (konnte beim FRT auch einen deutlichen Zuwachs ( $P=0.021$ ;  $11\% \pm 22\%$ ) im Vergleich zur Kontrollgruppe ( $1\% \pm 17\%$ ) erzielen. Unterdessen gab es innerhalb der weiteren Parameter keine erheblichen Unterschiede. In Tabelle zehn sind die Ergebnisse der Versuchs- sowie der Kontrollgruppe angeführt.

Tab. 10: Ergebnisse der BCAA Gruppe und der Kontrollgruppe

Outcome measure (%)	BCAA (n = 52: 33 men and 19 women)	Control (n = 52: 33 men and 19 women)	p
Leg press	13.9±36.0	2.7±12.5	0.032*
Hip abduction	6.6±15.9	0.3±11.7	0.064
Knee extension	9.5±26.3	-0.8±18.2	0.008*
Rowing	5.7±17.4	4.8±22.1	0.436
Grip strength	0.1±14.4	0.4±20.4	0.861
Timed Up and Go test	2.5±15.7	2.1±11.3	0.637
Functional Reach Test	11.0±22.0	1.0±17.0	0.021*
Frenchay Activities Index	10.1±37.5	33.3±93.9	0.502

Quelle: Ikeda et al. (2016, S. 442)

### 3.3.3 Effects of Leucine-Enriched Whey Protein Supplementation on Physical Function in Post-Hospitalized Older Adults Participating in 12-Weeks of Resistance Training Program: A Randomized Controlled Trial

In der vorliegenden Studie von Amasene et al. (2019) wurde die Auswirkung des Krafttrainings in Kombination mit einem Leucin angereicherten Molkeproteinsupplements auf Muskelmasse und Kraftzuwachs bei älteren Personen mit Sarkopenie untersucht.

Es wurden insgesamt 41 Personen, die in zwei Gruppen aufgeteilt wurden, für diese 12-wöchige Kontrollstudie rekrutiert. Die Versuchsgruppe war durchschnittlich 81,7 ( $\pm$  6,45) Jahre alt mit 15 Testpersonen und die Kontrollgruppe war durchschnittlich 82,9 ( $\pm$  5,59) Jahre alt mit 13 Testpersonen. Alle Testpersonen erfüllten die Kriterien für Sarkopenie, die von der Europäischen Arbeitsgruppe definiert wurde. Dennoch konnten alle ohne Gehhilfe ihren Alltag bewältigen. Ausgenommen waren jene Testpersonen, die andere Vorerkrankungen hatten, nicht gehen konnten oder in den letzten drei Monaten Brüche oder Gelenksverletzungen hatten. Es wurden Tests zur Beurteilung der Kraft des Unter- und Oberkörpers durchgeführt. Die standardisierten Tests beinhalteten einerseits einen 30-Sekunden Stuhlstandtest und andererseits einen 30-Sekunden Armbeugetest. Für die Oberkörperkraft wurde die isometrische Handgriffstärke anhand eines Handdynamometers (JAMAR® PLUS + Handprüfstand) ermittelt. Untere anderem wurde die aerobe Leistungsfähigkeit mittels eines Senioren-Fitnesstests (SFT) (Rikli et al., 2013), der aus einem 6-minütigen Gehtest bestand, gemessen. Als Maß für die körperliche Funktionsfähigkeit wurde die „Short Physical Performance Batterie“ (SPPB) herangezogen, die Parameter, wie Gleichgewicht, 4 Meter Gehgeschwindigkeitstest und das fünfmalige Aufstehen von einem Sessel mit Zeitmessung beinhaltete. Zusätzlich wurden mithilfe einer DEXA Körperfett, fettfreie Masse, Knochenmasse, Knochenmineraldichte und Knochenmineralgehalt gemessen. Die Parameter des Körpers wurden gemäß des von der „International Society for Advancement of Kinanthropometry“ empfohlenen Protokolls gemessen. Darüber hinaus wurde der Ernährungsstatus der Teilnehmer anhand eines MNA-Fragebogens (Nestlé Nutritional Institute) bewertet (Guigoz, 2005). Dieser Fragebogen enthält 18 Punkte, die in vier Kategorien, nämlich anthropometrische Bewertung, allgemeine Bewertung, kurze diätetische Bewertung und subjektive Bewertung unterteilt sind. Es konnten maximal 30 Punkte erzielt werden, wobei 24 bis 30 Punkte einen normalen Ernährungszustand und 17 bis 23,5 ein Risiko für Unterernährung und unter 17 eine Unterernährung darstellten.

## Methode:

Das gesamte Testpersonenkollektiv wurde mittels single-blind und randomisierten Verfahren in zwei Gruppen aufgeteilt. Zu Beginn der Intervention bestand die Proteingruppe aus 21 und die Kontrollgruppe aus 20 Personen. Die Anzahl an Männern und Frauen wurde zuvor berücksichtigt, damit die Verteilung möglichst ident ist. Lediglich 15 Personen der Proteingruppe und 13 Personen der Kontrollgruppe absolvierten die gesamte Intervention.

## Trainingsintervention

Die Trainingsintervention fand an zwei nicht aufeinanderfolgenden Tagen statt und betrug eine ganze Stunde. Die erste Woche wurde als Gewöhnung herangezogen und für einen 1-RM Test verwendet. Die Intensität des Krafttrainings wurde zu Beginn bei der Hälfte der Übungen mit 50-65% des 1-RM durchgeführt. In den folgenden Monaten wurde die Belastung auf 70% des 1-RM erhöht. Je Übung und Belastung wurden zwei Sätze bis zur maximalen Erschöpfung durchgeführt. Alle Trainingsinterventionen wurden von Sportwissenschaftlern für die Testpersonen konzipiert. Die Einheiten begannen mit Aufwärmübungen (Fersenstand, Wadenheben, Stuhlstandübung, Nackenbewegungen), gefolgt von der Kräftigung der oberen und unteren Extremitäten. Neben Krafttraining wurden Übungen zur Verbesserung des dynamischen Gleichgewichts (Aufrechterstand, Semi-Tandem-Stand, Tandem-Stand, Einbeinstand, zeitgesteuertes Auf und Ab, Umgehen von Hindernissen und Auf- und Ab-Übungen) durchgeführt.

## Proteinsupplementation

Das Protein oder das Placebo wurden vom Ernährungsberater in der ersten halben Stunde nach jeder Trainingseinheit verabreicht. Das Proteinsupplement enthielt 20 g Molkeproteinisolat (Davisco®: BiPRO-natürliches Molkenproteinisolat) das mit 3 g Leucin angereichert war. Die Nährstoffzusammensetzung wurde in Tabelle elf aufgelistet. Das Supplement musste in 150 Milliliter Wasser mit Zitronengeschmack eingenommen werden. Ergänzungen wurden in Kisten aufbewahrt und nur das Forschungsteam konnte sie identifizieren.

Tab. 11: Nährstoffzusammensetzung der Protein- und Placebo-Präparate

Nutritional Composition	Protein Supplement
B-lactoglobulin (g/bottle)	20
L-Leucine (g/bottle)	3
Sodium saccharin (g/bottle)	0.050
Sucralose (g/bottle)	0.030
Lemon flavor 654500 (g/bottle)	0.250
Placebo supplement	
Maltodextrin (g/bottle)	23
Hydroxyethylcellulose (g/bottle)	0.200
Lemon flavor 654500 (g/bottle)	0.250

Quelle: Amasene et al. (2019, S. 5)

#### Studienergebnis

Vor der Intervention bestanden keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Körperzusammensetzung und den Ernährungsstatusvariablen zwischen den Gruppen. Innerhalb der physikalischen Funktionsparameter ging die Proteingruppe jedoch zu Studienbeginn bedeutend mehr Meter in der 6MWT ( $P < 0,05$ ). Im Gegensatz dazu zeigte die Proteingruppe eine deutlichgrößere Magermasse an den Beinen als die Placebogruppe ( $P < 0,05$ ).

Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen der Proteingruppe und der Kontrollgruppe festgestellt werden. In der Tabelle 12 werden alle Parameter für die Kontrollgruppe und der Interventionsgruppe sowie dem P-Wert aufgelistet.

Tab. 12: Ergebnisse der körperlichen Leistungsfähigkeit

funktionelle Leistungsfähigkeit	Kontrollgruppe	Proteingruppe	<i>p</i>
Griffkraft (kg/body mass)	0.0 (0.03)	-0.0 (0.06)	0.971
SFT Aufstehtest von Sessel 30sec	2.8 (2.79)	2.1 (1.53)	0.480
SFT Armbeuger Test 30sec	8.4 (5.74)	7.2 (4.86)	0.724
SFT 6min Gehstest (m)	60.2 (53.67)	43.6 (51.2)	0.959
SPPB Gesamtsumme	1.6 (1.39)	1.2 (1.21)	0.634
SPPB 5 x Aufstehen vom Sessel	-4.1 (4.32)	-2.2 (2.4)	0.491

Quelle: Adaptiert nach Amasene et al. (2019, S. 8)

Hinsichtlich der Ergebnisse der Körperzusammensetzung, die in Tabelle 13 aufgelistet sind, konnte lediglich ein positiver Trend, aber keine signifikante Änderung, bei der fettfreien Masse des Arms der Interventionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe festgestellt werden. Die restlichen Parameter der Körperzusammensetzung ergaben keine bemerkenswerten Unterschiede zwischen den Gruppen. Die MNA-Bewertung verbesserte sich bei beiden Gruppen deutlich, jedoch gab es zwischen den Gruppen keinen signifikanten Unterschied.

Tab. 13: Ergebnisse der Körperzusammensetzung

<b>Körperzusammensetzung</b>	<b>Kontrollgruppe</b>	<b>Proteingruppe</b>	<b>p</b>
Gewicht (kg)	-0.3 (2.24)	0.3 (1.60)	0.471
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	-0.3 (2.24)	0.3 (1.60)	0.493
Verhältnis von Taillen-/ Hüftumfang	0.0 (0.06)	0.0 (0.05)	0.400
Fettfreie Masse Arme (kg)	0.0 (0.36)	-0.1 (0.24)	0.088
Fettfreie Masse Beine (kg)	0.1 (0.64)	0.1 (0.34)	0.756
Fettfreie Masse Rumpf (kg)	-0.4 (1.21)	0.2 (0.67)	0.128
Fettfreie Masse insg. (kg) -	0.4 (2.52)	0.2 (1.02)	0.611
Fettmasse Arme (%)	0.0 (0.56)	-0.1 (0.41)	0.575
Fettmasse Beine (%)	0.2 (0.45)	0.1 (0.46)	0.549
Fettmasse Rumpf (%)	-0.4 (1.86)	0.7 (1.31)	0.297
Fettmasse insg. (%)	0.2 (1.91)	0.6 (1.31)	0.357

Quelle: Adaptiert nach Amasene et al. (2019, S. 8)

### 3.3.4 Long-term effects of exercise and amino acid supplementation on muscle mass, physical function and falls in community-dwelling elderly Japanese sarcopenic women: A 4-year follow-up study

In der vorliegenden Studie von Kim et al. (2016) wurden die Langzeiteffekte einer Trainingsintervention mit Proteinsupplementation auf Muskelmasse, funktionelle Leistungsfähigkeit, Aktivitäten des täglichen Lebens und Stürze von älteren Personen mit Sarkopenie untersucht.

155 Teilnehmerinnen über 75 Jahre nahmen an dieser 12-wöchigen Kontrollstudie teil. Eingeschlossen in das Testpersonenkollektiv wurden jene, die eine appendikuläre Skelettmuskelmasse unter  $6,42 \text{ kg/m}^2$ , Kniestreckkraft unter  $1,01 \text{ Nm/kg}^2$ , Gehgeschwindigkeit unter  $1,22 \text{ m/s}$  und/ oder einen BMI unter  $22 \text{ kg/m}^2$  aufwiesen und somit den Kriterien einer Sarkopenie entsprachen. Die Muskelmasse wurde unter Verwendung eines segmentalen bioelektrischen Mehrfrequenzimpedanzanalysegeräts gemessen, dass bei 5, 50, 250 und 550 kHz betrieben wurde (Well-Scan 500; Elk). Parameter wie Stürze, Frakturen, Bewegungsgewohnheiten, chronische Krankheiten, Krankenhausaufenthalte, etc. wurden anhand eines Interviews erhoben. Die Aktivitäten des täglichen Lebens wurden mithilfe des TMIG-Kompetenzindex gemessen. Der TMIG Index ist ein multidimensionaler 13-teilliger Index und besteht aus fünf Unterkategorien. Für jede Kategorie bekamen die Testpersonen einen Punkt, wenn sie diese mit „Ja“ beantworteten. Falls sie mit „Nein“ antworteten, bekamen sie 0 Punkte. Wenn die Selbsterwartung niedriger als vier Punkte war, wurde eine Aktivitätseinschränkung diagnostiziert. Die körperlichen Funktionstests umfassten Griffkraft, Kniestreckkraft und die Gehgeschwindigkeit.

#### Methode

Das Testpersonenkollektiv wurde mittels single-blind Verfahren randomisiert vier Gruppen zugeordnet. Die Gruppen bestanden aus einer Trainings- und Supplementen- Gruppe (n=38), einer reinen Trainingsgruppe (n=39), einer reinen Supplemente-Gruppe (n=39) und einer Gruppe mit Gesundheitserziehung (n=39). Vier Jahre nach dieser Intervention verglich man Testpersonen, die keine Intervention hatten mit jenen, die in dieser Zeit eine Intervention absolviert hatten. Die Messungen fand im Anschluss nach der ersten Studie (Kim et al., 2012) statt und nach vier Jahren wurde eine weitere Messung zwischen der Interventionsgruppe und der Kontrollgruppe durchgeführt.

#### Trainingsintervention

Die Trainingsintervention fand zweimal pro Woche mit mäßiger Intensität für eine Stunde statt. Nach einem fünfminütigen Aufwärmprogramm fand die Krafttrainingseinheit statt, die 30 Minuten dauerte und dann kamen die Gleichgewichts- und Gangübungen, die 20

Minuten in Anspruch nahmen. Die restlichen 5 Minuten waren als „Cool down“ vorgesehen. Die Trainingsintervention beinhaltete Gleichgewichtsübungen mit dem Stuhl, Widerstandsübungen und Gangtraining. Eine detailliertere Information zu der Trainingsintervention liegt in der folgenden Studie nicht vor.

#### Proteinsupplementation

Die Teilnehmerinnen mit einer Proteinsupplementierung mussten zweimal täglich 6 g pulverförmige Aminosäurepräparate (42,0% Leucin, 14,0% Lysin, 10,5% Valin, 10,5% Isoleucin, 10,5% Threonin, 7,0% Phenylalanin und 5,5% andere) zu sich nehmen. Die Teilnehmer wurden dann überkreuzt, um die Intervention (en) zu erhalten, die in den ersten 3 Monaten nicht bereitgestellt wurden. Das heißt, die Trainingsgruppe + Supplementen-Gruppe wechselte zur Kontrollgruppe und umgekehrt, und die Trainingsgruppe wechselte zur Aminosäure-Supplementen-Gruppe und umgekehrt. Jeder Teilnehmer erhielt während der Übung entweder die Aminosäure-Supplementierung in Kombination oder separat.

#### Studienergebnis

Die Vergleiche der Unterschiede ausgewählter Variablen zwischen den Ausgangswerten und den Werten nach der Intervention zwischen Probandinnen und jenen die keine Intervention machten, zeigten, dass zwischen den beiden Gruppen signifikante zeitliche Wechselwirkungen hinsichtlich der Beinmuskelmasse ( $P = 0.018$ ), der Kniestreckkraft ( $P = 0.001$ ) und der gewöhnlichen Gehgeschwindigkeit ( $P = 0.025$ ) bestanden. Die Veränderungen der Abnahme von Beinmuskelmasse waren deutlich niedriger bei der Interventionsgruppe (-16,7%) als bei der Kontrollgruppe (-20,4%) mit einer absoluten mittleren Differenz von 3,7% ( $P=0,012$ ). Auch die Abnahme der Kniestreckkraft bei der Interventionsgruppe (-2,9%) und der Kontrollgruppe (-13,6%) waren statistisch signifikant ( $P= 0,041$ ). Die Reduktion der Gehgeschwindigkeit der Interventionsgruppe (6,8%) und bei der Kontrollgruppe (15,2%) ergab ebenfalls beträchtliche Unterschiede ( $P= 0,029$ ). Die Analyse der Aktivitäten des täglichen Lebens ergab, dass es zwischen der Interventionsgruppe und der Kontrollgruppe einen signifikanten Unterschied nach vier Jahren im Vergleich zum Ausgangswert gab. Die Sturzrate des Vorjahres unter den Teilnehmerinnen betrug 2008 18,5% und 2012 23,0% ( $P = 0,145$ ). Bei Nichtteilnehmern betrug die Sturzrate des Vorjahres 2008 17,7% und 2012 29,0% ( $P <0,001$ ). Alle Ergebnisse mit den P-Werten sind in Tabelle 14 einsehbar.

Tab. 14: Ergebnisse der körperlichen Leistungsfähigkeit

Variables	Participants Mean ± SE	Non-participants Mean ± SE	Absolute difference (95% CI for difference)	P-value
Bodyweight	0.2 ± 0.8	-1.2 ± 1.2	1.3 (-4.2 to 1.6)	0.362
BMI	1.6 ± 0.8	0.2 ± 1.2	1.5 (-4.3 to 1.4)	0.321
Total skeletal muscle mass	-16.0 ± 0.6	-18.1 ± 0.9	2.1 (-4.2 to 0.1)	0.054
Appendicular skeletal muscle mass	-21.5 ± 0.7	-24.5 ± 1.0	2.9 (-5.4 to -0.5)	0.019
Leg muscle mass	-16.7 ± 0.8	-20.4 ± 1.2	3.7 (-6.5 to -0.8)	0.012
Grip strength	-2.1 ± 2.3	-2.2 ± 5.6	0.1 (-10.1 to 10.0)	0.990
Knee extension strength	-2.9 ± 2.2	-13.6 ± 3.7	10.7 (-21.0 to -0.4)	0.011
Usual walking speed	-6.8 ± 2.3	-15.2 ± 2.8	8.4 (-16.0 to -0.9)	0.029

Data reported as mean percent change ± standard error (SE). BMI, body mass index; CI, confidence interval.

Quelle: Kim et al. (2016, S. 4)

### 3.3.5 Protein Supplementation Augments Muscle Fiber Hypertrophy but Does Not Modulate Satellite Cell Content During Prolonged Resistance- Type Exercise Training in Frail Elderly

In der vorliegenden Studie von Dirks et al. (2017) wurden die Auswirkungen eines Krafttrainings mit Proteinsupplementation auf die Muskelfasergröße und die myozellulären Eigenschaften bei gebrechlichen älteren Personen getestet.

