

Università Cattolica del Sacro Cuore di Roma

Facoltà di Medicina e Chirurgia "A. Gemelli"

Universitäres Ausbildungszentrum für Gesundheitsberufe Bozen

Polo Universitario delle Professioni Sanitarie Bolzano

Claudiana

CORSO DI LAUREA IN DIETISTICA

LAUREATSSTUDIENGANG FÜR ERNÄHRUNGSTHERAPIE

TESI DI LAUREA

DIPLOMARBEIT

Interventi nutrizionali nella sarcopenia: effetto di proteine del siero, leucina, vitamina D e calcio su massa, forza e funzionalità muscolare.

Ernährungstherapeutische Ansätze bei Sarkopenie: Der Einfluss von Molkenprotein, Leucin, Vitamin D und Kalzium auf Muskelmasse, -kraft und -funktion.

Relatrice/Erstbetreuerin:

Dott.ssa mag. Monica Gasser

Correlatrice/Zweitbetreuerin:

Dr. med. Laura Valzolgher

Laureanda/Verfasserin der Diplomarbeit

Lhea Vanessa Calliari

Anno Accademico/Akademisches Jahr 2024/2025

Università Cattolica del Sacro Cuore di Roma

Facoltà di Medicina e Chirurgia "A. Gemelli"

Universitäres Ausbildungszentrum für Gesundheitsberufe Bozen

Polo Universitario delle Professioni Sanitarie Bolzano

Claudiana

CORSO DI LAUREA IN DIETISTICA

LAUREATSSTUDIENGANG FÜR ERNÄHRUNGSTHERAPIE

TESI DI LAUREA

DIPLOMARBEIT

Interventi nutrizionali nella sarcopenia: effetto di proteine del siero, leucina, vitamina D e calcio su massa, forza e funzionalità muscolare.

Ernährungstherapeutische Ansätze bei Sarkopenie: Der Einfluss von Molkenprotein, Leucin, Vitamin D und Kalzium auf Muskelmasse, -kraft und -funktion.

Relatrice/Erstbetreuerin:

Dott.ssa mag. Monica Gasser

Correlatrice/Zweitbetreuerin:

Dr. med. Laura Valzolgher

Laureanda/Verfasserin der Diplomarbeit

Lhea Vanessa Calliari

Anno Accademico/Akademisches Jahr 2024/2025

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	1
Abstract.....	2
Einleitung	4
Problemstellung und Relevanz	4
Aufbau und Zielsetzung der Arbeit	5
1. Sarkopenie und Ernährung.....	7
1.1 Sarkopenie: Einführung	7
1.2 Sarkopene Adipositas (SO)	14
1.3 Zusammenhang zwischen Sarkopenie und Ernährung	16
1.4 Körperliche Aktivität.....	18
2. Methode der Literaturrecherche	20
2.1 Fragestellung	20
2.2 Methodische Vorgehensweise: Suchstrategie, Ein- und Ausschlusskriterien, Auswahl der Studien.....	20
3. Ergebnisse	21
3.1 Bedeutung der Ernährung für den Erhalt der Muskelmasse, -kraft und -funktion.....	22
3.2 Rolle von Whey Protein, Leucin, Vitamin D und Kalzium bei Sarkopenie	25
3.3 Evidenzbasierte Ernährungsempfehlungen und Rolle der Ernährungstherapie in der Sarkopenie-Behandlung	30

4. Diskussion.....	34
5. Fazit und Schlussfolgerung	38
5.1 Implikation für die Ernährungstherapie	39
5.2 Aussicht auf zukünftige Forschung	41
Literaturverzeichnis	42
Anhang	49
Danksagung.....	52

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Diagnosealgorithmus gemäß revidierter europäischer Sarkopenie-Konsensusdefinition.....	7
Abbildung 2 Sarkopenie Fragebogen SARC-F, deutsche Version	8

Abstract

Hintergrund: Sarkopenie ist eine altersbedingte Erkrankung mit Verlust von Muskelmasse, -kraft und -funktion und erhöhtem Risiko für Morbidität und Mortalität. Unzureichende Nährstoffversorgung und reduzierte körperliche Aktivität fördern die Entwicklung und Progression.

Ziel: Untersuchung der Effekte einer gezielten Nährstoffversorgung mit Molkenprotein (Whey), der essenziellen Aminosäure Leucin, Vitamin D und Kalzium auf Muskelmasse, -kraft und -funktion bei Sarkopenie.

Methodik: Es wurde eine systematische Literaturrecherche zu Studien der letzten 15 Jahre in englischer, deutscher und italienischer Sprache durchgeführt. Eingeschlossen wurden Studien zu ernährungstherapeutischen Interventionen mit oder ohne begleitendes Trainingsprogramm.

Ergebnisse: Die Evidenz zeigt, dass eine kombinierte Supplementation (Whey, Leucin, Vitamin D \pm Kalzium) zusammen mit körperlicher Aktivität die Muskelkraft, -masse und -funktion verbessert. Die appendikuläre Muskelmasse stieg sowohl mit als auch ohne zusätzliches Training; Verbesserungen von Handkraft und Gehgeschwindigkeit traten jedoch überwiegend nur in Kombination mit Trainingsprogrammen auf. Isolierte Leucin-Supplementation führte nicht zu signifikanten Effekten auf die Muskelparameter. Praktische Empfehlungen umfassen eine Energiezufuhr von 25–30 kcal/kg KG, eine Proteinzufuhr von 1,2–1,5 g/kg KG, bevorzugt hochwertige, schnell verdauliche Whey-Proteine, 3 g Leucin pro Tag zur Stimulation der Muskelproteinsynthese sowie bedarfsgerechte Vitamin-D- und Mikronährstoffversorgung.