Es wurden 33 gebrechliche ältere Personen im Alter von 77 (±1) Jahren für die 24 Wochen andauernde Studie rekrutiert. Die Testpersonen setzten sich aus 22 Frauen und 12 Männern zusammen, die weder Vorerkrankungen, Bluthochdruck, Allergie auf Milchprodukte, noch in den letzten zwei Jahren ein Trainingsprogramm absolviert hatten. Mithilfe des Kriterienkatalogs von Fried et al. (2001) wurden die Testpersonen auf eine Gebrechlichkeit überprüft, um an dieser Studie teilnehmen zu können. Es wurden zwei Arten der Gebrechlichkeit unterschieden, die zumindest in einem Punkt übereinstimmen musste, um eine Vorstufe einer Gebrechlichkeit diagnostiziert zu bekommen. Folgende Kriterien wie unbeabsichtigter Gewichtsverlust von 4,5 kg oder 5% des Körpergewichts im vergangenen Jahr, selbstberichtete Erschöpfung (mittels Fragebogen – Depressionsskala), niedrige Griffstärke, langsame Gehgeschwindigkeit oder geringe körperliche Aktivität (Minnesota Leisure Time Activity Fragebogen) wurden einbezogen. Gebrechlichkeit wurde definiert, wenn drei oder mehr Kriterien erfüllt wurden, hingegen wurde bei Erfüllung von 1 oder 2 Kriterien eine Vorstufe diagnostiziert. Zusätzlich wurden Vitalparameter, anthropometrische Daten und DEXA Scans der Personen erhoben und ein 1-RM Test wurde durchgeführt.

#### Methode:

Das Testpersonenkollektiv wurde mittels double-blind Verfahren in zwei Gruppen randomisiert zugeordnet. Beim Start des Tests, dann nach 12 Wochen und wieder nach 24 Wochen der Intervention wurde Muskelgewebe 15 Zentimeter über der Patella aus dem Muskel Vastus lateralis, dem äußeren Oberschenkelmuskel, entnommen. Bei beiden Gruppen wurde zu Beginn der Studie eine Typ II Muskelatrophie (Typ II Fasern waren kleiner als Typ I Fasern) nachgewiesen. Die fettfreie Masse, die Fettmasse und der Knochenmineralgehalt wurden mittels einem „Lunar Prodigy Advance Scanner“ (GE Health Care, Madison, WI) erhoben.

#### Trainingsintervention

Das Training fand zweimal in der Woche statt, die genaue Dauer wurde nicht angeführt. Zu Beginn des Trainings mussten sich die Teilnehmer fünf Minuten auf einem Ergometer aufwärmen und im Anschluss das Krafttraining, das aus einem Ganzkörpertraining bestand und mithilfe von Trainingsmaschinen durchgeführt wurde, absolvieren. Es wurden je vier Sätze an der Beinpresse und an der Beinstreckmaschine durchgeführt. Zusätzlich wurden drei Sätze für den Oberkörper mit LAT-Zug, vertikales Rudern, Bankdrücken auf Technogym Geräten durchgeführt. Das Training wurde bei einer Intensität von 50% des 1-RM mit 10 bis 15 Wiederholungen in jedem Satz durchgeführt. Nach vier Wochen wurde die Intensität für die unteren Extremitäten auf 75% des 1-RM mit ca. acht Wiederholungen erhöht. Generell wurden Intensitätssteigerungen alle vier Wochen durchgeführt. Zwischen den Sätzen und Übungen waren mindestens ein bis zwei Minuten Pause vorgesehen. Die Compliance der Testpersonen belief sich auf 84% für das Training.

#### Proteinsupplementation

Den Testpersonen wurde innerhalb der 24-wöchigen Intervention zweimal täglich nachdem Frühstück und nach dem Mittagessen entweder das Placebo oder ein Proteinsupplement in einem 250 ml Getränk verabreicht. Das Proteinsupplement enthielt 15 g Milchproteinkonzentrat (MPC80), 0,5 g Fett, 13 g Laktose und 0,42 g Kalzium. Das Placebo enthielt kein Fett und kein Protein, sondern nur 7,13 g Laktose und 0,42 g Kalzium.

#### Studienergebnis

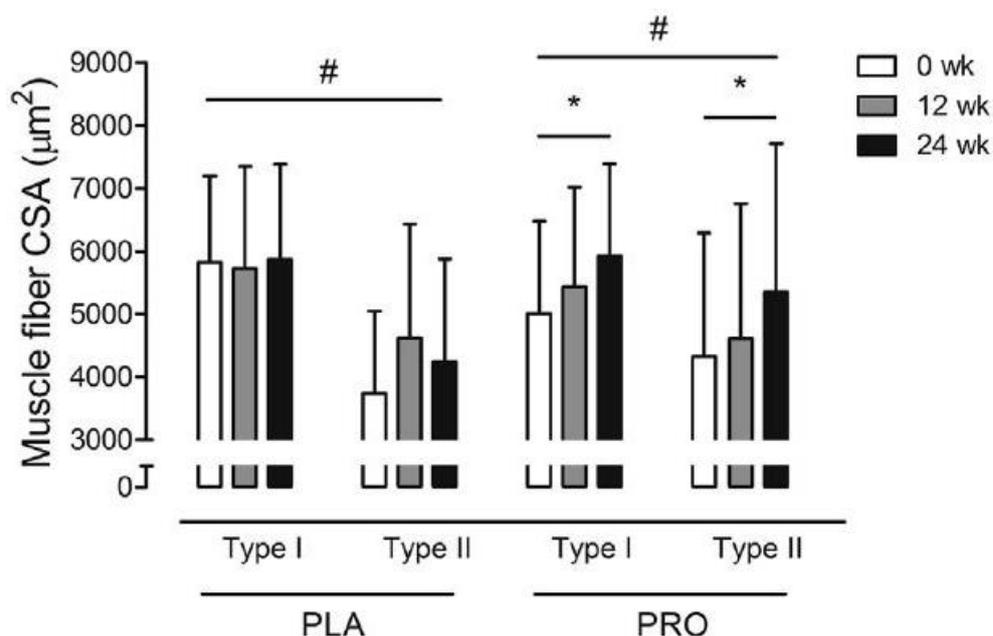
In der Placebogruppe fanden wir einen Trend für eine Zunahme der Querschnittsfläche der Typ II Muskelfasern ( $\sim 20 \pm 11\%$ ;  $P < 0,051$ ) ohne Zunahme von Typ I Muskelfasern ( $P < 0,941$ ). In der Proteingruppe wurde ein signifikanter Zeiteffekt ( $P < 0,01$ ) sowohl bei Muskelfasern vom Typ I ( $\sim 23\%$ ) als auch vom Typ II ( $\sim 33\%$ ) beobachtet, was auf einen wesentlichen Anstieg der Muskelquerschnittsfläche in der Proteingruppe hinweist. Die Verteilung des Muskelfasertyps ergab nach der Intervention eine Zunahme, jedoch gab

es keinen deutlichen Unterschied zwischen den Gruppen. Infolge der Typ II Muskelfaserhypertrophie stieg der Anteil der von Typ II Muskelfasern nach 0, 12 bzw. 24 Wochen signifikant von  $40\% \pm 3\%$  auf  $48\% \pm 2\%$  bzw.  $48\% \pm 3\%$  ( $P < 0,01$ ), jedoch ohne Unterschiede zwischen den Gruppen.

In beiden Gruppen konnte eine erhebliche Verringerung beim Aufstehtest festgestellt werden, jedoch kein Unterschied beider Gruppen untereinander.

Insgesamt konnten die Autoren einen bemerkenswerten Zeiteffekt der Muskelfaserhypertrophie während der Studie feststellen, wie in Tabelle 15 ersichtlich ist. Es wurde der Mittelwert mit Standardfehler der mittleren Muskelfaserquerschnittsfläche der Testpersonen illustriert. Es wurden Tests zu Beginn, nach 12 und 24 Wochen durchgeführt.

Tab. 15: Querschnittsfläche der zwei Gruppen nach den drei Untersuchungszeitpunkten



Quelle: Dirks et al. (2017, S. 5)

In Tabelle 16 sind die Ergebnisse der Versuche, sowie die Ergebnisse der Kontrollgruppen mit den verschiedenen Parametern aufgelistet. Der Zeiteffekt mit den p-Werten ist ganz rechts ersichtlich. Eine statistische Signifikanz ist beim Aufstehtest, bei der Handgriffkraft, Beinbeugekraft, Kniestreckkraft, SPPB beim Körpergewicht, bei der Magermasse, bei der appendikulären Magermasse und bei der Magermasse des Beins ganz rechts ersichtlich.

Tab. 16: Ergebnisse der Körperzusammensetzung, Muskelkraft und körperlicher Leistungsfähigkeit

	Placebo (n = 17)			Protein (n = 17)			Treatment × Time Interaction	Time Effect
	0 week	12 weeks	24 weeks	0 weeks	12 weeks	24 weeks		
<b>Body Composition</b>								
Body weight (kg)	78.6 ± 3.1 <sup>a</sup>	79.0 ± 3.2 <sup>a</sup>	78.2 ± 3.2 <sup>a</sup>	83.3 ± 3.9 <sup>a</sup>	84.6 ± 4.0 <sup>b</sup>	85.4 ± 4.0 <sup>c</sup>	0.002	0.030
Lean mass (kg)	46.4 ± 2.4 <sup>a</sup>	46.5 ± 2.4 <sup>a</sup>	46.3 ± 2.4 <sup>a</sup>	47.8 ± 2.8 <sup>a</sup>	49.1 ± 2.8 <sup>b</sup>	49.2 ± 2.8 <sup>b</sup>	0.006	0.017
ALM (kg)	19.6 ± 1.0 <sup>a</sup>	19.7 ± 1.1 <sup>a</sup>	19.6 ± 1.1 <sup>a</sup>	20.6 ± 1.3 <sup>a</sup>	21.0 ± 1.3 <sup>a</sup>	21.6 ± 1.4 <sup>b</sup>	0.004	0.002
Leg lean mass (kg)	14.8 ± 0.8 <sup>a</sup>	14.9 ± 0.8 <sup>a</sup>	14.9 ± 0.8 <sup>a</sup>	15.5 ± 1.0 <sup>a</sup>	15.8 ± 1.0 <sup>a</sup>	16.3 ± 1.0 <sup>b</sup>	0.005	0.001
Fat mass (kg)	28.5 ± 2.3 <sup>a</sup>	28.6 ± 2.3 <sup>a</sup>	28.0 ± 2.4 <sup>a</sup>	30.0 ± 2.9 <sup>a</sup>	30.0 ± 2.8 <sup>a</sup>	30.9 ± 2.9 <sup>a</sup>	0.017	0.780
BMC (kg)	2.5 ± 0.2 <sup>a</sup>	2.5 ± 0.2 <sup>a</sup>	2.5 ± 0.2 <sup>a</sup>	2.6 ± 0.1 <sup>a</sup>	2.6 ± 0.1 <sup>a</sup>	2.6 ± 0.1 <sup>a</sup>	0.343	0.845
<b>Muscle Strength and Performance</b>								
Leg press strength (kg)	125 ± 11 <sup>a</sup>	164 ± 11 <sup>b</sup>	174 ± 12 <sup>c</sup>	129 ± 8 <sup>a</sup>	160 ± 10 <sup>b</sup>	180 ± 13 <sup>c</sup>	0.588	<0.001
Leg extension strength (kg)	62 ± 5 <sup>a</sup>	82 ± 5 <sup>b</sup>	86 ± 6 <sup>c</sup>	55 ± 4 <sup>a</sup>	69 ± 6 <sup>b</sup>	80 ± 7 <sup>c</sup>	0.131	<0.001
Handgrip strength (kg)	27.6 ± 3.0 <sup>a</sup>	28.1 ± 2.6 <sup>a</sup>	28.3 ± 2.8 <sup>a</sup>	27.4 ± 2.2 <sup>a</sup>	30.9 ± 2.4 <sup>b</sup>	30.8 ± 2.6 <sup>b</sup>	0.136	0.017
SPPB (points)	8.3 ± 0.6 <sup>a</sup>	9.3 ± 0.5 <sup>a</sup>	10.0 ± 0.5 <sup>b</sup>	7.8 ± 0.6 <sup>a</sup>	9.0 ± 0.7 <sup>a</sup>	9.3 ± 0.6 <sup>b</sup>	0.797	<0.001
Gait speed (s)	5.0 ± 0.4 <sup>a</sup>	4.9 ± 0.4 <sup>a</sup>	4.6 ± 0.3 <sup>a</sup>	5.6 ± 0.7 <sup>a</sup>	5.6 ± 0.7 <sup>a</sup>	5.4 ± 0.5 <sup>a</sup>	0.851	0.128
Chair rise (s)	16.0 ± 1.2 <sup>a</sup>	13.5 ± 0.9 <sup>a</sup>	12.1 ± 0.5 <sup>b</sup>	14.9 ± 0.9 <sup>a</sup>	14.7 ± 2.2 <sup>a</sup>	12.1 ± 1.0 <sup>b</sup>	0.419	0.001

ALM, appendicular lean mass; BMC, bone mineral content; SEM, standard error of the mean; SPPB, Short Physical Performance Battery.

Values are means ± SEM.

In case of a significant treatment × time interaction and/or time effect, a Bonferroni post-hoc test was performed. Values without a common letter (ie, a, b, c) differ ( $P < .05$ ).

Quelle: Dirks et al. (2017, S. 5)

### 3.3.6 Resistance training and co-supplementation with creatine and protein in older subjects with frailty: a small-scale exploratory study

In der vorliegenden Studie von Collins et al. (2016) wurde die Auswirkung von Krafttraining in Kombination mit Aminosäurepräparaten auf die Muskelfunktion und die Körperzusammensetzung bei gebrechlichen älteren Personen untersucht.

16 Personen im Alter von 70±1 Jahren nahmen an dieser Untersuchung teil, wobei neun ein Molkeprotein und Kreatin (WHEY + CR) und die restlichen sieben nur ein Molkeprotein (WHEY) supplementiert bekamen. Eine Kontrollgruppe gab es bei dieser Gruppe nicht, es wurden lediglich diese zwei Gruppen miteinander verglichen. Die Intervention war ein 14-wöchiges Krafttraining mit einer Supplementation. Mithilfe einer klinischen Gebrechlichkeitsskala (Rockwood, 2005), die von 1 (sehr fit) bis 7 (schwer krank) kategorisiert wurde, wurden die Testpersonen eingestuft. Die ProbandInnen und Testpersonen wurden angehalten ihre Ernährung während der gesamten Intervention zu dokumentieren.

Es wurden Parameter wie Griffstärke (Handdynamometer), „Timed-up-go“ Test (TUAG), 30 Sekunden Aufstehetest von einem Sessel, 1-RM anhand von zehn maximalen Wiederholungen, die mittels Formel (Brzycki, 1993) umgerechnet wurden, angewandt.

Die Körperzusammensetzung wurde mittels einer DEXA (Linar DPX MD und Densitometer) erhoben. Zusätzlich wurden Blutparameter und die Knochenmineraldichte (Lendenwirbelsäule, Oberschenkelhals, gesamter Oberschenkel und ganzer Körper) aller Testpersonen gemessen.

Methode:

Die Testpersonen wurden mittels einem double-blind Verfahren randomisiert in zwei Gruppen eingeteilt. Die Testpersonen wurden zufällig entweder der Gruppe mit Molkeprotein und Kreatin Supplementen (WHEY + CR) oder der Gruppe mit reinen Molkeprotein Supplemente (WHEY) zugeteilt.

Handgrifftests: Der Dynamometer wurde auf die individuelle Größe der Testpersonen eingestellt und auf „Null“ gesetzt. Die Ausgangsposition war stehend und aufrecht, der Dynamometer musste mit der dominanten Hand in einem Ellenbogenwinkel von 90 Grad vor sich gehalten werden. Es wurden drei maximale Versuche mit jeweils einer Minute Pause zwischen den Versuchen, durchgeführt.

Timed-up-Go Test: Ein Stuhl mit Armlehnen wurde hinter einer Markierung im Abstand von 3 Meter von einer anderen Markierung platziert. Die Testpersonen mussten aufrecht sitzen und auf Befehl aufstehen, die drei Meter gehen, sich umdrehen und wieder setzen. Die Zeit wurde gestoppt, sobald die Testperson wieder am Stuhl saß. Es wurden insgesamt drei Versuche pro Testperson durchgeführt.

30-Sekunden Aufstehetest: Der Test wurde in aufrechter Position auf einem Stuhl ohne Armlehne ausgeführt. Die Testpersonen mussten in 30 Sekunden so oft wie möglich vom Stuhl aufstehen und sich wieder niedersetzen, ohne die Stuhllehne zu berühren.

1-RM Test: Ausgestattet mit einem Herzfrequenzmesser mussten die Testpersonen mit einem anfänglich leichtem Trainingsgewicht basierend auf ihrem Körpergewicht und der eigenen subjektiven Einschätzung, die Übungen langsam und kontrolliert durchführen. Das Gewicht wurde dann mit Pausen solange gesteigert, bis die Person maximal zehn Wiederholungen schaffte. Mit Verwendung der Brzycki-Gleichung (Brzycki, 1993) wurde das 1-RM festgestellt. Alle Tests für die jeweiligen Muskelgruppen wurden in Trainingsmaschinen ausgeführt.

Trainingsintervention

Das Training fand zweimal in der Woche statt und wurde von geschultem Fitnesspersonal überwacht. Nach einem fünfminütigen Aufwärmen auf dem Ergometer mussten die Testpersonen ein Krafttraining absolvieren, das aus Ganzkörperübungen, wie Schulterdrücken, Kniebeugen, sitzendes Rudern, Armbeuge- und Armstreckübungen, Wadenheben, etc. bestand. Es wurden zu den zehn Übungen je drei Sätze zu jeweils acht Wiederholungen mit zwei Minuten Pause zwischen den Sätzen ausgeführt. Die Intensität wurde gesteigert, wenn die angegebene Wiederholungsanzahl überschritten wurde. Abgeschlossen wurde das Training mit einem kurzen Stretching.

## Proteinsupplementation

Den Testpersonen wurde entweder ein Molkeprotein mit Kreatin oder ein Molkeprotein verabreicht. Genaue Informationen zu der Dosierung fehlt in der vorliegenden Studie. Es wurde lediglich die Makronährstoffverteilung vor und nach der Untersuchung aufgeschlüsselt. Diese Verteilung ist in Tabelle 17 ersichtlich.

Tab. 17 :Makronährstoffverteilung vor und nach der Supplementierung der Testpersonen

Variable	WHEY+CR		WHEY	
	Pre	Post	Pre	Post
Energy Intake (kcal)	1127.32	1125.50	1112.18	1107.44
Carbohydrate (g)	112.10	97.6	124.21	118.78
Carbohydrate (%)	39.78%	34.69%	44.67%	42.90%
Lipid (g)	45.53	43.80	31.98	32.22
Lipid (%)	36.35%	35.02%	25.88%	26.18%
Protein (g)	67.80	79.20	60.27	62.78
Protein (%)	24.05%	28.15%	21.68%	22.67%

Quelle: Collins et al. (2016, S. 131)

## Studienergebnis

Es wurde ein Zeiteffekt in der Griffkraft ( $p = 0.0005$ ), beim „timed-up-and-go“ Test ( $p = 0.006$  s) und beim 30 Sekunden Aufstehtest ( $p = 0.0001$ ) gemessen, der zeigt, dass beide Gruppen ähnliche Steigerungen hatten. Es gab jedoch zwischen den Gruppen keinen statistisch signifikanten Unterschied.