Diskussion: Sarkopenie erfordert einen multimodalen Therapieansatz. Ernährungstherapie mit gezielter Nährstoffzufuhr ist ein zentraler Baustein und sollte individuell sowie alltagsgerecht umgesetzt werden.

Keywords:

Sarcopenia, nutrition therapy, whey protein, leucin, vitamin D, calcium, muscle mass, muscle strenghts, muscle function, exercise

Einleitung

Problemstellung und Relevanz

Sarkopenie, definiert als ein fortschreitender Verlust an Muskelmasse, -kraft und körperlicher Funktion (Chang, Choo, 2023), stellt eine wachsende Herausforderung in der Geriatrie dar (Cereda et al., 2022). Epidemiologische Daten zeigen, dass Sarkopenie immer häufiger auftritt und in den kommenden Jahren weiter zunehmen wird. Eine Metaanalyse aus dem Jahr 2022 mit über 58.000 Teilnehmer*innen ergab, dass etwa 10% der Menschen über 60 Jahre betroffen sind. Ab diesem Alter nimmt die Muskelmasse jedes Jahr um etwa 3%, die Handkraft um 1,9 bis 5 % und die Gehgeschwindigkeit um 2 bis 2,3% ab (Yufei Guo et al., 2022). Der progressive Abbau von Muskelmasse und -kraft erhöht die Gefahr für Stürze, Frakturen und Gebrechlichkeit erheblich (Bo et al., 2018). Zudem sind funktionelle Einschränkungen (Lin et al., 2020; Bauer et al., 2015) sowie eine spürbare Minderung der Lebensqualität (Chang, Choo, 2023) häufig als Folge zu beobachten. Mit Blick auf eine stetig alternde Gesellschaft und die steigende Lebenserwartung gewinnt die Sarkopenie zunehmend an Bedeutung, da immer mehr ältere Menschen mit den Auswirkungen konfrontiert sind. Dadurch steigt die Prävalenz für altersbedingte Erkrankungen, funktionelle Einschränkungen und Verlust an Selbstständigkeit. Wiederum erhöht sich somit der Bedarf an Pflege und Sanitätskosten (Cereda et al., 2022). Aus diesen Gründen ist die Prävention und Therapie von altersbedingten Erkrankungen wie Sarkopenie von großer Bedeutung, da sie dazu beitragen, die damit verbundenen negativen Folgen zu verringern und die Lebensqualität im Alter beizubehalten.

Die Pathomechanismen für Sarkopenie sind multifaktoriellen Ursprungs. Sie beziehen sich auf den physiologischen Alterungsprozess als primären Faktor und können sekundär bei körperlicher Inaktivität, Mangelernährung, Veränderungen im endokrinologischen Bereich, chronischen Erkrankungen, Genetik und Adipositas auftreten (Bo et al., 2018). Zu einem der wichtigsten Ursachen gehört die Malnutrition im fortgeschrittenen Alter. Vor allem eine unzureichende Aufnahme von hochwertigen Proteinen, essenziellen

Aminosäuren und Vitaminen ist ein Risikofaktor, der zu Sarkopenie führen kann. Von großer Bedeutung ist die Forschung zu effektiven Interventionen, die einerseits der Prävention von Sarkopenie dienen und andererseits den Verlauf abmildern. Vor allem ernährungstherapeutische Behandlungsansätze, die auf eine geplante Aufnahme von essenziellen Nährstoffen konzentriert sind, rücken immer mehr in den Vordergrund. Das Molkenprotein, auch Whey-Protein genannt, ist hierbei eine wichtige Quelle, da es reich an der essenziellen Aminosäure Leucin ist und durch eine schnelle Verdauung und Metabolisierung gekennzeichnet ist (Cereda et al., 2022). Für die Muskelsynthese spielt Leucin eine zentrale Rolle (Guo et al., 2022). Vitamin D und Kalzium werden in der Wissenschaft eine wesentliche Funktion für die Erhaltung der Muskelkraft und -funktion zugeschrieben (Bauer et. al. 2015). Eine Kombination aus diesen Nährstoffen gilt als ein potenziell erfolgreicher Behandlungsansatz für den Erhalt der Muskelfunktion, weil diese synergistisch wirkt, die Proteinsynthese anregt, den Abbau verlangsamen und somit die Masse, Kraft sowie die körperliche Leistungsfähigkeit signifikant beeinflussen kann. Die aktuelle Datenlage zeigt, dass eine gezielte Supplementierung mit diesen Nährstoffen positive Effekte bei geriatrischen Patienten mit Sarkopenie haben kann. (Cereda et al., 2022).

Aufbau und Zielsetzung der Arbeit

Die vorliegende Bachelorarbeit beschäftigt sich zunächst mit den grundlegenden theoretischen Aspekten der Sarkopenie. Es werden verschiedene Definitionen, diagnostische Verfahren, Ursachen und Risikofaktoren aufgezeigt. Ein besonderer Teil widmet sich der sarkopenen Adipositas. Daraufhin erfolgt eine detaillierte Beschreibung des aktuellen Forschungsstandes zur Ernährung bei Sarkopenie, wobei der Schwerpunkt auf den Nährstoffen Molkenprotein (Whey), Leucin, Vitamin D und Kalzium liegt. Zudem wird die Bedeutung von körperlicher Aktivität im Zusammenhang mit der ernährungstherapeutischen Behandlung erläutert.

Das Ziel dieser Arbeit ist, die therapeutischen Effekte der genannten Nährstoffe bei der Behandlung und Prävention von Sarkopenie hervorzuheben

und die aktuelle wissenschaftliche Evidenz kritisch zu bewerten. Dabei liegt ein besonderes Augenmerk auf der Bedeutung einer individuell angepassten Ernährungstherapie. Abschließend werden die gewonnenen Erkenntnisse für die praktische Umsetzung aufbereitet und als Grundlage für zukünftige Forschungsansätze dargestellt.

1. Sarkopenie und Ernährung

1.1 Sarkopenie: Einführung

Der Begriff „Sarkopenie“ leitet sich von den griechischen Wörtern „sarx“ (Fleisch) und „penia“ (Mangel) ab (Vogele, Otto & Sollmann, 2023). Er wurde erstmals 1989 von Irvin Rosenberg als „altersbedingter Mangel an Muskelmasse“ beschrieben (Santilli et al., 2014) und stellt die erste offiziell vermerkte Definition dar. 2010 erweiterte die „European Working Group on Sarcopenia in Older People (EWGSOP)“ diese Definition um die Einschränkung der Muskelfunktion bzw. der körperlichen Leistungsfähigkeit (EWGSOP, 2010). Acht Jahre später aktualisierte die Arbeitsgruppe ihre Begriffserklärung. Als ersten Diagnoseschritt führten sie die Messung der Muskelkraft ein, die reduzierte Muskelmasse bestätigte die Diagnose, und die verringerte körperliche Funktion dient seither als Indikator für den Schweregrad der Sarkopenie (EWGSOP, 2018/2019).

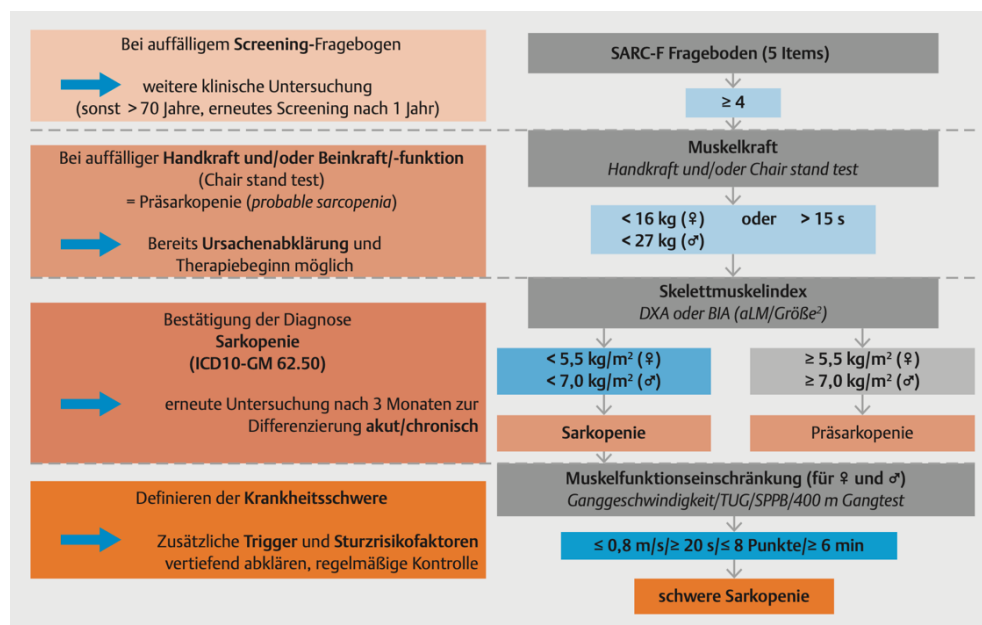


Abbildung 1

Diagnosealgorithmus gemäß revidierter europäischer Sarkopenie-Konsensusdefinition Aus „Die aktuelle Sarkopenie-Definition“ von U. Ferrari & M. Drey, *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 145(20), 1315–1319, 2020. Copyright © 2020 Georg Thieme Verlag KG.

Die Abbildung (Abb.1) der EWGSOP 2018 zeigt anhand eines vierstufigen Algorithmus die einzelnen Schritte bis zu der Diagnosestellung: Durch Fragebögen wie SARC-F oder durch einen klinischen Verdacht wird die Diagnostik in die Wege geleitet. Folgende Tabelle (Abb.2) zeigt die deutsche Version des Sarkopenie Screening-Fragebogens. Bei einer Summe der erzielten Punkte von ≥ 4 besteht ein erhöhtes Risiko und es sollte eine weiterführende diagnostische Abklärung nach EWGSOP2 erfolgen.

Bereich	Frage	Antwort (Punktwert)
Kraft	Wie schwer fällt es Ihnen, ca. 5 kg ¹ zu heben und zu tragen?	<input type="checkbox"/> nicht schwer (0) <input type="checkbox"/> etwas schwer (1) <input type="checkbox"/> sehr schwer oder nicht möglich (2)
Gehen	Wie schwer fällt es Ihnen, auf Zimmerebene umher zu gehen?	<input type="checkbox"/> nicht schwer (0) <input type="checkbox"/> etwas schwer (1) <input type="checkbox"/> sehr schwer, benötige Hilfsmittel oder nicht möglich (2)
Aufstehen	Wie schwer fällt es Ihnen, vom Stuhl oder Bett aufzustehen?	<input type="checkbox"/> nicht schwer (0) <input type="checkbox"/> etwas schwer (1) <input type="checkbox"/> sehr schwer oder nicht möglich ohne Hilfe (2)
Treppensteigen	Wie schwer fällt es Ihnen, eine Treppe mit 10 Stufen zu steigen?	<input type="checkbox"/> nicht schwer (0) <input type="checkbox"/> etwas schwer (1) <input type="checkbox"/> sehr schwer oder nicht möglich (2)
Stürze	Wie oft sind Sie in den letzten 12 Monaten gestürzt?	<input type="checkbox"/> kein Sturz (0) <input type="checkbox"/> 1–3 Stürze (1) <input type="checkbox"/> 4 oder mehr Stürze (2)