Bei der Körperzusammensetzung konnten ebenfalls keine bemerkenswerten Unterschiede zwischen den Gruppen gemessen werden. Auch die relativen Veränderungen waren in allen Parametern gruppenübergreifend vergleichbar (freie Fettmasse: WHEY + CR =  $1,72 \pm 5,07$  und WHEY =  $1,97 \pm 2,36\%$ ); Fettmasse: WHEY + CR =  $-2,66 \pm 5,07$  und WHEY =  $0,59 \pm 6,97\%$ ; Knochenmineralgehalt: WHEY + CR =  $-2,125 \pm 5,82$  und WHEY =  $-0,27 \pm 8,23\%$ ; Gesamtkörperknochenmineraldichte: WHEY + CR =  $0,08 \pm 3,00$  und WHEY =  $1,97 \pm 2,81\%$ ; Wirbelsäulenknöchendichte: WHEY + CR =  $-0,23 \pm 5,74$  und WHEY =  $-2,85 \pm 6,44\%$ ; Femurknochenmineraldichte: WHEY + CR =  $-0,64 \pm 0,85$  und WHEY =  $0,56 \pm 3,43\%$ ). Insgesamt konnten keine Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden.

### 3.3.7 Synergistic effect of bodyweight resistance exercise and protein supplementation on skeletal muscle in sarcopenic or dynapenic older adults

In der vorliegenden Studie von Yamada et al. (2019) wurde die Auswirkung einer Trainingsintervention und die Supplementation mit Protein und Vitamin D auf die Skelettmuskulatur bei älteren Menschen mit Sarkopenie und Dynapenie untersucht.

Es wurden 112 Testpersonen, die die Kriterien einer Sarkopenie und Dynapenie erfüllten und über 65 Jahre alt waren, für diese Studie herangezogen. Sarkopenie wurde anhand der asiatischen Arbeitsgruppe (Chen et al., 2014) sowohl als geringe funktionelle Leistungsfähigkeit oder Muskelkraft, oder auch als geringe Muskelmasse definiert. Dynapenie wurde nur als geringe funktionelle Leistungsfähigkeit oder geringe Muskelkraft eingestuft. Die Ausschlusskriterien waren Schlaganfall, Parkinson-Krankheit, Diabetes, chronisches Nierenleiden, schwere kognitive Beeinträchtigung, schwere psychiatrische Beeinträchtigung, schwere Herz-, Lungen- und Muskel-Skelett-Erkrankungen, regelmäßige Bewegungsgewohnheiten und regelmäßige Verwendung von Protein- oder Vitamin D-Präparaten in den letzten 12 Monaten. Es wurden Personen mit künstlichen Implantaten wie Herzschrittmachern und Gelenken ausgeschlossen, die die Messung der bioelektrischen Impedanz nicht zuließen. Gemessen wurde die Muskelkraft mithilfe eines Dynamometers ( $\mu$ Tas MT-1; ANIMA, Tokyo, Japan) und die Körperzusammensetzung anhand einer Bioelektrischen Impedanz Analyse (BIA), um Muskelmasse und Phasenwinkel des Körpers zu bestimmen. Für die funktionelle Leistungsfähigkeit wurde das Testverfahren der „Short Physical Performance Batterie“ (SPPB) herangezogen.

Methode:

Die Testpersonen wurden mittels eines double-blind Verfahrens randomisiert in vier Gruppen zu je 28 Personen zugeteilt. Die erste Gruppe erhielt eine Kombination aus Widerstandsübungen und Supplementationen von Protein und Vitamin D (Ex + Nutr), die zweite Gruppe führte Widerstandsübungen durch (Ex), die dritte Gruppe nahm Supplemente (Joint et al.) und die vierte Gruppe war eine Kontrollgruppe. Das durchschnittliche Alter der ersten Gruppe war 84,9 ( $\pm$ 5,6), der zweiten 84,7 ( $\pm$ 5,1), der dritten 83,2 ( $\pm$ 5,7) und der vierten 84,2 ( $\pm$ 5,7). Insgesamt waren 73 Frauen und 39 Männer in dieser Studie inkludiert. Das Interventionsprogramm hatte eine Dauer von 12 Wochen.

Die Kniestreckkraft wurde mittels drei maximaler isometrischer Versuche an einem Dynamometer gemessen. Es wurde der höchste Wert aller Versuche für die weitere Bestimmung herangezogen. Die SPPB enthielt fünf Messungen, um die funktionelle Leistungsfähigkeit zu erheben. Die Tests bestanden aus einem 5 Meter Gehstest in einem angenehmen Tempo und einer Zeitmessung über diese Distanz, einem Einbeinstand-Test,

fünfmaliges Aufstehen von einem Sessel, ohne die Sitzlehne zu berühren und einem Test für die Griffkraft. Alle Messungen wurden von einem Physiotherapeuten zweimal durchgeführt.

Unter anderem wurde ein Ultraschallgerät (ProSound2; Hitachi-Aloka Medical, Tokio, Japan) mit einer 7,5-MHz-Lineararray Sonde verwendet, um die intramuskuläre Fettinfiltration des Rectus femoris und des Vastus intermedius zu messen

#### Trainingsintervention

Die Trainingsdauer war 30 Minuten und es waren zwei Interventionen pro Woche angesetzt. Es wurden zehn Minuten für Auf- und Abwärmen verwendet, in den restlichen 20 Minuten fand die Trainingsintervention statt. Das Krafttraining war für die unteren Extremitäten sowie für den Rumpf konzipiert und beinhaltete Übungen für die Rumpfbeugung, Hüftbeugung, Hüftstreckung, Hüftabduktion, Hüftadduktion, Kniestreckung und Plantarflexion des Sprunggelenks. Es mussten drei Sätze zu jeweils 20 Wiederholungen mit langsamer Bewegungsgeschwindigkeit unter Verwendung eines Gummibands oder des eigenen Körpergewichts absolviert werden. Zusätzlich zu diesen geführten Trainings sollten die Testpersonen an den anderen Tagen Übungen, die der Trainingsintervention ähnlich waren, zu Hause durchführen. In einem Trainingstagebuch mussten die exakten Daten des Trainings wie Wiederholungen, Sätze, Problemstellungen, etc. festgehalten werden.

#### Proteinsupplementation

Den Testpersonen der Supplementengruppe (Ex+Nutr. und Nutr) wurde Proteine und Vitamin D verabreicht. Es wurden 100 kcal in Form von 10 g Molkeprotein, 20 µg Vitamin D und anderen Vitalstoffen (Rehatime Jelly, CLINICO, Tokyo, Japan) supplementiert. Die Supplemente sollten immer nach dem Frühstück, das ebenfalls aufgezeichnet werden sollte, konsumiert werden.

#### Studienergebnis

Von 112 für die Studie ausgewählten Personen beendeten 90 (80,4%) die Interventions- und Postinterventionsbewertungen mit angemessener Einhaltung: 21 in der Ex + Nutr-Gruppe (75,0%), 21 in der Ex-Gruppe (75,0%), 22 in der Nutr-Gruppe (78,6%) und 26 in der Kontrollgruppe (92,9%). Die Ausgangswerte waren in den Gruppen zu Beginn ähnlich ( $P > 0,05$ ). Signifikante Unterschiede konnten zwischen den vier Gruppen hinsichtlich der Änderungen des Kniestreckmoments ( $F = 4,36$ ,  $P = 0,01$ ), des Phasenwinkels ( $F = 4,47$ ,  $P = 0,01$ ) und der Echointensität des Rectus femoris ( $F = 5,46$ ,  $P < 0,01$ ) ermittelt werden. Die Testpersonen der Ex + Nutr-Gruppe konnten deutliche Verbesserungen des Kniestreckmoments, des Phasenwinkels und der Echointensität des Rectus femoris im

Vergleich zu den anderen drei Gruppen verzeichnen. In Tabelle 18 sind die Werte der unterschiedlichen Parameter der vier Gruppen mit den P-Werten aufgelistet.

Tab. 18: Ergebnisse der erhobenen Parameter der vier Gruppen

	Ex+Nutr (n = 28)		Ex (n = 28)		Nutr (n = 28)		Control (n = 28)		ANOVA	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	F-value	P-value
<b>Muscle characteristics</b>										
<b>Knee extension torque (Nm)</b>										
Baseline	38.70	13.75	46.20	17.83	45.33	14.49	44.83	16.24	1.34	0.27
Change from baseline	6.76	11.04	0.85	8.98	3.33	17.37	-6.10	15.98	4.36	0.01**
<b>Phase angle (°)</b>										
Baseline	3.13	0.69	3.15	0.65	3.19	0.76	3.23	0.65	0.10	0.96
Change from baseline	0.20	0.25	0.11	0.38	0.11	0.30	-0.10	0.36	4.47	0.01**
<b>Echo intensity for rectus femoris</b>										
Baseline	60.05	12.98	55.86	13.40	57.75	14.87	60.26	14.61	0.62	0.60
Change from baseline	-8.47	13.20	5.29	14.12	3.20	13.53	2.02	14.70	5.46	<0.01**
<b>Echo intensity for vastus intermedius</b>										
Baseline	31.45	14.74	30.32	13.64	33.80	14.01	29.45	14.75	0.49	0.69
Change from baseline	1.37	14.13	5.86	13.34	0.56	13.88	6.05	29.45	0.66	0.58
<b>Appendicular muscle mass (kg)</b>										
Baseline	15.33	4.48	17.19	4.58	16.17	4.17	17.63	5.11	1.34	0.27
Change from baseline	0.00	1.29	0.07	1.11	-0.11	0.92	-0.72	1.51	2.37	0.07
<b>Physical performances</b>										
<b>Comfortable walking time (s)</b>										
Baseline	6.62	2.58	8.09	3.39	7.07	1.90	7.93	4.42	1.32	0.27
Change from baseline	-0.82	1.52	-0.90	2.31	-0.64	1.64	0.20	1.81	2.09	0.11
<b>Maximum walking time (s)</b>										
Baseline	5.05	2.28	5.84	2.25	5.31	1.57	5.75	3.01	0.71	0.55
Change from baseline	-0.72	1.12	-0.30	1.76	-0.58	1.81	0.25	1.25	2.23	0.09
<b>One leg standing time (s)</b>										
Baseline	4.39	3.81	6.41	12.72	5.38	7.92	4.91	11.20	0.22	0.88
Change from baseline	1.43	4.64	0.60	10.10	-0.28	6.69	1.93	5.64	0.53	0.66
<b>Five chair stands time (s)</b>										
Baseline	11.50	4.65	12.12	5.38	15.79	12.45	11.88	4.33	1.75	0.16
Change from baseline	-1.63	3.69	-0.87	3.95	-0.85	5.08	0.63	1.97	1.69	0.17
<b>Grip strength (kg)</b>										
Baseline	17.13	4.47	19.09	6.11	17.76	5.64	18.73	7.48	0.62	0.61
Change from baseline	0.77	1.80	-0.05	2.27	-0.08	3.14	-0.43	1.99	1.31	0.28

\*P < 0.05, \*\*P < 0.01. Ex, exercise; Nutr, nutrition; SD, standard deviation.

Quelle: Yamada et al. (2019, S. 433)

Es wurde unter anderem auch ein Vergleich zwischen der Kontrollgruppe und den Personen mit Dynapenie bzw. Sarkopenie erstellt.

In Tabelle 19 ist der Unterschied der Kontrollgruppe und derer Personen mit Dynapenie aufgeschlüsselt. Es konnten signifikante Unterschiede im Kniestreckmoment ( $F = 4,97$ ,  $P < 0,01$ ), im Phasenwinkel ( $F = 3,18$ ,  $P = 0,03$ ) und in der Echointensität des Rectus femoris ( $F = 5,50$ ,  $P < 0,01$ ) zwischen den vier Gruppen festgestellt werden. Die Testpersonen der Ex + Nutr-Gruppe zeigten deutlich größere Verbesserungen des Kniestreckmoments, des Phasenwinkels und der Echointensität des Rectus femoris als die anderen Gruppen ( $P < 0,05$ ).

Tab. 19: Ergebnisse Dynapenie

	Ex+Nutr (n = 19)		Ex (n = 20)		Nutr (n = 19)		Control (n = 20)		ANOVA	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	F-value	P-value
Muscle characteristics										
Knee extension torque (Nm)										
Baseline	39.47	15.26	50.24	17.40	44.77	16.11	48.15	17.35	1.56	0.21
Change from baseline	6.64	12.33	0.45	8.05	5.91	16.64	-8.42	16.46	4.97	<0.01**
Phase angle (°)										
Baseline	3.04	0.78	3.25	0.74	3.23	0.80	3.18	0.68	0.28	0.84
Change from baseline	0.25	0.27	0.10	0.43	0.16	0.32	-0.10	0.40	3.18	0.03*
Echo intensity for rectus femoris										
Baseline	60.57	15.31	57.12	14.98	56.19	16.44	60.31	15.83	0.39	0.76
Change from baseline	-10.54	13.66	6.79	15.23	3.75	12.42	3.28	16.11	5.50	<0.01**
Echo intensity for vastus intermedius										
Baseline	33.43	15.26	32.55	14.53	34.64	13.52	29.62	16.11	0.41	0.75
Change from baseline	1.30	15.22	6.30	13.49	0.45	11.89	1.65	18.15	0.62	0.61
Appendicular muscle mass (kg)										
Baseline	16.13	4.79	17.78	4.52	16.85	4.27	18.49	5.13	0.88	0.46
Change from baseline	-0.32	1.35	0.08	1.11	-0.20	1.09	-0.65	1.70	1.03	0.39
Physical performances										
Comfortable walking time (s)										
Baseline	6.78	3.04	7.87	3.23	7.48	1.91	8.51	4.89	0.85	0.47
Change from baseline	-0.91	1.78	-0.57	1.73	-0.88	1.84	-0.17	1.78	0.73	0.54
Maximum walking time (s)										
Baseline	5.07	2.69	5.78	2.35	5.65	1.63	6.06	3.29	0.51	0.68
Change from baseline	-0.62	1.31	-0.09	1.87	-0.75	2.12	0.03	1.06	1.07	0.37
One leg standing time (s)										
Baseline	3.94	3.81	7.88	14.54	5.45	8.63	2.43	2.58	1.39	0.25
Change from baseline	0.76	4.11	-0.14	10.93	0.29	7.55	2.13	5.79	0.34	0.80
Five chair stands time (s)										
Baseline	12.19	5.38	12.58	5.88	17.65	14.74	11.82	3.29	1.72	0.17
Change from baseline	-1.71	4.31	-0.95	4.63	-0.68	6.08	1.00	1.92	1.29	0.29
Grip strength (kg)										
Baseline	17.23	4.71	19.85	6.12	18.58	6.39	19.71	8.12	0.68	0.56
Change from baseline	0.46	1.82	0.21	2.26	0.04	3.63	-0.14	1.94	0.20	0.90

\* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ . Ex, exercise; Nutr, nutrition; SD, standard deviation.

Quelle: Yamada et al. (2019, S. 434)

Es wurde unter anderem ein Vergleich der Personen, die mit Sarkopenie kategorisiert wurden, mittels Kruskal-Wallis-Test, durchgeführt. Die vier Gruppen Ex+Nutr (n = 9), Ex (n = 8), Nutr, (n = 9), Control (n = 8) wurden gleichmäßig aufgeteilt und miteinander verglichen.

Zwischen den vier Gruppen wurde ein deutlicher Unterschied in der appendikulären Muskelmasse (H = 10,11, P = 0,02) und der maximalen Gehzeit (H = 10,96, P = 0,01) berechnet. Die Testpersonen der Ex + Nutr-Gruppe konnten eine signifikant größere Verbesserung der appendikulären Muskelmasse als die Kontrollgruppe (P <0,05) erzielen. In ähnlicher Weise zeigten die Teilnehmer der Ex + Nutr-Gruppe und der Ex-Gruppe eine signifikant größere Verbesserung der maximalen Gehzeit als die Kontrollgruppe (P <0,05

### 3.3.8 The Effect of Resistance Training and different Sources of Postexercise Protein Supplementation on Muscle Mass and Physical Capacity in Sarcopenic Elderly Men

In der vorliegenden Studie von Maltais et al. (2016) wurde die Auswirkung eines Krafttrainings in Kombination mit Proteinen auf Milchbasis oder in Kombination mit einer Supplementation von essenziellen Aminosäuren auf Muskelmasse, funktionelle Leistungsfähigkeit und Muskelkraft bei älteren Männern mit Sarkopenie miteinander verglichen und untersucht.

Für diese Studie wurden 30 Männer im Alter von 60 bis 75 mit Sarkopenie rekrutiert. Sarkopenie wurde als appendikulärer Muskelmaßindex von weniger als 10,75 kg/m<sup>2</sup> oder einem gesamten Muskelmaßindex von weniger als 18,04 kg/m<sup>2</sup> (Janssen et al., 2002). Es wurden nur Testpersonen inkludiert, die Nichtraucher waren, mindestens 1 Jahr fast ausschließlich sitzende Tätigkeiten ausübten (Training weniger als dreimal pro Woche), einen BMI von unter 30 kg/m<sup>2</sup> aufweisen, ohne größere physische Einschränkungen waren, keine Stoffwechselerkrankungen aufwiesen, maximal 15 g Ethanol pro Tag zu sich nahmen, innerhalb der letzten sechs Monate eine maximale Schwankung von zwei Kilogramm Gewicht aufwiesen, und ihren Blutdruck kontrollierten.

Methode:

Die Testpersonen wurden nach den Basismessungen mittels eines double-blind Verfahren randomisiert in drei Gruppen eingeteilt. Entweder sie bekamen Supplemente mit essenziellen Aminosäuren oder einen Milchzusatz mit derselben Menge an essenziellen Aminosäuren oder ein Placebo. Es wurde am Beginn und am Ende der 16-wöchigen Intervention eine Messung des Muskelmaßindex, des 1-RM, eine Messung der körperlichen Leistungsfähigkeit mittels einer SPPB, eine Messung der körperlichen Aktivität mithilfe des „Physical Activity Scale for Elderly“ (PASE) Fragebogen, die Muskelkraft und die Nahrungsaufnahme erhoben. Zusätzlich musste die Ernährung von den Testpersonen dokumentiert werden. Die Körperzusammensetzung wie Knochenmasse, Fettmasse und

fettfreie Masse, der oberen und unteren Extremitäten und des Rumpfes wurden anhand einer DEXA (GE Prodigy Lunar, Madison, WI, USA) gemessen. Der Muskelmaßindex ergab sich aus dem Quotienten von Muskelmasse und Größe. Die Tests der körperlichen Leistungsfähigkeit bestanden aus einem sechs Meter Gehstest, TUAG, 5-maliges Aufstehen von einem Stuhl, einem Gleichgewichtstest und einem Einbeinstandtest.

#### 6 Meter Gehstest

Es wurden zwei rote Linien im Abstand von sechs Meter und eine weiße Linie bei zwei Metern platziert. Es gab zuerst einen Durchgang, der als Gewöhnung der Rahmenbedingungen dienen sollte. Danach wurden die Testpersonen angehalten zwei Durchgänge in ihrem üblichen Tempo zu gehen, wobei der bessere als Ausgangsparameter hergenommen wurde. Die Zeitmessung erfolgte erst ab der weißen zwei Meter Linie, um den Beschleunigungseffekt zu beseitigen. Im Anschluss erfolgt ein Durchgang, in dem die Testpersonen so schnell wie möglich die Strecke zurücklegen mussten. Diese Zeit wurde anhand vorgegebener Kriterien kategorisiert. Eine Gehzeit von über 5,7 Sekunden erhielt eine Punktezah von 1, von 4,1 bis 5,6 Sekunden eine Punkteanzahl von 2, von 3,2 bis 4 Sekunden eine Punkteanzahl von 3 und unter 3 Sekunden eine Punkteanzahl von 4.

#### TUAG- Test

Eine drei Meter Markierung wurde am Boden platziert und an einer der beiden Markierungen wurde der Start mit einem Stuhl festgelegt. Die Testpersonen mussten auch hier zu Beginn einen Durchgang als Gewöhnung abhalten, sich auf den Stuhl platzieren und ohne die Lehne zu berühren, aufstehen, dann hinter die drei Meter Markierung gehen und sich zum Abschluss wieder auf den Stuhl setzen. Die Ausgangsposition wurde vorher vorgegeben: der Rücken musste an der Rückenlehne und die Arme auf den Armstützen platziert werden.

#### Aufstehen vom Stuhl

Auch hier gab es einen Durchgang, um die Testpersonen an die Testbedingungen zu gewöhnen. Im Anschluss mussten die Personen mit verschränkten Armen, aufrecht sitzend, ihren Rücken an die Rückenlehne platzieren. Danach mussten sie nach einem Startsignal fünf Mal hintereinander so schnell sie konnten, aufstehen und sich wieder niedersetzen. Auch hier wurden die Zeiten in vier Kategorien eingeteilt. Eine Zeit über 16,7 erhielt 1 Punkt, von 13,7 bis 16,6 Sekunden eine Punktezah von 2, von 11,2 bis 13,6 Sekunden eine Punkteanzahl von 3 und unter 11,2 Sekunden eine Punkteanzahl von 4.

### Gleichgewichtstest

Dieser Test wurde hierarchisch aufgebaut und bestand aus drei Teilen. Die Personen mussten die Füße nebeneinanderstellen und 10 Sekunden diese Position halten. Falls ihnen dies gelang, folgte der Semitandem-Stand. Dabei musste die Ferse des Fußes gehoben werden und nur noch die Zehe dieses Fußes und die Ferse des anderen Fußes durften den Boden berühren. Bei einer positiven Absolvierung folgte der letzte Test, der Tandem-Test. Die Füße mussten hintereinander platziert werden und diese Position musste abermals 10 Sekunden gehalten werden, um die maximale Punkteanzahl zu bekommen. Eine Punktzahl von 1 wurde vergeben, wenn es dem Teilnehmer nicht gelungen war, die Semitandemaufgabe 10 Sekunden lang zu halten. Eine Punktzahl von 2 wurde vergeben, wenn der Teilnehmer die Semitandemaufgabe 10 Sekunden lang hielt, die Tandemaufgabe jedoch nicht länger als 2 Sekunden aushielt. Eine Punktzahl von 3 wurde vergeben, wenn der Teilnehmer die Tandemaufgabe zwischen 3 und 9 Sekunden halten konnte, und eine Punktzahl von 4, wenn der Teilnehmer die Tandemaufgabe 10 Sekunden lang halten konnte.

### Einbeinstand

Die Testpersonen mussten ohne Schuhe nach dem standardisierten Verfahren auf einem Bein stehen. Sie wurden angehalten, ihre Hände in die Hüfte zu stemmen und die Ferse des freien Beins auf Wadenhöhe auszustrecken. Der Test wurde zweimal an beiden Beinen durchgeführt. Die maximale Testzeit betrug 60 Sekunden. Die beste Leistung jedes Beins wurde aufgezeichnet.

### Gesamtbewertung der funktionellen Leistungsfähigkeit

Die funktionelle Leistungsfähigkeit wurde als die Summe der gemessenen Werte für Gehgeschwindigkeit, Stuhlstand und Stehbalance beschrieben (Guralnik et al., 1994). Jeder dieser Tests erhielt eine Bewertung von 1 bis 4 Punkten. Jene Personen, die den Test nicht abschließen konnten, erhielten eine Bewertung von 0. Die Bewertungen für die 3 Tests wurden addiert, um eine Gesamtbewertung für jede Testperson zu erhalten (möglicher Bereich von Punktzahlen von 0 bis 12).

### Maximalkraft

Die Maximalkraft wurde von zwei Muskelgruppen mithilfe des 1-RM bestimmt. Es wurden die Übungen Bankdrücken und LAT-Zug an Trainingsmaschinen für die Bestimmung herangezogen. Aufgrund eines technischen Gebrechens musste der Maximalkrafttest der Beine aus der Analyse entfernt werden.

## Trainingsintervention

Die Trainingsintervention dauerte jeweils eine Stunde und wurde dreimal pro Woche vier Monate lang absolviert. Die Testpersonen mussten mindestens 85% aller Trainingseinheiten besuchen und wurden gebeten, nicht mehr als 6 aufeinanderfolgende Einheiten zu verpassen. Einem zehnmütigen Aufwärmen folgte ein Krafttraining mit 80% des 1-RM, das zuvor unter gewissen Standards erhoben wurde. Es wurden 3 Sätze zu je sechs bis acht Wiederholungen mit einer Minute Pause zwischen den Sätzen durchgeführt. Es wurde mit freien Gewichten sowie mit Trainingsmaschinen gearbeitet und Übungen wie Beindrücken, Bankdrücken, Beinstrecken, Schulterdrücken, Rumpfbeugen, Ruderbewegungen und Übungen für den Bizeps und Beinbeuger durchgeführt. Bei einer Wiederholungsanzahl, die über die vorgegebenen acht Wiederholungen hinausging, wurde das Gewicht gesteigert, um wieder in der vorgegebenen Anzahl zu trainieren.

## Proteinsupplementation

Die Testpersonen wurden in die drei Gruppen, die entweder essenziellen Aminosäuren, Milchprotein oder ein Placebo supplementieren mussten, eingeteilt. Alle Gruppen mussten das Supplement im Anschluss an das Trainings trinken. Die Kontrollgruppe erhielt 395 ml Reismilch mit Schokogeschmack, die 280 kcal hatte und aus 0,6 g Protein, 59,5 g Kohlenhydrate und 3,75 g Fett bestand. Die Gruppe, die zusätzlich essenzielle Aminosäuren Supplemente (Nutricia, Nordamerika: 12 g Protein, 7 g EAA mit 3,5 g Leucin, 39 g Kohlenhydrate und 5,3 g Fett – insgesamt 252 kcal) bekam, musste ihre Supplemente in 379 ml Sojamilch aufgelöst zu sich nehmen. Zusätzlich wurde ein Schokoladensirup hinzugefügt, damit alle Getränke gleich aussahen und gleich schmeckten. Jene Personen, die ein Milchprotein konsumieren mussten, nahmen mithilfe eines Milchpulvers das vorgeschriebene Supplemente Profil von 7 g essenzieller Aminosäure mit einer Schokoladenkuhmilch (375 ml mit 13,53 g Protein, 7 g EAA, das aus 3,5 g Leucin bestand, und 3,8 g Fett – insgesamt 270kcal) zu sich. Da es sich bei dieser Studie um eine doppelblinde randomisierte Kontrollstudie handelte, waren alle Tassen undurchsichtig, die Getränke hatten das gleiche Aussehen und das gleiche Volumen und waren alle mit Schokoladengeschmack. Dies stellte sicher, dass die Teilnehmer nicht wussten, welches Supplement sie erhielten.

## Studienergebnis

Es wurden keine signifikanten Unterschiede der Muskelmasse zwischen den Gruppen nach der Intervention festgestellt. Im Verlauf der Intervention nahm die Muskelmasse, der Muskelmaßindex und die fettfreie Masse bei allen Gruppen zu. In der Tabelle 20 sind die Parameter, die deutlich gestiegen sind, hervorgehoben.

Tab. 20: Ergebnisse der Körperzusammensetzung nach der Intervention

	Control		EAA		Milk	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Weight (kg)	-0.29	1.30	-1.81	2.00	-1.11	1.74
BMI (kg·m <sup>-2</sup> )	-0.13	0.36	-0.76†	0.65	-0.27	0.53
Muscle mass (kg)	1.62	1.03	2.29	1.13	2.17	1.58
MMI (kgFFM·m <sup>-2</sup> )	0.52†	0.32	0.95†	0.55	0.65†	0.47
AMMI (kgAMM·m <sup>-2</sup> )	0.44	0.34	0.45	0.32	0.41	0.26

\*EAA = essential amino acid; BMI = body mass index; MMI = muscle mass index; AMMI = appendicular muscle mass index; FFM = fat free mass; AFFM = appendicular fat free mass.

†Significant at  $p \leq 0.05$ .

Quelle: *Maltais et al. (2016, S. 1685)*

In Bezug auf die Kraftparameter konnte jede Gruppe bei zumindest einem Parameter eine signifikante Steigerung erzielen. Bei der Maximalkraft beim LAT-Zug verbesserten sich alle drei Gruppen deutlich, aber es gab innerhalb der Gruppen keinen signifikanten Unterschied. Nur in TUG Test konnte die Gruppe mit den essenziellen Aminosäuren eine beträchtliche Verbesserung der Zeit im Vergleich zu den anderen Gruppen erzielen, wie in Tabelle 21 ersichtlich ist. Generell gab es außer der beschriebenen Veränderung keine statistisch erwähnenswerte Veränderung der Parameter.

Tab. 21: Ergebnisse der Maximalkraft und körperlichen Leistungsfähigkeit vor und nach der Intervention

	Control				EAA supp				EAA milk			
	T1		T2		T1		T2		T1		T2	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Lat pull-down (kg)	57.6	11.9	65.1‡	10.9	62.0	12.5	70.2‡	10.2	52.8	10.6	61.4‡	9.9
Bench press (kg)	47.7	9.2	59.4	18.9	51.1	20.7	55.4	15.1	42.2	15.7	49.2	15.1
Walking speed (normal) (s)	1.5	0.5	1.4	0.3	1.2	0.3	1.5	0.3	1.4	0.2	1.5	0.2
Walking speed (fast) (s)	1.7	0.6	1.9	0.6	1.8	0.5	2.1	0.6	2.0	0.4	1.9	0.3
TUG (s)	6.9	1.2	7.0	1.4	7.3	1.3	6.0‡§	1.2	6.5	1.2	6.4	1.0
Chair stand (s)	12.1	2.2	11.7	2.1	12.9	2.7	11.7	1.9	12.5	2.6	12.4	2.9
PASE	122.7	47.0	118.9	41.7	165.9	34.2	160.9	35.1	122.7	47	118.9	41.7

\*EAA supp = essential amino acid supplement; EAA milk = essential amino acid milk supplement; TUG = timed up and go; PASE = Physical Activity Scale for the Elderly.

†Group difference: difference between groups according to Kruskal-Wallis test.

‡Significant at  $p \leq 0.05$ .

§Significant at  $p \leq 0.05$  between groups.

Quelle: *Maltais et al. (2016, S. 1683)*

#### 4 Diskussion der Ergebnisse

Nachfolgend werden die Artikel aus dem vorangegangenen Kapiteln zusammengefasst und analysiert. Unter anderem werden die Ergebnisse mit der aktuellen Literatur verglichen und diskutiert. Der Schwerpunkt dieses Reviews liegt in der Untersuchung der Auswirkungen einer Proteinsupplementation in Kombination mit einer Trainingsintervention bei Menschen mit Sarkopenie oder mit einer Gebrechlichkeit. Im Besonderen wurden die Parameter der Muskelkraft, freien Fettmasse und funktionellen Leistungsfähigkeit analysiert.

Alle untersuchten Studien arbeiteten mit einer oder mehreren Kontrollgruppen, die entweder nur Krafttraining oder nur eine Supplementation erhielten. Lediglich die Studie von Collins et al. (2016) untersuchte mithilfe zweier Gruppen die Auswirkungen verschiedener Supplementierungen. Speziell wurden die unterschiedlichen Auswirkungen eines Molkeproteins und die Kombination mit Kreatin untersucht. Zudem ist die Stichprobe mit 16 Testpersonen, dementsprechend acht Personen pro Gruppe, relativ gering, weshalb genaue Schlüsse auf die Grundgesamtheit mit Vorsicht zu interpretieren sind. Die restlichen untersuchten Studien wiesen ein Probandenkollektiv von mindestens 25 Personen und darüber hinaus auf. Insbesondere wies die Studie von Kim et al. (2016) eine große Stichprobenzahl und vier Testgruppen im Vergleich zu den anderen auf. Die Stichprobe verfügte aber nur über Teilnehmerinnen und keine Teilnehmer. Maltais et al. (2016) und Zdzieblik et al. (2015) wiederum untersuchten in ihrer Studie 26 bzw. 53 Männer und keine Frauen. Die anderen fünf Studien bezogen beide Geschlechter mit ein.

Die Unterschiede hinsichtlich des Alters belaufen sich für dieses speziell ausgewählte Probandenkollektiv auf teilweise über 18 Jahre, wenn man das durchschnittliche Alter der Testpersonen heranzieht. Gemeint sind hier die Studie von Maltais et al. (2016), die ein verhältnismäßig sehr junges Probandenkollektiv und die Studie von Yamada et al. (2019), die im Gegensatz dazu Testpersonen in einem höheren Alter untersuchten. Die Bedeutung des Alters hat einen großen Einfluss auf die Intensität des Trainings und somit den Zuwachs der Muskelmasse und der Muskelkraft bei Probanden und Probandinnen. Eine hohe Trainingsintensität kann von gebrechlichen Personen im Allgemeinen sehr schlecht toleriert werden, speziell Intensitätsbereiche, die über einem klassischen Hypertrophietraining von über 85-90% des 1-RM liegen (Jadczak et al., 2018). Einige Studien haben gezeigt, dass nicht die Wiederholungsanzahl, sondern das gesamte Volumen eines Trainings von vorrangiger Bedeutung für eine Zunahme der Muskelmasse ist (Schoenfeld, 2013; Schoenfeld et al., 2016; Wernbom et al., 2007).

In diesem Review wurde die Intensität, bis auf zwei der analysierten Studien, zumindest am Anfang der Intervention unter 65% des 1-RM gelegt. Zwei Studien, jene von Collins et al. (2016) und Maltais et al. (2016) wählten eine Intensität von 80% des 1-RM. Die Studie von

Kim et al. (2016) gab als einzige Studie keine genaue Auskunft über die Intensität der Trainingsintervention.

Eine hohe Intensität bei schlechter körperlicher Konstitution ist bei älteren gebrechlichen Menschen mit Sarkopenie also zu hinterfragen. Jadczyk et al. (2018) kamen zu dem Schluss, dass eine Kombination von Kraft, Aerobic, Flexibilität und Gleichgewichtsübungen effektiv für eine Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit in Bezug auf Kraft, Gehgeschwindigkeit und Gleichgewicht bei gebrechlichen Personen sein könnten. Dennoch ist Krafttraining eines der wichtigsten Elemente der oben angeführten Komponenten. Bestätigt wird dies in einem Review von Cadore et al. (2013), die feststellten, dass mithilfe von Krafttraining alleine oder als Teil eines kombinierten Trainingsprogramm aus Flexibilität, Aerobic und Ausdauer bei gebrechlichen älteren Personen größere Kräftezuwächse erzielt wurden als bei einer kombinierten Trainingsinterventionen ohne Krafttraining.

Ähnliche Vorgehensweise gab es hinsichtlich der Frequenz bei den Studien. Die Trainingsfrequenz war bis auf zwei Studien gleich. Die Testpersonen mussten zum Beispiel bei sechs der acht untersuchten Studien zwei Trainingseinheiten pro Woche, während die anderen Testpersonen der Studien drei Einheiten pro Woche absolvieren. Die aktuellen Trainingsempfehlungen für gesunde ältere Erwachsene umfassen eine Kombination aus Aerobic, das 150 Minuten bei mäßiger oder 75 Minuten bei hoher Intensität pro Woche betragen soll und Krafttraining, das zumindest zweimal pro Woche durchgeführt wird (Taylor, 2014). Diese Trainingsempfehlungen sind für gesunde Erwachsene, die über keinen Muskelschwund berichten. Bei sechs der untersuchten Studien liegt das Volumen für ältere Menschen mit Sarkopenie oder Gebrechlichkeit sogar nur bei zwei Trainingseinheiten pro Woche, obwohl die wöchentliche Frequenz von mindestens dreimal empfohlen wird (Phu et al., 2015). Zusätzlich wird eine Supplementation mit Protein spätestens 60 Minuten nachdem Training empfohlen.

Die zweite These dieses Reviews untersucht, ob der Zeitpunkt der Supplementation eine Auswirkung auf die untersuchten Parameter hat.

Der Zeitpunkt der Supplementation bei den untersuchten Studien ist inkonsistent. Lediglich drei Studien verabreichten die Supplementation nach dem Training (Amasene et al., 2019; Maltais et al., 2016; Zdzieblik et al., 2015). Zwei Studien gaben keine Auskunft über den Zeitpunkt der Supplementation (Collins et al., 2016; Kim et al., 2016), zwei Studien verabreichten das Supplement nach dem Frühstück bzw. zusätzlich nach dem Mittagessen (Dirks et al., 2017; Yamada et al., 2019) und eine Studie vor dem Training (Ikeda et al., 2016). Nur drei der untersuchten Studien befolgten somit die Empfehlungen des Einnahmezeitpunktes einer Proteinsupplementation. Aufgrund der unterschiedlichen

Zeitpunkte der Proteinsupplementation und der verschiedenen Auswirkungen auf die untersuchten Parameter, lässt sich somit keine exakte Interpretation ableiten.

Jene Studien von Lemon et al. (2002) und Candow et al. (2008) widerlegen die Annahme, dass eine Proteinsupplementation unmittelbar vor und nach dem Training für Muskelanpassungen entscheidend ist. Die Hypothese des sogenannten „anabolen Zeitfenster“ geht davon aus, dass es nach dem Training zu einer erhöhten Muskelproteinsynthese kommt und die Einnahme von Supplementen daher günstig wäre (Aragon et al., 2013). Die Autoren führen weiter aus, dass diese Annahme hingegen nur bei Testpersonen im nüchternen Zustand getestet wurde, weshalb diese These hinsichtlich der Muskelproteinsynthese nur bedingt richtig ist. Während des Fastens führt eine gleichzeitige Zunahme des Muskelproteinabbaus dazu, dass das negative Aminosäuregleichgewicht vor dem Training trotz trainingsbedingter Erhöhung der Muskelproteinsynthese in der Zeit nach dem Training bestehen bleibt (Kumar et al., 2009). Eine Ernährungsintervention in Bezug auf ein Krafttraining wäre nach einer Nacht ohne Nahrung indessen von Bedeutung. Idealerweise besteht solch eine Intervention aus einer Nahrungsaufnahme von Protein und Kohlenhydraten, um die Muskelproteinsynthese zu fördern und die Proteolyse zu reduzieren (Aragon et al., 2013). Eine Studie hat gezeigt, dass ein Frühstück, das mit Vitamin D und einem Leucin angereicherten Molkeprotein ergänzt wird, die akut postprandiale Muskelproteinsynthese bei gesunden älteren Männern verdoppeln kann (Chanet et al., 2017). Eine Supplementierung aus verschiedenen Proteinen und Vitalstoffen kann in Kombination mit Krafttraining für ältere männliche Personen Vorteile bringen.