Abbildung 2

Sarkopenie Fragebogen SARC-F, deutsche Versio, aus: SARC-F: A Simple Questionnaire to Rapidly Diagnose Sarcopenia Malmstrom, Theodore K. et al. Journal of the American Medical Directors Association, Volume 14, Issue 8, 531 - 532

Bei einem positiven Screening-Test Ergebnis (≥ 4 Punkte), wird im Assessment die Muskelkraft durch validierte Messmethoden wie „*Hand-Gripp-Test*“ und „*Chair-Rise-Test*“ gemessen. Die Handkraftmessung (*Hand-Gripp-Test*) erfolgt 3-mal bei jeder Hand, wobei der höchste Wert berücksichtigt wird. Als sogenannten „*cut-off*“-Wert gilt bei den Männern <27 kg und bei den Frauen <16 kg. Werden diese Grenzwerte unterschritten, spricht man von einer reduzierten Handkraft. Um die Kraft der Beine zu messen, wird der „*Chair-Rise-Test*“ durchgeführt. Bei dieser Messung sollen Patienten, ohne Hilfe der Arme, 5-mal aufstehen und wieder zurück in eine sitzende Position gehen. Bei

einer Dauer von >15 Sekunden gilt sowohl bei Männern als auch bei Frauen die Beinkraft als reduziert. Wenn die „cut off“-Werte bereits erzielt werden, sich die Muskelmasse aber noch nicht relevant verändert hat, spricht man von der Prä-Sarkopenie, auf Englisch „*probable sarcopenia*“, laut Sarkopenie-Konsensusdefinition. Hier ist bereits ein Therapiebeginn einzuleiten (Cruz-Jentoft, 2019). Liegen die Messwerte im normalen Bereich, wird im weiteren Verlauf erneut ein Screening durchgeführt. Bei positiven Grenzwerten ist eine Sarkopenie wahrscheinlich und es werden bereits erste Maßnahmen getroffen sowie eine individuelle Intervention für Patient*innen geplant und durchgeführt. Hierbei müssen Faktoren, die zu einem Verlust an Muskelkraft führen, wie beispielsweise Depression, Gleichgewichtsstörungen, Schlaganfall oder periphere Gefäßerkrankungen, ausgeschlossen werden. Im dritten Schritt, in der sogenannten „confirm“-Phase, also die Bestätigung der Diagnose, wird Muskelmasse bzw. -qualität anhand einer Dual-Energie-Röntgenabsorptiometrie (DXA), bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA), Computertomographie (CT) oder einer Magnetresonanztomographie (MRI oder MRT) festgestellt.

Eine Sarkopenie-Diagnose kann bestätigt werden, indem der sogenannte relative Skelettmuskelindex bestimmt wird (SMI). Dies erfolgt durch den errechneten Wert aus der appendikulären Magermasse (aLM) geteilt durch die Körpergröße zum Quadrat (kg/m^2). Zur Berechnung der aLM soll die Doppelröntgen-Absorptiometrie (DXA) oder die bioelektrische Impedanz-Analyse (BIA) herangezogen werden. Für die SMI werden Grenzwerten von $7,0 \text{ kg/m}^2$ bei Männern und $5,5 \text{ kg/m}^2$ bei Frauen empfohlen. Unter diesem Wert liegt eine Sarkopenie vor, bei größeren oder gleichen Werten eine Prä-Sarkopenie (Sergi et al., 2015).

Bei positiver Sarkopenie-Diagnose erfolgt die Einschätzung des Schweregrades der Erkrankung. Dieser wird anhand der physischen Leistungsfähigkeit bewertet. Dies erfolgt durch standardisierte Verfahren wie den 4-Meter-Gehtest, den „Timed-Up-and-Go (TUG)“ und die „Short-Physical-Performance-Battery (SPPB)“. Auch hier gelten erniedrigte Werte als Indikator

für eine schwere Sarkopenie (Cruz-Jentoft AJ et al., 2019). Im folgenden Teil werden die Testverfahren dargestellt:

4-Meter-Gehtest:

Bei diesem Verfahren muss der Patient vier Meter gehen. Er hat zwei Versuche, wobei die schnellere Zeit zur Beurteilung verwendet wird. Die Geschwindigkeit wird in Meter pro Sekunde (m/s) berechnet. Laut EWGSOP2 liegt eine schwerwiegende Sarkopenie bei einem Wert von $\leq 0,8$ m/s vor (Cruz-Jentoft et al., 2019).

Timed-Up-and-Go-Test (TUG):

Hierbei soll der Patient von einem Stuhl aufstehen, drei Meter gehen, sich umdrehen, zurück gehen und sich wieder auf den Stuhl setzen. Bei einer gemessenen Zeit von ≥ 20 Sekunden wird auf eine eingeschränkte Mobilität und schwerere Sarkopenie hingewiesen (Podsiadlo & Richardson, 1991).

Short Physical Performance Battery (SPPB):

Einen weiteren möglichen Test bietet die SPPB, wobei drei Verfahren kombiniert werden: Der 4- Meter Gehtest, Gleichgewichtstest und zuletzt der „*Chair-Rise-Test*“ (mehrmals aus sitzender Position aufstehen). Bei jedem einzelnen Test können vier Punkte vergeben werden, wobei die Punktezahl je nach Qualität der Leistung variiert. Es werden 0 Punkte vergeben, wenn der Test nicht durchgeführt werden kann. Das Gesamtergebnis gibt Auskunft über die körperliche Leistungsfähigkeit (Ferrari und Drey, 2020).