Es konnte zum Beispiel nachgewiesen werden, dass eine kleine Dosis von 6 g essenziellen Aminosäuren, die kurz vor einem Trainingsreiz eingenommen wurde, die Aminosäuren im Blut und in den Muskeln um etwa 130% erhöhen konnten (Tipton et al., 2001). Diese Werte blieben zwei Stunden nach dem Training erhöht. Unter anderem zeigten andere Studien mit einer höheren Dosis vor dem Training denselben Effekt.

Eine Supplementation von 20 g Molkeprotein unmittelbar vor dem Training erhöhte die Muskelaufnahme von Aminosäuren auf das 4,4 fache vom ursprünglichen Niveau und sank erst drei Stunden nach dem Training auf das Ausgangsniveau (Fujita et al., 2009; Tipton et al., 2007). Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Zeitpunkt der Einnahme nicht wichtig ist, sondern die Verfügbarkeit von Aminosäuren im Blut, die in späterer Folge das Muskelwachstum beeinflussen können (Aragon et al., 2013). Unter anderem spielt auch der Trainingszustand und das Alter eine wichtige Rolle für den Zeitpunkt der Einnahme. In allen untersuchten Studien haben die Testpersonen eine diagnostizierte Sarkopenie oder Gebrechlichkeit, aufgrund wenig physischer Aktivität, somit eine niedrige funktionelle Leistungsfähigkeit. Speziell konnte gezeigt werden, dass bei untrainierten Personen sowohl

die mitochondriale als auch die myofibrilläre Proteinsynthese stimuliert wird (Burd et al., 2009). Bei trainierten Personen verläuft die Proteinsynthese hauptsächlich über eine myofibrilläre Proteinsynthese, dementsprechend wichtiger ist der Zeitpunkt und die Proteinform bei trainierten im Vergleich zu untrainierten Personen.

Die zweite These dieser Arbeit ging der Frage nach, welcher Zeitpunkt für eine Proteinsupplementation bei älteren Menschen mit Sarkopenie und Gebrechlichkeit gewählt werden sollte. Aufgrund der Studienlage und der Ergebnisse dieses Reviews stellte sich heraus, dass der Zeitpunkt nicht entscheidend ist, sondern der Aminosäuregehalt im Blut könnte eine mögliche Erklärung sein, der mit der Dosis stark korreliert.

Die erste These dieser Arbeit untersucht, ob eine Kombination von Krafttraining und Proteinsupplementation eine Auswirkung auf die Körperzusammensetzung, im Besonderen auf die fettfreie Masse hat.

Bis auf eine Studie von Kim et al. (2016) verwendeten alle eine DEXA Messung, um die Körperzusammensetzung zu messen, wodurch ein Vergleich zuverlässig ist. Es konnte in einigen Studien eine signifikante Änderung im Verhältnis der Körperzusammensetzung gemessen werden. Bei fünf der analysierten Studien konnte eine deutliche Verbesserung der Körperzusammensetzung einiger Parameter identifiziert werden. Zdzieblik et al. (2015) konnten zum Beispiel einen beträchtlichen Anstieg der fettfreien Masse und eine signifikante Reduktion der Fettmasse feststellen. Einige andere Autoren konnten eine bedeutende Zunahme der Magermasse und der appendikulären Magermasse nachweisen (Dirks et al., 2017; Maltais et al., 2016; Yamada et al., 2019).

Hingegen konnten die anderen Autoren keinen signifikanten Effekt auf die Körperzusammensetzung nachweisen, weshalb keine eindeutige Auswirkung einer Kombination von Proteinsupplementen und Krafttraining aufgezeigt werden konnte. Andere Reviews und Metaanalysen bestätigen ebenfalls, dass eine zusätzliche Wirkung schwach und inkonsistent ist (Gade et al., 2018; Hidayat et al., 2018). Hidayat et al. (2018) untersuchten die Auswirkungen von Milchprotein und Krafttraining auf verschiedene Parameter, unter anderem die Körperzusammensetzung. Sie vermuteten, dass die eingenommenen Supplemente, die ein zusätzliches Plus von über 300 kcal pro Woche bedeuten, für die schwache Wirkung verantwortlich waren. Diese potenzielle Zunahme des Körpergewichts und der Fettmasse wurde offensichtlich aufgrund des Anstiegs des Gesamtenergieverbrauchs, der zwar durch das Krafttraining abgeschwächt wurde, verursacht. Gade et al. (2018) konnten lediglich in drei von 16 analysierten Studien einen positiven Effekt von Protein in Kombination mit Krafttraining bei älteren Menschen mit Sarkopenie auf die Körperzusammensetzung nachweisen. Darüber hinaus ist die Zusammensetzung und Verteilung von Supplementen ein entscheidender Faktor für eine Verbesserung der Körperzusammensetzung. Es konnte gezeigt werden, dass eine

Supplementation mit Molkeprotein mit Vitamin D und essenziellen Aminosäuren, insbesondere Leucin, die Magermasse bei immobilen Menschen mit Sarkopenie erhöhen und gleichzeitig die Muskelmasse erhalten konnte (Bauer et al., 2015; Rondanelli et al., 2016; Verreijen et al., 2015).

Ähnliche Ergebnisse zeigte eine Metaanalyse von Cermak et al. (2012), die die Kombination eines Krafttrainings und einer Proteinsupplementation auf fettfreie Masse, 1-RM und Muskelmasse untersuchten. Sie konnten eine Zunahme der fettfreien Masse und des 1-RM bei der Beinpresse, aber keine Zunahme der Muskelmasse bei älteren und jüngeren Personen nachweisen. Diese Metaanalyse untersuchte unterdessen gesunde Menschen jeglichen Alters und keine Menschen mit Sarkopenie oder Gebrechlichkeit. Das Alter bzw. der Trainingszustand hat einen entscheidenden Einfluss auf die Auswirkungen einer Trainingsintervention. Beispielweise untersuchten Li et al. (2019) in ihrer Metaanalyse die Auswirkungen eines Molkeproteins in Kombination mit Krafttraining bei gesunden Menschen und Menschen mit pathologischen Störungen. Sie konnten eine signifikante Verbesserung der Magermasse, Fettmasse und Muskelkraft bei gesunden Menschen, die das 40. Lebensjahr noch nicht vollendet hatten, nachweisen. Demgegenüber konnte keine bemerkenswerte Verbesserung bei Menschen mit pathologischen Störungen nachgewiesen werden. Andererseits stieg die Fettmasse bei Personen mit pathologischen Störungen signifikant an. Die Autoren gingen davon aus, dass jüngere Menschen im Zuge eines Krafttrainings mit einer Supplementation im Vergleich zu älteren Personen mehr profitieren könnten.

Insgesamt wurde aufgrund der Ergebnisse dieses Reviews ein positiver Trend auf die Körperzusammensetzung mithilfe einer Kombination aus Krafttraining und einer Proteinsupplementation nachgewiesen. Ein positiver Effekt auf die fettfreie Masse konnte indes nur bei einer Studie festgestellt werden und kann deshalb im Zuge dieses Reviews nicht bestätigt werden. Auch die aktuelle Studienlage zeigte überwiegend keine positiven Effekte einer Intervention auf die fettfreie Masse.

Der nächste Abschnitt beschäftigt sich mit der Dosis einer Supplementation von Protein und deren Auswirkung auf die Parameter der Muskelkraft und der funktionellen Leistung. Die analysierten Studien in diesem Review verabreichten unterschiedliche Dosen zu unterschiedlichen Zeitpunkten. In fünf Studien wurde den Testpersonen täglich ein Molkeprotein, ein Milchprotein oder essenzielle Aminosäuren verabreicht (Dirks et al., 2017; Kim et al., 2016; Maltais et al., 2016; Yamada et al., 2019; Zdzieblik et al., 2015). Zwei Studien applizierten zweimal täglich ein Proteinsupplement, wobei Kim et al. (2016) eine geringe Menge von 6 g bzw. insgesamt 12 g und Dirks et al. (2017) eine höhere Menge von zweimal 15 g bzw. 30 g täglich verabreichten. Vergleicht man die Dosis mit den Ergebnissen der Studien, so lässt sich ableiten, dass bis auf die Studie von Kim et al. (2016) keine andere

Studie ein Muskelwachstum der Probanden erzielte. Die erwähnte Studie konnte keine Zuwächse in der Muskelmasse feststellen, sondern lediglich einen signifikanten Unterschied in der Abnahme der Muskelmasse zwischen den Gruppen.

Die Dosis spielte beispielsweise eine entscheidendere Rolle bei einer Muskelhypertrophie (Schoenfeld et al., 2013). Es wurde gezeigt, dass die Gesamtproteinaufnahme bei weitem der wichtigste Prädiktor für eine Hypertrophie des Muskels war. Weiters führten die Autoren aus, dass die Gesamtproteinaufnahme keinen Einfluss auf die Ergebnisse von Kraftwerten hatte, sondern nur auf das Muskelwachstum. Das Muskelwachstum, insbesondere die Myofaserhypertrophie, ist nicht bei allen Altersgruppen gleich. Krafttraining bei jungen Männern hat zum Beispiel einen stärkeren Effekt als bei jungen Frauen und älteren Menschen (Kosek et al., 2006). Ein wichtiger Faktor ist das Alter, da sich die Muskelproteinsynthese verändert und dadurch eine Trainingsanpassung beeinflusst wird. Man spricht von einer sogenannten „Anabolen Resistenz“, folglich ist die Aufnahme von Aminosäuren im Zuge eines Krafttrainings bei älteren Personen schwieriger (Breen et al., 2013). Unter anderem wurde auch nachgewiesen, dass ältere Personen einen größeren Anstieg der Muskelproteinsynthese bei 40 g als bei 20 g Molkeprotein zeigten (Morton et al., 2018). Daraus lässt sich schließen, dass ältere Personen einen erhöhten Proteinbedarf haben, um eine anabole Reaktion nach einem Training zu erhöhen.

Neben der Höhe der Dosis ist die Zusammensetzung des Proteinsupplement von entscheidender Bedeutung. In Milchproteine, wie Kasein oder konzentrierten Milchprotein, sind zum Beispiel nicht so viele essenzielle Aminosäuren wie bei einem Molkeprotein enthalten. Essenzielle Aminosäuren, im besonderen Leucin, haben eine Schlüsselfunktion bei der Muskelproteinsynthese, die die Muskelhypertrophie beeinflusst (Dreyer et al., 2008; Kimball et al., 2006). Eine Dosis von ungefähr drei bis vier Gramm Leucin wird benötigt, um eine optimale Proteinsynthese zu fördern (Paddon-Jones et al., 2004). Zudem wird ein Molkeprotein schneller absorbiert und kann schneller verarbeitet werden, um den Proteinverlust bei älteren Menschen zu begrenzen (Dangin et al., 2003). Die schnellere Absorption führt zu einer Zunahme der Aminosäurekonzentration im Blutplasma, weshalb die Muskelproteinsynthese und schließlich der Anabolismus angeregt wird (Tang, J. et al., 2009). Ein Molkeprotein oder ein anderes hochwertiges Protein, das mindestens drei Gramm Leucin pro Portion enthält, dient einer optimalen Ergänzung nach dem Training bei älteren Erwachsenen (Hidayat et al., 2018). Vergleicht man die Studienlage mit den Ergebnissen dieses Reviews, so wird deutlich, dass die supplementierte Menge an Leucin teilweise unzureichend war. Ikeda et al. (2016) verabreichten insgesamt nur sechs Gramm essenzielle Aminosäuren, die nur 105 mg Leucin enthielten, also deutlich unter der vorgesehen Einnahmedosis. Außerdem mussten die Testpersonen das Supplement nur an

zwei Tagen einnehmen. Die statistisch unauffälligen Werte könnten sich mit der unzureichenden Proteinsupplementation, im besonderen Leucin, erklären lassen.

Gleichermaßen war die Dosis von Leucin bei Kim et al. (2016), die den Testpersonen nicht mehr als sechs Gramm essenzielle Aminosäuren mit nur 42%, also ca. 2,5 g Leucin, supplementierten. Ihr Fokus in der Studie war die Abnahme verschiedener Parameter, wie Muskelmasse, Körperzusammensetzung und funktionelle Leistungsfähigkeit, nach einem Zeitraum von vier Jahren zu untersuchen. Es war zwar ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen festzustellen, aber man darf das Ergebnis in diesem Zusammenhang nicht überinterpretieren. Die Tatsache, dass eine Intervention aus Training und Supplementierung keiner Intervention überlegen ist, bedarf nicht viel an Beweislage. Die zitierten Studien belegen eindeutig, dass ein Krafttraining oder eine reine Supplementierung eine Zunahme bzw. eine Erhaltung der Muskelmasse zufolge hat (Liao et al., 2019; Liao et al., 2018; Malafarina et al., 2013).

Die Studie von Zdzieblik et al. (2015) konnte mit einer Dosis von 15 g Kollagenpeptiden, die lediglich eine Menge von 2,7%, also nur ungefähr 0,4 g Leucin enthielten, eine signifikante Zunahme der freien Fettmasse und der Muskelkraft, sowie eine signifikante Reduktion der Fettmasse feststellen. Dies könnte sich mit der Frequenz des Trainings, die mit dreimal pro Woche höher war als bei anderen Studien erklären lassen. Zudem wurde den Testpersonen tägliche eine Stunde nach dem Training Protein supplementiert. Die Frequenz, sowie die gesamte Proteinsupplementation könnte für dieses Ergebnis verantwortlich sein. Jene Studien, die die empfohlene Dosis verabreicht haben, konnten eine signifikante Verbesserung in einigen Parametern der Körperzusammensetzung nachweisen (Dirks et al., 2017; Maltais et al., 2016; Yamada et al., 2019). Zudem wurde den Testpersonen täglich ein bis zweimal ein Proteinsupplement verabreicht. Darüber hinaus war die Frequenz bei Maltais et al. (2016), mit dreimal pro Woche höher als bei sechs der acht Studien, weshalb sich die signifikante Zunahme der Magermasse erklären lassen könnte. Hingegen war das Supplement, das Collins et al. (2016) den Testpersonen verabreichten, reich an essenziellen Aminosäuren, jedoch untersuchten die Autoren die Unterschiede eines Molkeproteins und eine Kombination aus einem Molkeprotein mit Kreatin ohne einer Kontrollgruppe, weshalb hinsichtlich der Proteinsupplementation in Kombination mit Krafttraining keine Rückschlüsse auf die Körperzusammensetzung gemacht werden können.

Die zweite These dieser Arbeit ging der Frage nach, welche Dosis für eine Proteinsupplementation bei älteren Menschen mit Sarkopenie und Gebrechlichkeit gewählt werden sollte, um eine Verbesserung der fettfreien Masse zu erzielen. Anhand der Studienlage kann keine eindeutige Dosis für eine Verbesserung der Körperzusammensetzung empfohlen werden. Dennoch ist eine hohe Supplementation von

Protein, speziell mit essenziellen Aminosäuren, die mindestens drei bis 4 Gramm Leucin enthalten, von großer Bedeutung, da ältere Menschen mit Sarkopenie und Gebrechlichkeit aufgrund der Aufnahmefähigkeit einen erhöhten Bedarf haben. Zusammenfassend sind die Zusammensetzung der Proteine, sowie ein hoher Proteingehalt bei älteren Menschen mit Sarkopenie oder Gebrechlichkeit von entscheidender Bedeutung.

Abschließend werden die verschiedenen Trainingsinterventionen der Studien auf die Ergebnisse der Parameter „Muskelkraft und funktionelle Leistungsfähigkeit“ miteinander verglichen.

Die unterschiedliche Methodik, das Trainingsvolumen, trainierte Muskelgruppen sowie Zielstellungen der untersuchten Studien lassen nur bedingt einen Vergleich der Kraftwerte zu. Lediglich fünf der acht Studien untersuchten speziell die Muskelkraft mittels des 1-RM (Amasene et al., 2019; Dirks et al., 2017; Ikeda et al., 2016; Yamada et al., 2019; Zdzieblik et al., 2015). Die restlichen drei Studien untersuchten insbesondere die funktionelle Leistungsfähigkeit und die Muskelfunktion sowie die Körperzusammensetzung der Testpersonen.

Vier der angeführten Studien hatten eine Trainingsintervention von 60 Minuten vorgesehen (Amasene et al., 2019; Kim et al., 2016; Maltais et al., 2016; Zdzieblik et al., 2015). Eine Studie hatte lediglich 30 Minuten für die Trainingsintervention veranschlagt (Yamada et al., 2019) und drei hatten keine Angaben (Collins et al., 2016; Dirks et al., 2017; Ikeda et al., 2016). Jene fünf Studien, die die Verbesserungen der Muskelkraft feststellen konnten, hatten unterschiedliche Trainingsvolumen. Die Satzanzahl belief sich auf zwei und vier Sätze für die jeweiligen Muskelgruppen, wobei die Wiederholungsanzahl an die vorgegebene Intensität geknüpft war. Die Ergebnisse zeigten bei vier von den fünf Studien eine signifikante Verbesserung der Beinkraft (Dirks et al., 2017; Ikeda et al., 2016; Yamada et al., 2019; Zdzieblik et al., 2015). Ausschließlich Amasene et al. (2019) konnten keine signifikanten Unterschiede in allen Parametern feststellen.

Zdzieblik et al. (2015) untersuchten, ob die Intervention eine Auswirkung auf die Muskelkraft des rechten Quadriceps hätte. Die Trainingsintervention war ein progressives Krafttraining an Maschinen mit einer Trainingsintensität von 50-80% des 1-RM, das dreimal in der Woche durchgeführt wurde. Details zum Trainingsvolumen, zum Beispiel der Satzanzahl, wurden nicht beschrieben. Es erfolgte eine Messung vor und nach der Intervention, die Versuchsgruppe konnte eine signifikante Verbesserung der Muskelkraft im Vergleich zur Kontrollgruppe mittels einer isokinetischen Kraftmessung erzielen. Ikeda et al. (2016) untersuchte, ob die Intervention eine Auswirkung auf die isometrische Muskelkraft der unteren und oberen Extremitäten haben könnte. Die Trainingsintervention beinhaltete für jede Übung drei Sätze, es wurden sowohl die unteren als auch oberen Extremitäten an Trainingsmaschinen trainiert. Auch sie konnten mithilfe einer isometrischen Kraftmessung

eine signifikante Zunahme der Beinkraft, speziell bei der Beinpresse, nachweisen. Die Trainingsintensität legten sie mit 30% der maximalen willentlichen Kontraktion fest. Dirks et al. (2017) konnten nach 24 Wochen bei der letzten Testung eine signifikante Zunahme der Beinkraft feststellen. Nach 12 Wochen konnte hingegen noch keine deutliche Zunahme der Beinkraft festgestellt werden. Eine Vergleichbarkeit ist daher kaum möglich, weil die Dauer dieser Studie doppelt so lange wie die anderen Studien war. Ausgenommen davon ist die Studie von Maltais et al. (2016) mit einer Dauer von 16 Wochen. Yamada et al. (2019) untersuchten die Muskelkraft und konnten dabei eine signifikante Zunahme der Beinkraft feststellen. Trotzdem ist ein Vergleich hinsichtlich der Kraftwerte mit den anderen vier Studien nicht möglich, da die Testpersonen einzig mit ihrem Körpergewicht oder Widerstandsbändern trainierten.

Vergleicht man nun die Ergebnisse dieser Studien und analysiert die Trainingsinterventionen, so muss hervorgehoben werden, dass die Intensität, das Volumen und die Supplementierung unterschiedlich sind. Jedoch konnte gezeigt werden, dass die Gesamtproteinaufnahme keine direkte Auswirkung auf die Ergebnisse der Kraftwerte hatte (Schoenfeld et al., 2013). Nichtsdestotrotz konnte eine Metaanalyse eine signifikante Verbesserung der Muskelmasse bei der Beinkraft bei gebrechlicheren älteren Menschen feststellen (Liao et al., 2018). Beim Vergleich von Subgruppen konnte mithilfe einer Proteinergänzung und einem Krafttraining dieser Effekte ebenfalls nachgewiesen werden. In Bezug auf die Trainingsintensität ist die Studienlage inkonsistent. Die Ergebnisse der Metaanalyse von Schoenfeld et al. (2017) legten nahe, dass bei jungen Erwachsenen und Erwachsenen im mittleren Alter ein Training mit hoher Last bessere Auswirkungen auf das 1-RM hat als eine niedrige Last. Sie konnten auch bei niedrigeren Lasten einen Zuwachs feststellen, jedoch war der Zuwachs mit höherer Last signifikant besser. Hingegen konnte Csapo et al. (2016) in ihrer Metaanalyse sowohl bei einem Trainingsprogramm mit hoher als auch niedriger Last einen signifikante Kräftezuwachs feststellen. Die Studien, die sie analysierten, untersuchten ältere Menschen ohne Krafttrainingserfahrung und diese nahmen Lasten um 45% des 1-RM und 80% des 1-RM auf. Niedrigere Lasten werden von älteren Menschen bevorzugt und können eine Alternative sein, da hohe Belastungen ein höheres Dropout aufgrund von Verletzungen, insbesondere bei Vorerkrankungen, verursachen (Segal et al., 2015).

Die Auswirkungen der Trainingsinterventionen in Kombination mit einer Supplementierung auf die funktionelle Leistungsfähigkeit sind im Vergleich zur Muskelkraft eindeutiger. Fünf von sieben Studien konnten zumindest bei einem Parameter mithilfe eines standardisierten Testverfahrens eine signifikante Verbesserung nachweisen. Die Studie von Zdzieblik et al. (2015) untersuchte ausschließlich die Muskelfunktion und die Muskelmasse. Die

funktionelle Leistungsfähigkeit wurde mit einer „Short Physical Performance Batterie“, eines „Senior Fitness Test“ oder anhand des TMIG-Index bestimmt.

Alle Testpersonen der untersuchten Studien mussten ein Krafttraining entweder mit dem Körpergewicht oder bis zu 80% des 1-RM absolvieren. Nur zwei Studien kombinierten Krafttraining mit einem Gangtraining und spezifischen Tests für die SPPB (Amasene et al., 2019; Ikeda et al., 2016).

Ikeda et al. (2016) konnten eine signifikante Verbesserung bei dem „Functional -Reach-Test“ bei der Versuchsgruppe, die als Intervention eine Proteinsupplementation in Kombination mit Krafttraining hatte, nachweisen. Die Kontrollgruppe musste als Intervention nur ein Krafttraining absolvieren. Kim et al. (2012) konnten in der follow-up Studie einen deutlichen Unterschied in der gewöhnlichen Ganggeschwindigkeit feststellen. Erwähnenswert wäre noch, dass bei der Kontrollgruppe, die nur Krafttraining oder Proteinsupplemente verabreicht bekommen hatte, keine signifikanten Zuwächse gemessen werden konnten. Die anderen Parameter zeigten keine statistisch auffälligen Unterschiede, die für einen positiven Zusammenhang zur körperlichen Leistungsfähigkeit dementsprechend aussagekräftiger wären. Dirks et al. (2017) konnten definitive Verbesserungen aller Parameter der SPPB nachweisen. Darüber hinaus konnte bei dem 30-Sekunden Aufstehtest ebenfalls eine deutliche positive Veränderung festgestellt werden. Yamada et al. (2019) konnten signifikante Zunahmen in Versuchsgruppe sowie in der Gruppe, die Proteinsupplemente verabreicht bekommen hatte. Interessanterweise konnte bei der Gruppe mit den Proteinsupplementen neben der Ganggeschwindigkeit beim 30-Sekunden Aufstehtest auch deutlich messbare Zunahmen festgestellt werden. Hingegen konnte die Versuchsgruppe nur bei der Ganggeschwindigkeit signifikante Zuwächse verzeichnen. Maltais et al. (2016) konnten nur in der Versuchsgruppe mit Milchprotein eine beträchtliche positive Veränderung des TUAG Test feststellen. Die Kontrollgruppe und die Versuchsgruppe, die essenzielle Aminosäuren verabreicht bekommen hatten, verzeichneten keine Veränderungen. Dieses Ergebnis ist mit Vorsicht zu interpretieren, denn einerseits ist die Probandenanzahl in dieser Gruppe sehr gering und andererseits ist dieser Parameter nur einer von vielen anderen, die getestet worden sind. Insgesamt lässt sich ein positiver Trend auf die funktionelle Leistungsfähigkeit feststellen. Dennoch war es bei kaum einer Studie möglich, statistisch auffällige Veränderungen bei ähnlichen Parametern zu messen. Auch innerhalb der Interventionsgruppen gab es Unterschiede, weshalb keine klare Evidenz vorliegt, welche Faktoren für eine Verbesserung verantwortlich sind.

Die Metaanalyse von Hou et al. (2019) konnten beispielsweise keine positiven Veränderungen eines Krafttrainings und einer Proteinsupplementation auf die funktionelle Leistungsfähigkeit mittels einer SPPB feststellen. Diese Variation der Determinanten, so

vermuten die Autoren, lässt sich auf Alter, Geschlecht, Rasse, Körperfett, Gewicht und Muskelkraft zurückführen (Martin et al., 2009; Visser et al., 2005; Woods et al., 2011). Darüber hinaus war es möglich aufzuzeigen, dass die Muskelkraft ein starker Prädiktor für die funktionelle Leistungsfähigkeit ist und stärker mit diesem Parameter korreliert als die Muskelmasse. Zusätzlich haben ältere Erwachsene mit niedriger Muskelkraft ein höheres Risiko eine eingeschränkte Gehgeschwindigkeit oder eingeschränkte Mobilität zu entwickeln (Koster et al., 2011; Schaap et al., 2013). Dieses Fazit deckt sich mit den Ergebnissen dieses Reviews, denn die meisten Studien konnten in kaum mehr als einem Parameter der funktionellen Leistungsfähigkeit erhebliche Zuwächse nachweisen. Aufgrund der engen Beziehung zwischen Muskelkraft und Muskelmasse bleibt dennoch unklar, ob dieses Ergebnis aus dem Zusammenhang der Muskelkraft oder auch der Muskelmasse entsteht (Visser et al., 2005). Andererseits gibt es ältere Studien mit mittleren und langen Interventionsperioden, die darauf hindeuten, dass Krafttraining oder Aktivitäten wie Treppensteigen die Parameter der SPPB und die funktionelle Reichweite erhöhen können (Chale et al., 2013; Tieland, M. et al., 2012).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Krafttraining in Kombination oder allein ausgeübt einen positiven Effekt auf Muskelkraft und funktionelle Leistungsfähigkeit haben kann. Aufgrund der unterschiedlichen Herangehensweisen der Autoren in Bezug auf das Krafttraining, die Proteinsupplementation, die Trainingsintensität und das Trainingsvolumen ist eine Begründung für diesen Trend nicht möglich.

Daraus lassen sich einige Schwächen für dieses Review ableiten, denn die Heterogenität in den verschiedenen Studien lassen kaum einen Vergleich zu. Die unterschiedlichen Proteinsupplementierungen (Proteinquelle, Dosis, Zeitpunkt der Einnahme) sowie der Trainingsinterventionen (Trainingsdauer und Volumen) machen einen Vergleich sehr schwer, weshalb Schlussfolgerungen bezüglich der Wirkung auf die Muskelkraft, die fettfreie Masse und die funktionelle Leistungsfähigkeit bei älteren Menschen mit Sarkopenie oder Gebrechlichkeit kaum möglich ist. Ein weiteres Problem war, dass einige Studien eine kleine Probandenstichprobe untersuchten (Collins et al., 2016; Maltais et al., 2016) oder nur Männer oder Frauen (Kim et al., 2016; Maltais et al., 2016; Zdzieblik et al., 2015). Da das Geschlecht eine entscheidende Rolle auf die Auswirkungen der Messwerte spielt, ist dies ein wichtiger Faktor, der miteinzubeziehen ist.

Darüber hinaus wurden mittels Ein- und Ausschlusskriterien nur acht Studien für die Beantwortung der Forschungsfragen ausgewählt, weshalb die Stichprobe geringer als in anderen Reviews ist.

Weitere Forschungen müssen ihren Schwerpunkt noch hinsichtlich der genauen Auswirkungen von Proteinsupplementation auf die funktionelle Leistungsfähigkeit legen.

Dass Krafttraining in Kombination mit einer Proteinsupplementierung einen positiven Effekt auf die Muskelmasse sowie Muskelkraft hat, ist definitiv bewiesen. Welchen Effekt jedoch die Muskelmasse bzw. Muskelkraft im Detail auf die funktionelle Leistungsfähigkeit haben könnte, ist derzeit noch unklar. Aufgrund der steigenden Zahl an Personen mit Sarkopenie und Gebrechlichkeit und der fehlenden physischen Aktivität müssen dringend weitere Untersuchungen mit diesem Probandenkollektiv folgen.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel dieses Reviews war es, die Bedeutung einer Proteinsupplementation in Kombination mit Krafttraining bei älteren Menschen mit Sarkopenie und Gebrechlichkeit zu untersuchen. Darüber hinaus sollten die Dosis sowie der Zeitpunkt einer Proteinsupplementation ermittelt werden.

Die kontinuierliche Zunahme der älteren Bevölkerung und der damit verbundene Anstieg der Lebensjahre birgt Gefahr an Sarkopenie oder dem geriatrischen Syndrom der Gebrechlichkeit zu erkranken. Deshalb ist es essenziell die Muskelkraft, Muskelmasse und die funktionelle Leistungsfähigkeit in diesem Alter aufrechtzuerhalten oder zu verbessern. Wissenschaftliche Studien haben sich insbesondere auf eine Proteinsupplementation und auf Krafttraining fokussiert, um diese Parameter zu verbessern. Die positiven Effekte auf Muskelkraft, Muskelmasse und auf funktionelle Leistungsfähigkeit mit einer Proteinsupplementation und gleichzeitigem Krafttraining bei gesunden Menschen ist unumstritten.

Ältere Menschen, die an Sarkopenie oder Gebrechlichkeit leiden, haben zumeist unterschiedliche körperliche Voraussetzungen, die inkonsistente Ergebnisse im Zuge von klinischen Studien, die die Auswirkungen einer Proteinsupplementierung mit Krafttraining untersucht haben, hervorbringen. Die unterschiedlichen Interventionen der klinischen Studien in Bezug auf Trainingsvolumen, Trainingsintensität, Trainingsfrequenz und der Proteinsupplementation, insbesondere der Zeitpunkt der Einnahme und die Dosis sowie die Zusammensetzung lassen einen Vergleich und eine Interpretation der Ergebnisse kaum zu. Dennoch kann insgesamt ein positiver Effekt von Krafttraining in Kombination mit einer Proteinsupplementierung auf Muskelkraft, Muskelmasse, dem damit verbundenen Verhältnis der Körperzusammensetzung sowie der funktionellen Leistungsfähigkeit im Zuge dieses Reviews festgestellt werden. Genaue Details, welche Trainingsintervention unter welchen Rahmenbedingungen die besten Ergebnisse birgt, ist jedoch unklar. Dementsprechend konnten keine exakten Ergebnisse zur Proteinsupplementation ermittelt werden. Aufgrund der anabolen Resistenz und anderen altersbedingten Veränderungen von älteren Personen ist eine erhöhte Dosis im Vergleich zu jüngeren Personen

unabdingbar. Eine genaue Aussage bezüglich der Zusammensetzung von Protein, insbesondere der essenziellen Aminosäuren, kann nicht getroffen werden. Es zeigte sich jedoch, dass Leucin ein maßgeblicher Faktor für die Verbesserung der untersuchten Parameter hat. Generell kann eine Supplementation von Leucin in einer Höhe von 2,5 g bis 3 g empfohlen werden, um den wesentlich höheren Proteinbedarf von älteren Menschen zu decken. Speziell ist die Zusammensetzung der Supplementierung hinsichtlich des Gesamtenergiebedarfs entscheidend. Dieser wiederum spielt eine wesentliche Rolle bei der Verbesserung der Körperzusammensetzung, insbesondere dem Verhältnis der Fettmasse und der gesamten Magermasse. Steigt der Energiebedarf aufgrund der Proteinsupplementation, zu hoch an, kann es negative bzw. keine Auswirkungen auf die Verbesserung der Körperzusammensetzung haben.

Generell lässt sich jedoch aus den Ergebnissen dieses Reviews ableiten, dass Krafttraining in Kombination mit einer adäquaten Proteinsupplementation einen positiven Effekt auf die Körperzusammensetzung hat. Darüber hinaus konnten Kraftwerte, Muskelmasse und funktionelle Leistungsfähigkeit gesteigert werden. Offen bleibt jedoch, welche Rahmenbedingungen für die Trainingsintervention und den Zeitpunkt sowie der Höhe der Proteinsupplementation zu wählen sind, um konsistente Ergebnisse hinsichtlich der Parameter zu erreichen.

## Literaturverzeichnis

- Amasene, M., Besga, A., Echeverria, I., Urquiza, M., Ruiz, J. R., Rodriguez-Larrad, A., et al. (2019). Effects of Leucine-Enriched Whey Protein Supplementation on Physical Function in Post-Hospitalized Older Adults Participating in 12-Weeks of Resistance Training Program: A Randomized Controlled Trial. *Nutrients*, 11(10). doi:10.3390/nu11102337
- Andrews, R. D., MacLean, D. A., & Riechman, S. E. (2006). Protein intake for skeletal muscle hypertrophy with resistance training in seniors. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 16(4), 362-372. doi:10.1123/ijsnem.16.4.362
- Aragon, A., & Schoenfeld, B. (2013). Nutrient timing revisited: Is there a post-exercise anabolic window? *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 10, 5. doi:10.1186/1550-2783-10-5
- Austria, S. (2019). Bevölkerungsprognose 2019. Zugriff am 09.04.2020 unter [https://www.statistik.at/web\\_de/statistiken/menschen\\_und\\_gesellschaft/bevoelkerung/demographische\\_prognosen/bevoelkerungsprognosen/index.html](https://www.statistik.at/web_de/statistiken/menschen_und_gesellschaft/bevoelkerung/demographische_prognosen/bevoelkerungsprognosen/index.html)
- Bauer, J., Biolo, G., Cederholm, T., Cesari, M., Cruz-Jentoft, A. J., Morley, J. E., et al. (2013). Evidence-based recommendations for optimal dietary protein intake in older people: a position paper from the PROT-AGE Study Group. *J Am Med Dir Assoc*, 14(8), 542-559. doi:10.1016/j.jamda.2013.05.021
- Bauer, J. M., Verlaan, S., Bautmans, I., Brandt, K., Donini, L. M., Maggio, M., et al. (2015). Effects of a vitamin D and leucine-enriched whey protein nutritional supplement on measures of sarcopenia in older adults, the PROVIDE study: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *J Am Med Dir Assoc*, 16(9), 740-747. doi:10.1016/j.jamda.2015.05.021
- Beudart, C., McCloskey, E., Bruyère, O., Cesari, M., Rolland, Y., Rizzoli, R., et al. (2016). Sarcopenia in daily practice: assessment and management. *BMC geriatrics*, 16(1), 170-170. doi:10.1186/s12877-016-0349-4
- Beudart, C., Zaaria, M., Pasleau, F., Reginster, J. Y., & Bruyere, O. (2017). Health Outcomes of Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS One*, 12(1), e0169548. doi:10.1371/journal.pone.0169548
- Bernabei, R., Martone, A., Vetrano, D., Calvani, R., Landi, F., & Marzetti, E. (2014). Frailty, Physical Frailty, Sarcopenia: A New Conceptual Model. *Active Ageing and Healthy Living: A Human Centered Approach in Research and Innovation as Source of Quality of Life*, 203, 78-84. doi:10.3233/978-1-61499-425-1-78
- Biesalski, H. K., & Grimm, P. (2011). *Taschenatlas der Ernährung* (5. Auflage ed.). Stuttgart.
- Bollwein, J., Volkert, D., Diekmann, R., Kaiser, M., Uter, W., Vidal, K., et al. (2013). Nutritional Status According to the Mini Nutritional Assessment (MNA®) and Frailty in Community Dwelling Older Persons: A Close Relationship. *The journal of nutrition, health & aging*, 17, 351-356. doi:10.1007/s12603-013-0009-8
- Borack, M. S., & Volpi, E. (2016). Efficacy and Safety of Leucine Supplementation in the Elderly. *J Nutr*, 146(12), 2625s-2629s. doi:10.3945/jn.116.230771
- Breen, L., & Phillips, S. M. (2013). Interactions between exercise and nutrition to prevent muscle waste during ageing. *Br J Clin Pharmacol*, 75(3), 708-715. doi:10.1111/j.1365-2125.2012.04456.x
- Brzycki, M. (1993). Strength Testing—Predicting a One-Rep Max from Reps-to-Fatigue. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 64(1), 88-90. doi:10.1080/07303084.1993.10606684