Durch das einheitliche Diagnoseverfahren kann Sarkopenie frühzeitig erkannt und korrekt eingestuft werden, sodass gezielte und strukturierte Therapien erfolgreich durchgeführt werden können. Das von der „*European Working Group on Sarcopenia in Older People (EWGSOP2)*“ entwickelte Prozessdiagramm („*flowchart*“) (siehe Abb.1) liegt auch in deutscher Übersetzung vor und stellt ein übersichtliches und praxisnahes Instrument für den klinischen Alltag dar. Es ermöglicht eine übersichtliche und standardisierte

Einschätzung der Krankheit. Dabei wird sichergestellt, dass Sarkopenie nicht mehr als normale Alterserscheinung gesehen wird, sondern als eigenständige Erkrankung mit gesundheitlichen Folgen. Dadurch sind eine gezielte Abklärung und Behandlung möglich.

Sarkopenie ist seit dem Jahr 2016 als eine Diagnose in der internationalen Klassifikation der Pathologien (ICD-10) mit dem Code M62.84 anerkannt (World Health Organisation, 2016). Dadurch werden eine standardisierte Dokumentation ermöglicht, epidemiologische Erfassungen und Qualitätsmanagement gefördert, Vergütungen und Abrechnungen vereinfacht und vertiefte Forschung bzw. Leitlinienentwicklung ermöglicht. Zudem werden somit die Wichtigkeit und Wahrnehmung im Gesundheitswesen für die Erkrankung gestärkt, was wiederum die Prävention und Screening-Maßnahmen erleichtert (WHO, 2016).

Im Jahre 2023 arbeiteten verschiedene internationale Experten zusammen und erstellen die „*Global Leadership Initiative in Sarcopenia (GLIS)*“. Zusammen erarbeiteten sie den ersten konzeptuellen globalen Konsens zur Definition von Sarkopenie. Ziel war es, eine einheitliche Definition zu schaffen und eine weltweit geltende Klassifizierung zu erarbeiten, die als Goldstandard zählt (Cruz-Jentoft et al., 2023). Derzeit beziehen sich zahlreiche Forschungsarbeiten auf diesen Konsens. Grundlage hierfür bildet eine durchgeführte „Delphi Studie“ über Sarkopenie. Dabei handelt es sich um ein anerkanntes Verfahren, bei welchem Expert*innen zu wissenschaftlichen Themen befragt wurden und ihre Zustimmung abgaben. Es nahmen 107 Experten aus 29 verschiedenen Ländern teil. Die Kernaussagen erhielten im Durchschnitt einen >80% Konsens.

Im folgenden Teil werden die wichtigsten Punkte der „Delphi-Studie“ zusammengefasst:

- Sarkopenie ist eine generalisierte Erkrankung der Skelettmuskulatur.
- Die Prävalenz der Sarkopenie steigt mit dem Alter an.
- Die konzeptionelle Definition der Sarkopenie sollte nicht je nach Versorgungssetting (z.B. stationär vs. ambulant) variieren.

- Die konzeptionelle Definition der Sarkopenie sollte nicht je nach Alter oder zugrundeliegenden Erkrankung (z.B. Herzinsuffizienz, Nierenerkrankung) variieren.
- Als Kernkomponenten der GLIS-Definition für Sarkopenie wurden folgende Punkte identifiziert (starker Konsens):
 - Muskelmasse (89,4% Konsens)
 - Muskelkraft (93,1% Konsens)
 - Muskelspezifische Kraft (80,8% Konsens)

Die GLIS beschreibt, dass die neu entwickelte Definition das Fundament für eine anwendbare, klinische und forschungsorientierte Operationalisierung bildet. Sie berücksichtigt dabei zentrale Kriterien wie Messgenauigkeit, Messfehler, die Verfügbarkeit geeigneter Geräte sowie Referenzwerte (Cruz-Jentoft et al., 2023). Vereinfacht ausgedrückt hilft die Entwicklung einer einheitlichen Definition im Klinik- und Forschungsalltag, indem sie standardisierte Messverfahren und klare Kriterien bereitstellt. So werden Diagnosen zuverlässig und präzise gestellt und individuelle Therapien sicher darauf abgestimmt. Die sich immer weiterentwickelnde Forschungslage und die stetig präzisierte Definition unterstreichen zudem die anhaltende Bedeutung dieses Forschungsgebiets. Zusammenfassend lässt sich daher sagen, dass sich der Fokus von der reinen Muskelmasse (1989) bis hin zur Muskelkraft (2010) stark abgewandelt hat. Die neue konzeptionelle Definition (GLIS, 2023) integriert Muskelmasse und -kraft als Kernmerkmale.

Aus den zahlreichen Untersuchungen hat sich schließlich eine einheitliche Klassifikation etabliert. Laut dem revidierten europäischen Konsens zur Definition und diagnostischen Vorgehensweise bei Sarkopenie (EWGSOP2) erfolgt die Einteilung der Sarkopenie auf Grundlage ihrer Ätiologie in zwei Hauptkategorien:

Primäre Sarkopenie

Als primäre Sarkopenie gilt die altersbedingte physiologische Reduktion von Muskulatur mit dementsprechender Abnahme von Muskelkraft und -funktion (Cruz-Jentoft et al. 2019). Vor allem im Alter nimmt die physiologische

Veränderung der Muskulatur durch eine Reduktion der Muskelproteinbiosynthese von bis zu 40% kontinuierlich zu (Tanganelli et al. 2020).

Sekundäre Sarkopenie

Eine sekundäre Sarkopenie wird infolge einer akuten oder chronischen Erkrankung diagnostiziert, beispielsweise im Rahmen der Onkologie, bei Organversagen oder in Bezug auf systemischen Pathologien. Zudem zählt körperliche Inaktivität, aufgrund eines bewegungsarmen Lebensstils oder infolge einer krankheitsbedingten Immobilität als Risikofaktor zur Entstehung der Erkrankung. Durch Folgen wie Bewegungsmangel, Inappetenz, Malabsorption, verminderte Fähigkeiten zur Nahrungsaufnahme usw. kann es zu Mangel an Energie und Nährstoffen kommen. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung von Sarkopenie (Cruz-Jentoft et al. 2019).

Eine weitere Klassifikation kann aufgrund des zeitlichen Verlaufes gemacht werden (Cruz-Jentoft et al. 2019):

Akute Sarkopenie:

Hierbei dauert die Erkrankung weniger als sechs Monate an und tritt gemeinsam mit einem akuten Ereignis auf.

Chronische Sarkopenie:

Die chronische Sarkopenie dauert mehr als sechs Monate an und hat ein höheres Sterberisiko.

Eine einheitliche Einteilung der Erkrankung ist für den klinischen Alltag von großer Bedeutung, um gezielte Behandlungsstrategien, angepasst an die jeweilige Situation, durchzuführen und um erfolgreiche Therapieverläufe zu erzielen. Eine wichtige Abstufung zur Sarkopenie bildet die sarkopene Adipositas.

1.2 Sarkopene Adipositas (SO)

Die sarkopene Adipositas bezeichnet eine spezifische Form von Adipositas, bei der ein erhöhter Anteil an Fettmasse gemeinsam mit dem Verlust an Muskelmasse, -kraft und -funktion auftritt (Donini et al., 2022). 2022 hat die Europäische Gesellschaft für Klinische Ernährung und Stoffwechsel (ESPEN) zusammen mit der Europäischen Assoziation für Adipositas (EASO) einen Konsensus veröffentlicht, der die Grundlage für dieses Kapitel bildet. Darin wird die sarkopene Adipositas wie folgt beschrieben: „*Sarcopenic obesity (SO) is a clinical and functional condition characterized by the coexistence of obesity, characterized by excess fat mass (FM), and sarcopenia. Sarcopenia, defined as low skeletal muscle mass and function, has been identified and described as a geriatric syndrome with a multifactorial aetiology whose prevalence increases with age.*“ (ESPEN, 2022; S. 322).

Daten zur Prävalenz zeigen, dass ältere Erwachsene am häufigsten unter SO leiden. Nichtsdestotrotz sind auch andere Altersklassen, wie Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene davon betroffen. Adipositas kann unabhängig vom Alter zu Verlust an Muskelmasse, -kraft und -funktion führen, weil sich fettgewebeabhängige Stoffwechselstörungen wie oxidativer Stress, Entzündungsprozesse und Insulinresistenz negativ auf die Muskulatur auswirken (Hong und Choi, 2020). Eine durchgeführte Stichprobenanalyse zeigt eine Prävalenz von circa 35 % bei Männern und 50 % bei Frauen (Poggiogalle et al., 2016).

ESPEN und EASO beschreiben folgende Risikofaktoren für das Auftreten der SO:

- Alter > 70 Jahre.
- Chronische Krankheiten wie Herzinsuffizienz, Nierenerkrankungen, Diabetes Mellitus Typ 2, Krebs, entzündliche Erkrankungen.
- Akute Krankheiten wie längere Krankenhausaufenthalte, große Operationen, reduzierte Nahrungsaufnahme.
- Stoffwechselveränderungen.

- Bewegungsarmer Lebensstil.
- Rasche Gewichtsreduktion infolge bariatrischer Chirurgie, Gewichtsschwankungen oder nicht korrekt durchgeführten Diäten, besonders bei nicht adäquater Menge an Proteinen pro Mahlzeit.
- Niedriger Vitamin D Spiegel.

Auch Entzündungen spielen eine wichtige Rolle im Entwicklungsprozess der Krankheit. Laut Studien sind bei Menschen mit einem hohen Teil an Körperfett die Entzündungswerte im Blut deutlich gesteigert. Wichtigste Marker sind hierbei das C-reaktive Protein (CRP) und Interleukin-6 (IL-6). Daraus lässt sich schließen, dass je mehr Fett eingelagert ist, desto stärker Entzündungen im Körper auftreten.

Entscheidend für die Diagnose ist das gleichzeitige Auftreten beider Erkrankungen, Sarkopenie und Adipositas, weil SO sich klinisch und therapeutisch von den einzeln betrachteten Krankheitsbildern unterscheidet.

ESPEN und EASO beschreiben eine sogenannte bidirektionale und pathogene Interaktion zwischen der angesammelten Körperfettmasse (FM) und dem Verlust an Muskelmasse und -funktion. Dieses Zusammenspiel verursacht ein erhöhtes Risiko für metabolische Erkrankungen und funktionelle Einschränkungen (ESPEN und EASO, 2022). Es ist ein phänotypisches Bild, dass Personen mit Adipositas trotz einer hohen Muskelmasse eine reduzierte Muskelqualität und -funktion besitzen. Grund dafür kann die sogenannte Myosteatose sein, eine pathologische Einlagerung von Fettgewebe im Muskel, was direkt mit verminderter Muskelkraft, Insulinresistenz, Diabetes Mellitus Typ 2 und eingeschränkter körperlicher Leistung korreliert, so Donini et al. (2022).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass SO negative gesundheitliche Folgen für die Betroffenen hat. Sie leiden an einem höheren Risiko für Gebrechlichkeit, Komorbiditäten, Morbidität und Mortalität. Dadurch ergeben sich eine deutliche Verschlechterung der Lebensqualität und erhöhte Kosten für das Gesundheitssystem. Aus diesem Grund ist ein frühzeitiges Erkennen durch Screeningverfahren, das Erstellen von Diagnosen und zielorientierte

Therapien von großer Bedeutung, um negative Auswirkungen zu vermeiden (Donini et al. 2022). Die SO stellt einen relevanten und eigenständigen Forschungsbereich dar. Sie ist für den klinischen Alltag von großer Bedeutung, wird aber in der vorliegenden Bachelorarbeit nicht weiter ausgeführt, weil sie den Rahmen überschreiten würde und nicht Gegenstand der Untersuchung ist.