- Burd, N. A., Tang, J. E., Moore, D. R., & Phillips, S. M. (2009). Exercise training and protein metabolism: influences of contraction, protein intake, and sex-based differences. *J Appl Physiol (1985)*, *106*(5), 1692-1701. doi:10.1152/jappphysiol.91351.2008
- Büsching, G. (2015). Short Physical Performance Battery Test – Ein Muss in der Geriatrie. *13*, 43. doi:10.1055/s-0034-1399816
- Cadore, E. L., Rodriguez-Manas, L., Sinclair, A., & Izquierdo, M. (2013). Effects of different exercise interventions on risk of falls, gait ability, and balance in physically frail older adults: a systematic review. *Rejuvenation Res*, *16*(2), 105-114. doi:10.1089/rej.2012.1397
- Candow, D., & Chilibeck, P. (2008). Timing of creatine or protein supplementation and resistance training in the elderly. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquée, nutrition et métabolisme*, *33*, 184-190. doi:10.1139/H07-139
- Cawthon, P. M., Blackwell, T. L., Cauley, J., Kado, D. M., Barrett-Connor, E., Lee, C. G., et al. (2015). Evaluation of the Usefulness of Consensus Definitions of Sarcopenia in Older Men: Results from the Observational Osteoporotic Fractures in Men Cohort Study. *Journal of the American Geriatrics Society*, *63*(11), 2247-2259. doi:10.1111/jgs.13788
- CEBP. (2020). PEDro Skala. Zugriff am 02.04.2020 unter <http://www.pedro.org.au/german/downloads/pedro-scale/>
- Cermak, N. M., Res, P. T., de Groot, L. C., Saris, W. H., & van Loon, L. J. (2012). Protein supplementation augments the adaptive response of skeletal muscle to resistance-type exercise training: a meta-analysis. *Am J Clin Nutr*, *96*(6), 1454-1464. doi:10.3945/ajcn.112.037556
- Chale, A., Cloutier, G. J., Hau, C., Phillips, E. M., Dallal, G. E., & Fielding, R. A. (2013). Efficacy of whey protein supplementation on resistance exercise-induced changes in lean mass, muscle strength, and physical function in mobility-limited older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, *68*(6), 682-690. doi:10.1093/gerona/gls221
- Chanet, A., Verlaan, S., Salles, J., Giraudet, C., Patrac, V., Pidou, V., et al. (2017). Supplementing Breakfast with a Vitamin D and Leucine-Enriched Whey Protein Medical Nutrition Drink Enhances Postprandial Muscle Protein Synthesis and Muscle Mass in Healthy Older Men. *J Nutr*, *147*(12), 2262-2271. doi:10.3945/jn.117.252510
- Chen, L. K., Liu, L. K., Woo, J., Assantachai, P., Auyeung, T. W., Bahyah, K. S., et al. (2014). Sarcopenia in Asia: consensus report of the Asian Working Group for Sarcopenia. *J Am Med Dir Assoc*, *15*(2), 95-101. doi:10.1016/j.jamda.2013.11.025
- Cheng, H., Kong, J., Underwood, C., Petocz, P., Hirani, V., Dawson, B., et al. (2018). Systematic review and meta-analysis of the effect of protein and amino acid supplements in older adults with acute or chronic conditions. *Br J Nutr*, *119*(5), 527-542. doi:10.1017/s0007114517003816
- Chien, M. Y., Huang, T. Y., & Wu, Y. T. (2008). Prevalence of sarcopenia estimated using a bioelectrical impedance analysis prediction equation in community-dwelling elderly people in Taiwan. *J Am Geriatr Soc*, *56*(9), 1710-1715. doi:10.1111/j.1532-5415.2008.01854.x
- Clark, D. J., Manini, T. M., Fielding, R. A., & Patten, C. (2013). Neuromuscular determinants of maximum walking speed in well-functioning older adults. *Experimental Gerontology*, *48*(3), 358-363. doi:10.1016/j.exger.2013.01.010
- Clegg, A., Young, J., Iliffe, S., Rikkert, M. O., & Rockwood, K. (2013). Frailty in elderly people. *Lancet*, *381*(9868), 752-762. doi:10.1016/s0140-6736(12)62167-9

- Collard, R. M., Boter, H., Schoevers, R. A., & Oude Voshaar, R. C. (2012). Prevalence of frailty in community-dwelling older persons: a systematic review. *J Am Geriatr Soc*, 60(8), 1487-1492. doi:10.1111/j.1532-5415.2012.04054.x
- Collins, J., Longhurst, G., Roschel, H., & Gualano, B. (2016). Resistance Training and Co-supplementation with Creatine and Protein in Older Subjects with Frailty. *J Frailty Aging*, 5(2), 126-134. doi:10.14283/jfa.2016.85
- Consortium, T. U. (2018). UniProt: a worldwide hub of protein knowledge. *Nucleic Acids Research*, 47(D1), D506-D515. doi:10.1093/nar/gky1049
- Cruz-Jentoft, A. J., Baeyens, J. P., Bauer, J. M., Boirie, Y., Cederholm, T., Landi, F., et al. (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
- Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyere, O., Cederholm, T., et al. (2019). Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing*, 48(1), 16-31. doi:10.1093/ageing/afy169
- Cruz-Jentoft, A. J., & Landi, F. (2014). Sarcopenia. *Clinical Medicine*, 14(2), 183. doi:10.7861/clinmedicine.14-2-183
- Cruz-Jentoft, A. J., & Michel, J. P. (2013). Sarcopenia: A useful paradigm for physical frailty. *European Geriatric Medicine*, 4(2), 102-105. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eurger.2013.02.009>
- Cruz-Jentoft, A. J., & Sayer, A. A. (2019). Sarcopenia. *Lancet*, 393(10191), 2636-2646. doi:10.1016/s0140-6736(19)31138-9
- Csapo, R., & Alegre, L. M. (2016). Effects of resistance training with moderate vs heavy loads on muscle mass and strength in the elderly: A meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports*, 26(9), 995-1006. doi:10.1111/sms.12536
- Dangin, M., Guillet, C., Garcia-Rodenas, C., Gachon, P., Bouteloup-Demange, C., Reiffers-Magnani, K., et al. (2003). The rate of protein digestion affects protein gain differently during aging in humans. *J Physiol*, 549(Pt 2), 635-644. doi:10.1113/jphysiol.2002.036897
- Dirks, M. L., Tieland, M., Verdijk, L. B., Losen, M., Nilwik, R., Mensink, M., et al. (2017). Protein Supplementation Augments Muscle Fiber Hypertrophy but Does Not Modulate Satellite Cell Content During Prolonged Resistance-Type Exercise Training in Frail Elderly. *J Am Med Dir Assoc*, 18(7), 608-615. doi:10.1016/j.jamda.2017.02.006
- Doherty, T., Vandervoort, A. A., Taylor, A., & Brown, W. (1993). Effects of motor unit losses on strength in older men and women. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 74, 868-874. doi:10.1152/jappl.1993.74.2.868
- Drey, M., Krieger, B., Sieber, C. C., Bauer, J. M., Hettwer, S., & Bertsch, T. (2014). Motoneuron loss is associated with sarcopenia. *J Am Med Dir Assoc*, 15(6), 435-439. doi:10.1016/j.jamda.2014.02.002
- Dreyer, H. C., Drummond, M. J., Pennings, B., Fujita, S., Glynn, E. L., Chinkes, D. L., et al. (2008). Leucine-enriched essential amino acid and carbohydrate ingestion following resistance exercise enhances mTOR signaling and protein synthesis in human muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 294(2), E392-400. doi:10.1152/ajpendo.00582.2007
- Dreyer, H. C., & Volpi, E. (2005). Role of protein and amino acids in the pathophysiology and treatment of sarcopenia. *Journal of the American College of Nutrition*, 24(2), 140S-145S. doi:10.1080/07315724.2005.10719455

- Duncan, P. W., Weiner, D. K., Chandler, J., & Studenski, S. (1990). Functional reach: a new clinical measure of balance. *J Gerontol*, 45(6), M192-197. doi:10.1093/geronj/45.6.m192
- Elmadfa, I., & Leitzmann, C. (2019). *Ernährung des Menschen* (überarb. u. aktual. Aufl. ed.).
- Finger, D., Goltz, F. R., Umpierre, D., Meyer, E., Rosa, L. H., & Schneider, C. D. (2015). Effects of protein supplementation in older adults undergoing resistance training: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 45(2), 245-255. doi:10.1007/s40279-014-0269-4
- Fried, L. P., Tangen, C. M., Walston, J., Newman, A. B., Hirsch, C., Gottdiener, J., et al. (2001). Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 56(3), M146-156. doi:10.1093/gerona/56.3.m146
- Fried, L. P., Tangen, C. M., Walston, J., Newman, A. B., Hirsch, C., Gottdiener, J., et al. (2001). Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 56, M156. doi:10.1093/gerona/56.3.M146
- Fujita, S., Dreyer, H. C., Drummond, M. J., Glynn, E. L., Volpi, E., & Rasmussen, B. B. (2009). Essential amino acid and carbohydrate ingestion before resistance exercise does not enhance postexercise muscle protein synthesis. *J Appl Physiol (1985)*, 106(5), 1730-1739. doi:10.1152/jappphysiol.90395.2008
- Gade, J., Pedersen, R., & Beck, A. M. (2018). Effect of Protein or Essential Amino Acid Supplementation During Prolonged Resistance Exercise Training in Older Adults on Body Composition, Muscle Strength, and Physical Performance Parameters: A Systematic Review. *Rehabilitation Process and Outcome*, 7, 117957271876576. doi:10.1177/1179572718765760
- Geirsdottir, O. G., Arnarson, A., Ramel, A., Jonsson, P. V., & Thorsdottir, I. (2013). Dietary protein intake is associated with lean body mass in community-dwelling older adults. *Nutrition Research*, 33(8), 608-612. doi:<https://doi.org/10.1016/j.nutres.2013.05.014>
- Guigoz, Y. (2005). The Mini Nutritional Assessment (MNA®) Review of the Literature-What Does It Tell Us? *The journal of nutrition, health & aging*, 10, 466-485; discussion 485.
- Guralnik, J. M., Simonsick, E. M., Ferrucci, L., Glynn, R. J., Berkman, L. F., Blazer, D. G., et al. (1994). A short physical performance battery assessing lower extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *J Gerontol*, 49(2), M85-94. doi:10.1093/geronj/49.2.m85
- Han, B., Li, Q., & Chen, X. (2019). Effects of the frailty phenotype on post-operative complications in older surgical patients: a systematic review and meta-analysis. *BMC geriatrics*, 19(1), 141-141. doi:10.1186/s12877-019-1153-8
- Heinrich, P. C., Müller, M., & Graeve, L. (2014). *Löffler/Petrides Biochemie und Pathobiochemie* (9., vollständig überarbeitete Auflage.. ed.). Berlin, Heidelberg :: Springer Berlin Heidelberg : Imprint: Springer.
- Hidayat, K., Chen, G. C., Wang, Y., Zhang, Z., Dai, X., Szeto, I. M. Y., et al. (2018). Effects of milk proteins supplementation in older adults undergoing resistance training: A meta-analysis of randomized control trials. *The journal of nutrition, health & aging*, 22(2), 237-245. doi:10.1007/s12603-017-0899-y
- Holecek, M. (2017). Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate supplementation and skeletal muscle in healthy and muscle-wasting conditions. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 8(4), 529-541. doi:10.1002/jcsm.12208

- Holecek, M. (2018). Branched-chain amino acids in health and disease: metabolism, alterations in blood plasma, and as supplements. *Nutr Metab (Lond)*, *15*, 33. doi:10.1186/s12986-018-0271-1
- Hoogendijk, E. O., Rockwood, K., Theou, O., Armstrong, J. J., Onwuteaka-Philipsen, B. D., Deeg, D. J. H., et al. (2018). Tracking changes in frailty throughout later life: results from a 17-year longitudinal study in the Netherlands. *Age Ageing*, *47*(5), 727-733. doi:10.1093/ageing/afy081
- Hou, L., Lei, Y., Li, X., Huo, C., Jia, X., Yang, J., et al. (2019). Effect of Protein Supplementation Combined with Resistance Training on Muscle Mass, Strength and Function in the Elderly: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Nutr Health Aging*, *23*(5), 451-458. doi:10.1007/s12603-019-1181-2
- Husom, A., Ferrington, D., & Thompson, L. (2005). Age-related differences in the adaptive potential of type I skeletal muscle fibers. *Experimental Gerontology*, *40*, 227-235. doi:10.1016/j.exger.2004.12.002
- Ikeda, T., Aizawa, J., Nagasawa, H., Gomi, I., Kugota, H., Nanjo, K., et al. (2016). Effects and feasibility of exercise therapy combined with branched-chain amino acid supplementation on muscle strengthening in frail and pre-frail elderly people requiring long-term care: a crossover trial. *Appl Physiol Nutr Metab*, *41*(4), 438-445. doi:10.1139/apnm-2015-0436
- Jadczak, A. D., Makwana, N., Luscombe-Marsh, N., Visvanathan, R., & Schultz, T. J. (2018). Effectiveness of exercise interventions on physical function in community-dwelling frail older people: an umbrella review of systematic reviews. *JBI Database System Rev Implement Rep*, *16*(3), 752-775. doi:10.11124/jbisrir-2017-003551
- Janssen, I., Heymsfield, S. B., & Ross, R. (2002). Low relative skeletal muscle mass (sarcopenia) in older persons is associated with functional impairment and physical disability. *J Am Geriatr Soc*, *50*(5), 889-896. doi:10.1046/j.1532-5415.2002.50216.x
- Joint, F. A. O. W. H. O. U. N. U. E. C. o. P., Amino Acid Requirements in Human, N., Food, Agriculture Organization of the United, N., World Health, O., & United Nations, U. (2007). Protein and amino acid requirements in human nutrition : report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. In. Geneva: World Health Organization.
- Jones, T. E., Stephenson, K. W., King, J. G., Knight, K. R., Marshall, T. L., & Scott, W. B. (2009). Sarcopenia--mechanisms and treatments. *J Geriatr Phys Ther*, *32*(2), 83-89.
- Joseph, C., Kenny, A. M., Taxel, P., Lorenzo, J. A., Duque, G., & Kuchel, G. A. (2005). Role of endocrine-immune dysregulation in osteoporosis, sarcopenia, frailty and fracture risk. *Mol Aspects Med*, *26*(3), 181-201. doi:10.1016/j.mam.2005.01.004
- Kim, H., Suzuki, T., Saito, K., Kojima, N., Hosoi, E., & Yoshida, H. (2016). Long-term effects of exercise and amino acid supplementation on muscle mass, physical function and falls in community-dwelling elderly Japanese sarcopenic women: A 4-year follow-up study. *Geriatr Gerontol Int*, *16*(2), 175-181. doi:10.1111/ggi.12448
- Kim, H. K., Suzuki, T., Saito, K., Yoshida, H., Kobayashi, H., Kato, H., et al. (2012). Effects of exercise and amino acid supplementation on body composition and physical function in community-dwelling elderly Japanese sarcopenic women: a randomized controlled trial. *J Am Geriatr Soc*, *60*(1), 16-23. doi:10.1111/j.1532-5415.2011.03776.x
- Kimball, S., & Jefferson, L. (2006). New functions for amino acids: Effects on gene transcription and translation. *The American journal of clinical nutrition*, *83*, 500S-507S. doi:10.1093/ajcn/83.2.500S

- Kosek, D. J., Kim, J. S., Petrella, J. K., Cross, J. M., & Bamman, M. M. (2006). Efficacy of 3 days/wk resistance training on myofiber hypertrophy and myogenic mechanisms in young vs. older adults. *J Appl Physiol (1985)*, *101*(2), 531-544. doi:10.1152/jappphysiol.01474.2005
- Koster, A., Ding, J., Stenholm, S., Caserotti, P., Houston, D. K., Nicklas, B. J., et al. (2011). Does the amount of fat mass predict age-related loss of lean mass, muscle strength, and muscle quality in older adults? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, *66*(8), 888-895. doi:10.1093/gerona/glr070
- Kumar, V., Atherton, P., Smith, K., & Rennie, M. J. (2009). Human muscle protein synthesis and breakdown during and after exercise. *J Appl Physiol (1985)*, *106*(6), 2026-2039. doi:10.1152/jappphysiol.91481.2008
- Kyle, U. G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A. D., Deurenberg, P., Elia, M., Manuel Gomez, J., et al. (2004). Bioelectrical impedance analysis-part II: utilization in clinical practice. *Clin Nutr*, *23*(6), 1430-1453. doi:10.1016/j.clnu.2004.09.012
- Landi, F., Calvani, R., Cesari, M., Tosato, M., Martone, A. M., Bernabei, R., et al. (2015). Sarcopenia as the Biological Substrate of Physical Frailty. *Clinics in Geriatric Medicine*, *31*(3), 367-374. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cger.2015.04.005>
- Landi, F., Calvani, R., Tosato, M., Martone, A. M., Ortolani, E., Saveria, G., et al. (2016). Protein Intake and Muscle Health in Old Age: From Biological Plausibility to Clinical Evidence. *Nutrients*, *8*(5). doi:10.3390/nu8050295
- Landi, F., Marzetti, E., Martone, A., Bernabei, R., & Onder, G. (2014). Exercise as a remedy for sarcopenia. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*, *17*, 25-31. doi:10.1097/MCO.0000000000000018
- Lang, T., Streeper, T., Cawthon, P., Baldwin, K., Taaffe, D. R., & Harris, T. B. (2010). Sarcopenia: etiology, clinical consequences, intervention, and assessment. *Osteoporos Int*, *21*(4), 543-559. doi:10.1007/s00198-009-1059-y
- Lemon, P. W., Berardi, J. M., & Noreen, E. E. (2002). The role of protein and amino acid supplements in the athlete's diet: does type or timing of ingestion matter? *Curr Sports Med Rep*, *1*(4), 214-221. doi:10.1249/00149619-200208000-00005
- Li, M., & Liu, F. (2019). Effect of whey protein supplementation during resistance training sessions on body mass and muscular strength: A meta-analysis. *Food & Function*, *10*. doi:10.1039/C9FO00182D
- Liao, C. D., Chen, H. C., Huang, S. W., & Liou, T. H. (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*(8), 23. doi:10.3390/nu11081713
- Liao, C. D., Lee, P. H., Hsiao, D. J., Huang, S. W., Tsauo, J. Y., Chen, H. C., et al. (2018). Effects of Protein Supplementation Combined with Exercise Intervention on Frailty Indices, Body Composition, and Physical Function in Frail Older Adults. *Nutrients*, *10*(12). doi:10.3390/nu10121916
- Ling, S. M., Conwit, R. A., Ferrucci, L., & Metter, E. J. (2009). Age-associated changes in motor unit physiology: observations from the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Arch Phys Med Rehabil*, *90*(7), 1237-1240. doi:10.1016/j.apmr.2008.09.565
- Macklai, N. S., Spagnoli, J., Junod, J., & Santos-Eggimann, B. (2013). Prospective association of the SHARE-operationalized frailty phenotype with adverse health outcomes: evidence from 60+ community-dwelling Europeans living in 11 countries. *BMC Geriatr*, *13*, 3. doi:10.1186/1471-2318-13-3