1.3 Zusammenhang zwischen Sarkopenie und Ernährung

Ernährung spielt sowohl in der Prävention als auch in der Behandlung der Sarkopenie eine zentrale Rolle (Santilli et al., 2014). Ergänzend gilt eine nicht bedarfsgerechte Nahrungsaufnahme als Risikofaktor für die Entstehung der Erkrankung (Bo et al., 2017). Studien zeigen, dass eine unzureichende Energie- und Proteinaufnahme sowie eine ungenügende Zufuhr bestimmter Mikronährstoffe zur Entwicklung beitragen können (Rondanelli et al., 2016). Ein Mangelernährungszustand steht daher in engem Zusammenhang mit der Pathologie. Eine Kombination aus reduzierter Nahrungsaufnahme, bedingt durch verminderte Appetenz oder eine eingeschränkte Fähigkeit zum Essen, sowie einer gestörten Bioverfügbarkeit von Nährstoffen, etwa infolge gastrointestinaler Symptome wie Durchfall und Erbrechen, kann zur Mangelversorgung führen. Dieser Zustand wird zusätzlich durch einen erhöhten Bedarf an essenziellen Substanzen verstärkt, wie er bei Entzündungen im Zusammenhang mit Tumorerkrankungen oder Organversagen auftreten kann (Cruz-Jentoft et al. 2019). Der Muskel gilt beim Menschen als größter verfügbarer Aminosäurenspeicher. Hierbei werden Proteine in ihren kleinsten Bausteinen aufbewahrt und können bei Bedarf, beispielsweise für die Wundheilung oder für das Immunsystem, mobilisiert werden. Sowohl bei Mangelernährungszuständen als auch bei Entzündungen sind vermehrt katabole Prozesse im Körper aktiv. Diese Speicher werden infolgedessen zuerst abgebaut, um neuronale Zellen zu schützen (Schaupp et al. 2021 in Peters, 2011). Daraus folgt ein erhöhter Abbau von Muskelmasse und dementsprechender Reduktion von Muskelkraft und -funktion.

Um diesen Prozess entgegenzuwirken, ist ein stabiler Ernährungszustand von großer Bedeutung. Hierbei spielt die adäquate Aufnahme von Proteinen eine wesentliche Rolle. Die aktuelle Version der italienischen Referenzwerte für Energie- und Nährstoffzufuhr „*Livelli di Assunzione di Riferimento di Nutrienti ed energia per la popolazione italiana*“ empfehlen zur Prävention bei gesunden älteren Menschen ab 65 Jahren eine tägliche Proteinzufuhr von 1,1 g pro kg Körpergewicht (LARN, 2024). Bei akuten oder chronischen Krankheiten erhöht sich ihr Bedarf täglich auf 1,2-1,5 g pro kg Körpergewicht (Bauer et al., 2015; Lin et al., 2021, LARN 2024). Zudem empfiehlt die Europäische Gesellschaft für klinische Ernährung (ESPEN) bei entzündlichen Krankheiten eine Einnahme von 1,2-1,5 g pro kg Körpergewicht pro Tag. Eine unzureichende Proteinaufnahme durch die Ernährung ist der Hauptrisikofaktor für die Entstehung von Sarkopenie (Rondanelli et al., 2016). Laut EWGSOP2 sind mindestens 1,2 g pro kg Körpergewicht an Proteinen am Tag einzunehmen, um den Muskel optimal zu erhalten (2019). Die Qualität der Proteine spielt hierbei eine wichtige Rolle. Hochwertige Quellen, wie zum Beispiel das Molkenprotein, enthalten ein ideales Verhältnis an essenziellen Aminosäuren und weisen eine optimale Bioverfügbarkeit für den Menschen auf (Cereda et al., 2022). Ein besonderes Augenmerk wird auf Leucin gelegt. Dabei handelt es sich um einen für den Körper lebensnotwendigen Nährstoff: Leucin gehört zu den essenziellen Aminosäuren, ein Eiweißbaustein, welcher vom Organismus nicht selbst hergestellt werden kann und daher durch die Nahrung aufgenommen werden muss (Guo et al., 2022). Neueste Studien zeigen, dass Leucin eine zentrale Rolle bei der Aktivierung der Bildung von Muskelproteinen spielt (Rondanelli et al., 2016; Bo et al., 2017; Cereda et al., 2022; Guo et al., 2022; Chang et al., 2023). Dabei löst Leucin den Protein-Kinase B (Akt) mechanistic target of rapamycin (mTOR) p70-ribosomale-Protein-S6-Kinasen Signalweg aus, der zentrale Weg zur Muskelsynthese (Bo et al., 2017). Einen hohen Gehalt an Leucin finden wir im Molkenprotein (Whey). Genauer darauf eingegangen wird im Kapitel 3.2. Studien der vergangenen Jahre haben ergeben, dass der anabole Effekt essenzieller Aminosäuren auf die Muskelproteinsynthese älterer Menschen geringer ausfällt. Daher benötigen

sie für den Muskelaufbau mehr Protein und essenzielle Aminosäuren. Um eine sogenannte anabole Resistenz des Muskels zu vermeiden, wird empfohlen, mindestens zweimal täglich 25–30 g hochwertiges Protein und bis zu 2,8–3 g Leucin einzunehmen (Cereda et al., 2022). Die Proteinzufuhr sollte dabei über den Tag verteilt erfolgen (Bauer et al., 2021).