- Malafarina, V., Uriz-Otano, F., Iniesta, R., & Gil-Guerrero, L. (2012). Sarcopenia in the elderly: diagnosis, physiopathology and treatment. *Maturitas*, 71(2), 109-114. doi:10.1016/j.maturitas.2011.11.012
- Malafarina, V., Uriz-Otano, F., Iniesta, R., & Gil-Guerrero, L. (2013). Effectiveness of nutritional supplementation on muscle mass in treatment of sarcopenia in old age: a systematic review. *J Am Med Dir Assoc*, 14(1), 10-17. doi:10.1016/j.jamda.2012.08.001
- Malmstrom, T. K., Miller, D. K., Simonsick, E. M., Ferrucci, L., & Morley, J. E. (2016). SARC-F: a symptom score to predict persons with sarcopenia at risk for poor functional outcomes. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 7(1), 28-36. doi:10.1002/jcsm.12048
- Maltais, M. L., Ladouceur, J. P., & Dionne, I. J. (2016). The Effect of Resistance Training and Different Sources of Postexercise Protein Supplementation on Muscle Mass and Physical Capacity in Sarcopenic Elderly Men. *J Strength Cond Res*, 30(6), 1680-1687. doi:10.1519/jsc.0000000000001255
- Manfredi, G., Midao, L., Paul, C., Cena, C., Duarte, M., & Costa, E. (2019). Prevalence of frailty status among the European elderly population: Findings from the Survey of Health, Aging and Retirement in Europe. *Geriatr Gerontol Int*, 19(8), 723-729. doi:10.1111/ggi.13689
- Mareschal, J., Achamrah, N., Norman, K., & Genton, L. (2019). Clinical Value of Muscle Mass Assessment in Clinical Conditions Associated with Malnutrition. *Journal of clinical medicine*, 8(7), 1040. doi:10.3390/jcm8071040
- Martin, H. J., Syddall, H. E., Dennison, E. M., Cooper, C., & Sayer, A. A. (2009). Physical performance and physical activity in older people: are developmental influences important? *Gerontology*, 55(2), 186-193. doi:10.1159/000174823
- McGregor, R. A., Cameron-Smith, D., & Poppitt, S. D. (2014). It is not just muscle mass: a review of muscle quality, composition and metabolism during ageing as determinants of muscle function and mobility in later life. *Longevity & healthspan*, 3(1), 9-9. doi:10.1186/2046-2395-3-9
- Morley, J. E., Abbatecola, A. M., Argiles, J. M., Baracos, V., Bauer, J., Bhasin, S., et al. (2011). Sarcopenia with limited mobility: an international consensus. *J Am Med Dir Assoc*, 12(6), 403-409. doi:10.1016/j.jamda.2011.04.014
- Morley, J. E., Anker, S. D., & von Haehling, S. (2014). Prevalence, incidence, and clinical impact of sarcopenia: facts, numbers, and epidemiology-update 2014. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 5(4), 253-259. doi:10.1007/s13539-014-0161-y
- Morley, J. E., Anker, S. D., & von Haehling, S. (2014). Prevalence, incidence, and clinical impact of sarcopenia: facts, numbers, and epidemiology-update 2014. *Journal of cachexia, sarcopenia and muscle*, 5(4), 253-259. doi:10.1007/s13539-014-0161-y
- Morley, J. E., Vellas, B., van Kan, G. A., Anker, S. D., Bauer, J. M., Bernabei, R., et al. (2013). Frailty consensus: a call to action. *Journal of the American Medical Directors Association*, 14(6), 392-397. doi:10.1016/j.jamda.2013.03.022
- Morton, R. W., Traylor, D. A., Weijs, P. J. M., & Phillips, S. M. (2018). Defining anabolic resistance: implications for delivery of clinical care nutrition. *Curr Opin Crit Care*, 24(2), 124-130. doi:10.1097/mcc.0000000000000488
- Muscaritoli, M., Anker, S. D., Argiles, J., Aversa, Z., Bauer, J. M., Biolo, G., et al. (2010). Consensus definition of sarcopenia, cachexia and pre-cachexia: joint document elaborated by Special Interest Groups (SIG) "cachexia-anorexia in chronic wasting diseases" and "nutrition in geriatrics". *Clin Nutr*, 29(2), 154-159. doi:10.1016/j.clnu.2009.12.004

- Nair, K. S., & Short, K. R. (2005). Hormonal and signaling role of branched-chain amino acids. *J Nutr*, 135(6 Suppl), 1547s-1552s. doi:10.1093/jn/135.6.1547S
- Nascimento, C. M., Ingles, M., Salvador-Pascual, A., Cominetti, M. R., Gomez-Cabrera, M. C., & Viña, J. (2019). Sarcopenia, frailty and their prevention by exercise. *Free Radical Biology and Medicine*, 132, 42-49. doi:<https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.08.035>
- Paddon-Jones, D., Sheffield-Moore, M., Zhang, X.-J., Volpi, E., Wolf, S., Aarsland, A., et al. (2004). Amino acid ingestion improves muscle protein synthesis in the young and elderly. *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism*, 286, E321-328. doi:10.1152/ajpendo.00368.2003
- Pedroso, J. A., Zampieri, T. T., & Donato, J., Jr. (2015). Reviewing the Effects of L-Leucine Supplementation in the Regulation of Food Intake, Energy Balance, and Glucose Homeostasis. *Nutrients*, 7(5), 3914-3937. doi:10.3390/nu7053914
- Peel, N., Kuys, S., & Klein, K. (2012). Gait Speed as a Measure in Geriatric Assessment in Clinical Settings: A Systematic Review. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 68. doi:10.1093/gerona/gls174
- Phillips, S. M. (2015). Nutritional Supplements in Support of Resistance Exercise to Counter Age-Related Sarcopenia. *Advances in Nutrition*, 6(4), 452-460. doi:10.3945/an.115.008367
- Phu, S., Boersma, D., & Duque, G. (2015). Exercise and Sarcopenia. *J Clin Densitom*, 18(4), 488-492. doi:10.1016/j.jocd.2015.04.011
- Pialoux, T., Goyard, J., & Lesourd, B. (2012). Screening tools for frailty in primary health care: a systematic review. *Geriatr Gerontol Int*, 12(2), 189-197. doi:10.1111/j.1447-0594.2011.00797.x
- Reeds, P. J., Burrin, D. G., Stoll, B., & van Goudoever, J. B. (2000). Role of the gut in the amino acid economy of the host. *Nestle Nutr Workshop Ser Clin Perform Programme*, 3, 25-40; discussion 40-26. doi:10.1159/000061799
- Rikli, R. E., & Jones, C. J. (2013). Development and validation of criterion-referenced clinically relevant fitness standards for maintaining physical independence in later years. *Gerontologist*, 53(2), 255-267. doi:10.1093/geront/gns071
- Roberts, H., Denison, H., Martin, H., Patel, H., Syddall, H., Cooper, C., et al. (2011). A review of the measurement of grip strength in clinical and epidemiological studies: Towards a standardised approach. *Age and ageing*, 40, 423-429. doi:10.1093/ageing/afr051
- Rockwood, K. (2005). Frailty and its definition: a worthy challenge. *J Am Geriatr Soc*, 53(6), 1069-1070. doi:10.1111/j.1532-5415.2005.53312.x
- Romero-Ortuno, R., Fouweather, T., & Jagger, C. (2014). Cross-national disparities in sex differences in life expectancy with and without frailty. *Age Ageing*, 43(2), 222-228. doi:10.1093/ageing/aft115
- Rondanelli, M., Klersy, C., Terracol, G., Talluri, J., Maugeri, R., Guido, D., et al. (2016). Whey protein, amino acids, and vitamin D supplementation with physical activity increases fat-free mass and strength, functionality, and quality of life and decreases inflammation in sarcopenic elderly. *Am J Clin Nutr*, 103(3), 830-840. doi:10.3945/ajcn.115.113357
- Rosenberg, I. H. (1997). Sarcopenia: origins and clinical relevance. *J Nutr*, 127(5 Suppl), 990s-991s. doi:10.1093/jn/127.5.990S
- Saka, B., Ozkaya, H., Karisik, E., Akin, S., Akpinar, T. S., Tufan, F., et al. (2016). Malnutrition and sarcopenia are associated with increased mortality rate in nursing

- home residents: A prospective study. *European Geriatric Medicine*, 7(3), 232-238. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eurger.2015.12.010>
- Schaap, L. A., Koster, A., & Visser, M. (2013). Adiposity, muscle mass, and muscle strength in relation to functional decline in older persons. *Epidemiol Rev*, 35, 51-65. doi:10.1093/epirev/mxs006
- Schoenfeld, B. (2013). Is There a Minimum Intensity Threshold for Resistance Training-Induced Hypertrophic Adaptations? *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 43. doi:10.1007/s40279-013-0088-z
- Schoenfeld, B., Aragon, A., & Krieger, J. (2013). The effect of protein timing on muscle strength and hypertrophy: A meta-analysis. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 10, 53. doi:10.1186/1550-2783-10-53
- Schoenfeld, B., Grgic, J., Ogborn, D., & Krieger, J. (2017). Strength and hypertrophy adaptations between low- versus high-load resistance training: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31. doi:10.1519/JSC.0000000000002200
- Schoenfeld, B. J., Wilson, J. M., Lowery, R. P., & Krieger, J. W. (2016). Muscular adaptations in low- versus high-load resistance training: A meta-analysis. *European Journal of Sport Science*, 16(1), 1-10. doi:10.1080/17461391.2014.989922
- Segal, N. A., Williams, G. N., Davis, M. C., Wallace, R. B., & Mikesky, A. E. (2015). Efficacy of blood flow-restricted, low-load resistance training in women with risk factors for symptomatic knee osteoarthritis. *Pm r*, 7(4), 376-384. doi:10.1016/j.pmrj.2014.09.014
- Sieber, C. C. (2017). Frailty - From concept to clinical practice. *Exp Gerontol*, 87(Pt B), 160-167. doi:10.1016/j.exger.2016.05.004
- Statista. (2020). Altersstruktur in Österreich bis 2020. Zugriff am 23.03.2020 unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/217431/umfrage/altersstruktur-in-oesterreich/>
- Tang, J., & Phillips, S. (2009). Maximizing muscle protein anabolism: The role of protein quality. *Current opinion in clinical nutrition and metabolic care*, 12, 66-71. doi:10.1097/MCO.0b013e32831cef75
- Tang, J. E., & Phillips, S. M. (2009). Maximizing muscle protein anabolism: the role of protein quality. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 12(1), 66-71. doi:10.1097/MCO.0b013e32831cef75
- Taylor, D. (2014). Physical activity is medicine for older adults. *Postgrad Med J*, 90(1059), 26-32. doi:10.1136/postgradmedj-2012-131366
- Thalacker-Mercer, A. E., Fleet, J. C., Craig, B. A., & Campbell, W. W. (2010). The skeletal muscle transcript profile reflects accommodative responses to inadequate protein intake in younger and older males. *J Nutr Biochem*, 21(11), 1076-1082. doi:10.1016/j.jnutbio.2009.09.004
- Tieland, M., Dirks, M. L., van der Zwaluw, N., Verdijk, L. B., van de Rest, O., de Groot, L. C., et al. (2012). Protein supplementation increases muscle mass gain during prolonged resistance-type exercise training in frail elderly people: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *J Am Med Dir Assoc*, 13(8), 713-719. doi:10.1016/j.jamda.2012.05.020
- Tieland, M., van de Rest, O., Dirks, M. L., van der Zwaluw, N., Mensink, M., van Loon, L. J. C., et al. (2012). Protein Supplementation Improves Physical Performance in Frail Elderly People: A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial. *Journal of*

- the American Medical Directors Association*, 13(8), 720-726.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jamda.2012.07.005>
- Tipton, K. D., Elliott, T. A., Cree, M. G., Aarsland, A. A., Sanford, A. P., & Wolfe, R. R. (2007). Stimulation of net muscle protein synthesis by whey protein ingestion before and after exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 292(1), E71-76. doi:10.1152/ajpendo.00166.2006
- Tipton, K. D., Rasmussen, B. B., Miller, S. L., Wolf, S. E., Owens-Stovall, S. K., Petrini, B. E., et al. (2001). Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 281(2), E197-206. doi:10.1152/ajpendo.2001.281.2.E197
- VanSwearingen, J. M., & Studenski, S. A. (2014). Aging, motor skill, and the energy cost of walking: implications for the prevention and treatment of mobility decline in older persons. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 69(11), 1429-1436. doi:10.1093/gerona/glu153
- Varma, V. R., Hausdorff, J. M., Studenski, S. A., Rosano, C., Camicioli, R., Alexander, N. B., et al. (2016). Aging, the Central Nervous System, and Mobility in Older Adults: Interventions. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 71(11), 1451-1458. doi:10.1093/gerona/glw080
- Vellas, B., Fielding, R. A., Bens, C., Bernabei, R., Cawthon, P. M., Cederholm, T., et al. (2018). Implications of ICD-10 for Sarcopenia Clinical Practice and Clinical Trials: Report by the International Conference on Frailty and Sarcopenia Research Task Force. *J Frailty Aging*, 7(1), 2-9. doi:10.14283/jfa.2017.30
- Verreijen, A. M., Verlaan, S., Engberink, M. F., Swinkels, S., de Vogel-van den Bosch, J., & Weijts, P. J. (2015). A high whey protein-, leucine-, and vitamin D-enriched supplement preserves muscle mass during intentional weight loss in obese older adults: a double-blind randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr*, 101(2), 279-286. doi:10.3945/ajcn.114.090290
- Visser, M., Goodpaster, B. H., Kritchevsky, S. B., Newman, A. B., Nevitt, M., Rubin, S. M., et al. (2005). Muscle mass, muscle strength, and muscle fat infiltration as predictors of incident mobility limitations in well-functioning older persons. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 60(3), 324-333. doi:10.1093/gerona/60.3.324
- Visser, M., Pahor, M., Taaffe, D., Goodpaster, B., Simonsick, E., Newman, A., et al. (2002). Relationship of Interleukin-6 and Tumor Necrosis Factor- With Muscle Mass and Muscle Strength in Elderly Men and Women: The Health ABC Study. *The journals of gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, 57, M326-332. doi:10.1093/gerona/57.5.M326
- von Haehling, S., Morley, J. E., & Anker, S. D. (2012). From muscle wasting to sarcopenia and myopenia: update 2012. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 3(4), 213-217. doi:10.1007/s13539-012-0089-z
- Wang, J., Wu, Z., Li, D., Li, N., Dindot, S. V., Satterfield, M. C., et al. (2012). Nutrition, epigenetics, and metabolic syndrome. *Antioxid Redox Signal*, 17(2), 282-301. doi:10.1089/ars.2011.4381
- Wasay, M., Grisold, W., Carroll, W., & Shakir, R. (2016). World Brain Day 2016: celebrating brain health in an ageing population. *The Lancet Neurology*, 15, 1008. doi:10.1016/S1474-4422(16)30171-5
- Wernbom, M., Augustsson, J., & Thomee, R. (2007). The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports Med*, 37(3), 225-264. doi:10.2165/00007256-200737030-00004

- Wolfe, R. R., Miller, S. L., & Miller, K. B. (2008). Optimal protein intake in the elderly. *Clin Nutr*, 27(5), 675-684. doi:10.1016/j.clnu.2008.06.008
- Woods, J. L., Iuliano-Burns, S., King, S. J., Strauss, B. J., & Walker, K. Z. (2011). Poor physical function in elderly women in low-level aged care is related to muscle strength rather than to measures of sarcopenia. *Clin Interv Aging*, 6, 67-76. doi:10.2147/cia.S16979
- Wu, G. (2009). Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids*, 37(1), 1-17. doi:10.1007/s00726-009-0269-0
- Wu, G. (2013). *Amino acids: Biochemistry and nutrition*.
- Wu, G., Fanzo, J., Miller, D. D., Pingali, P., Post, M., Steiner, J. L., et al. (2014). Production and supply of high-quality food protein for human consumption: sustainability, challenges, and innovations. *Ann N Y Acad Sci*, 1321, 1-19. doi:10.1111/nyas.12500
- Yamada, H., Masuda, T., & Okada, M. (2002). Age-related EMG variables during maximum voluntary contraction. *Percept Mot Skills*, 95(1), 10-14. doi:10.2466/pms.2002.95.1.10
- Yamada, M., Kimura, Y., Ishiyama, D., Nishio, N., Otobe, Y., Tanaka, T., et al. (2019). Synergistic effect of bodyweight resistance exercise and protein supplementation on skeletal muscle in sarcopenic or dynapenic older adults. *Geriatr Gerontol Int*, 19(5), 429-437. doi:10.1111/ggi.13643
- Yazar, T., & Olgun Yazar, H. (2019). Prevalance of sarcopenia according to decade. *Clin Nutr ESPEN*, 29, 137-141. doi:10.1016/j.clnesp.2018.11.005
- Yue, G. H., Ranganathan, V. K., Siemionow, V., Liu, J. Z., & Sahgal, V. (1999). Older adults exhibit a reduced ability to fully activate their biceps brachii muscle. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 54(5), M249-253. doi:10.1093/gerona/54.5.m249
- Zdzieblik, D., Oesser, S., Baumstark, M. W., Gollhofer, A., & Konig, D. (2015). Collagen peptide supplementation in combination with resistance training improves body composition and increases muscle strength in elderly sarcopenic men: a randomised controlled trial. *Br J Nutr*, 114(8), 1237-1245. doi:10.1017/s0007114515002810
- Zhang, S., Zeng, X., Ren, M., Mao, X., & Qiao, S. (2017). Novel metabolic and physiological functions of branched chain amino acids: a review. *Journal of animal science and biotechnology*, 8, 10-10. doi:10.1186/s40104-016-0139-z

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Einteilung der proteinogene Aminosäuren .....	12
Abb. 2: Auswirkungen einer BCAA Supplementierung .....	13
Abb. 3: Algorithmus zur Fallfindung, Diagnose und Schweregradbestimmung der Sarkopenie in der Praxis .....	19
Abb. 4: Ursachen einer Sarkopenie .....	21
Abb. 5: Bevölkerungspyramide und Bevölkerungsprognose für Österreich .....	24
Abb. 6: Sarkopenie und Gebrechlichkeit .....	26
Abb. 7: Prävalenzraten der Vorstufe von Gebrechlichkeit in Europa und Israel .....	29
Abb. 8: Prävalenzraten von Gebrechlichkeit in Europa und Israel .....	30
Abb. 9: Messungen von Muskelmasse, Kraft und Funktion in Forschung und Praxis .....	31

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Unterschiedliche Arbeitsgruppen mit deren Definitionen von Sarkopenie und dem Bezug zur Muskelmasse.....	18
Tab. 2: Grenzwerte, die von der EWGSOP für eine Diagnose von Sarkopenie erstellt wurden .....	20
Tab. 3: Messungen von Muskelmasse, Kraft und Funktion in Forschung und Praxis.....	31
Tab. 4: Anwendbarkeit der vorhandenen Instrumente zur Beurteilung von Muskelmasse, Muskelkraft und funktioneller Leistungsfähigkeit in der Forschung, im klinischen Setting und in der Primärversorgung .....	33
Tab. 5: Protokolle zur Messung der Handgriffkraft .....	35
Tab. 6: Schwellenwerte der Gehgeschwindigkeit bei normalem Tempo und Risiko für unerwünschte Ergebnisse in der Literatur .....	37
Tab. 7: Punkteanzahl und Referenzwerte für die Tests der SPPB .....	38
Tab. 8: Zusammensetzung aller Aminosäuren der Supplementierung .....	44
Tab. 9: Vergleich der Ergebnisse zwischen Versuchs- und Placebogruppe.....	45
Tab. 10: Ergebnisse der BCAA Gruppe und der Kontrollgruppe .....	48
Tab. 11: Nährstoffzusammensetzung der Protein- und Placebo-Präparate.....	51
Tab. 12: Ergebnisse der körperlichen Leistungsfähigkeit.....	51
Tab. 13: Ergebnisse der Körperzusammensetzung .....	52
Tab. 14: Ergebnisse der körperlichen Leistungsfähigkeit.....	55
Tab. 15: Querschnittsfläche der zwei Gruppen nach den drei Untersuchungszeitpunkten .....	57
Tab. 16: Ergebnisse der Körperzusammensetzung, Muskelkraft und körperlicher Leistungsfähigkeit.....	58
Tab. 17 :Makronährstoffverteilung vor und nach der Supplementierung der Testpersonen....	60
Tab. 18: Ergebnisse der erhobenen Parameter der vier Gruppen.....	63
Tab. 19: Ergebnisse Dynapenie.....	64
Tab. 20: Ergebnisse der Körperzusammensetzung nach der Intervention .....	69
Tab. 21: Ergebnisse der Maximalkraft und körperlichen Leistungsfähigkeit vor und nach der Intervention.....	69

## Eidstaatliche 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.“

Wien, April 2020

Leeb Sebastian