Die aktuelle Studienlage zeigt, wie wichtig ernährungstherapeutische Ansätze zur Prävention und Behandlung von Sarkopenie sind. Das Zusammenspiel aus Eiweiß, Leucin, Kalzium und Vitamin D kann die Muskelparameter, bestehend aus Muskelmasse, -kraft und -funktion, maximieren. Im Kapitel 3 wird die aktuelle Forschungslage zu den einzelnen Nährstoffen aufarbeitet und bewertet.

1.4 Körperliche Aktivität

Zu den bedeutsamsten Risikofaktoren von Sarkopenie zählen Alter, Geschlecht und Inaktivität (Santilli et al., 2014). Daher spielt körperliche Bewegung eine zentrale Rolle bei der Vorbeugung und Behandlung von Sarkopenie (Shen et al., 2023). Die europäische Leitlinie „*Guidelines Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis*“ bestätigt hierbei, dass diese Einflüsse zur Entstehung bzw. Verschlechterung der Pathologie beitragen (Cruz-Jentoft et al., 20019). Laut Studien besteht somit ein signifikanter Zusammenhang zwischen fehlender Bewegung und dem Verlust an Muskelmasse- kraft, und -funktion. Im Rahmen einer präventiven Maßnahme kann durch ein gezieltes und individuell angepasstes Training einer Fortschreitung der Erkrankung entgegengewirkt werden (Lu et al., 2021). Das Progressive Kraft- und Widerstandstraining (PRT) stellt eine Therapiemöglichkeit dar (Rondanelli et al., 2016). Untersuchungen zeigen, dass das PRT einen positiven Einfluss auf Körperfettmasse, Handkraft, Kniestreckkraft, Ganggeschwindigkeit und den Timed Up and Go (TUG)-Test hat (Shen et al., 2023). Die Meta-Analyse von Peterson et al. aus dem Jahre 2011 beschäftigte sich mit dem Zusammenhang zwischen Progressivem Kraft- und Widerstandstraining (PRT, resistance exercise RE) und der Muskelmasse

(Lean Body Mass, LBM) bei älteren Männern und Frauen verschiedener Altersklassen unter Berücksichtigung der Trainingsintensitäten. Ziel der Studie war es, den Effekt von körperlicher Aktivität auf die Zunahme von Muskelmasse zu untersuchen. Dabei wurde analysiert, welchen Effekt die Trainingsintensität und das Alter der Person auf das Ergebnis hatten. Die Meta-Analyse beinhaltete 49 Studien mit 1.328 Teilnehmer*innen. Die Ergebnisse zeigten einen signifikant positiven Effekt des PRT auf die Muskelmasse. Durchschnittlich erzielten die Teilnehmer*innen eine Zunahme der LBM von 1,1 kg. Ein intensiveres Trainingsprogramm führte zur Steigerung der LBM, während ein höheres Alter mit geringeren Zuwächsen einherging. Peterson et al. kamen zu dem Schluss, dass PRT eine effektive Strategie ist, die Muskelmasse bei älteren Personen zu steigern. Je intensiver das Training ist, desto signifikanter sind die Ergebnisse. Zudem erweist sich eine frühe Teilnahme am Training als effektiv (Peterson et al., 2011). Der anerkannte Standard zur Prävention und Therapie bei Sarkopenie bildet eine Kombination aus Widerstandstraining und einer adäquaten Ernährung (Rondanelli et al., 2016). Diverse Studien bezeugen, dass die kombinierte Behandlung aus Bewegung und Ernährung mit Fokus auf Molkenprotein, essenziellen Aminosäuren wie Leucin, Vitamin D und Kalzium zu besseren Ergebnissen führen als eine isolierte körperliche Aktivität (Cereda et al., 2022). Die Meta-Analyse von Chang und Choo (2023) konnte zudem nachweisen, dass durch den gezielten Einsatz dieser Nährstoffe die appendikuläre Muskelmasse auch ohne begleitende körperliche Aktivität verbessert werden konnte. Durch die Kombination wurde jedoch auch Muskelkraft und -funktion deutlich gesteigert (Chang und Choo, 2023). Aus diesen Erkenntnissen lässt sich die besondere Rolle ernährungstherapeutischer Maßnahmen durch eine individuelle und gezielte Nährstoffaufnahme zur Prävention und Behandlung von Sarkopenie ableiten.

2. Methode der Literaturrecherche

2.1 Fragestellung

Mittelpunkt der Arbeit ist die Auswirkung von Molkenprotein, Leucin, Vitamin D und Kalzium auf Muskelparameter zu untersuchen. Die Ergebnisse werden zusammengeführt und diskutiert, damit ein Überblick über den aktuellen Forschungsstand gegeben werden kann.

Es wurden folgende Fragestellung formuliert:

- Welchen Einfluss haben Molkenprotein, Leucin, Vitamin D und Kalzium auf Muskelmasse, Muskelkraft und -funktion bei älteren Erwachsenen (≥ 65 Jahre) mit Sarkopenie?

2.2 Methodische Vorgehensweise: Suchstrategie, Ein- und Ausschlusskriterien, Auswahl der Studien

Zur Beantwortung der Fragestellung wurde im Zeitraum von Februar 2025 bis Mai 2025 eine systematische Literaturrecherche durchgeführt. Dabei erfolgte der Zugriff über die virtuelle medizinische Bibliothek der Claudiana, insbesondere auf die Datenbanken PubMed, Embase und CINAHL. Die Recherche wurde auf wissenschaftliche Artikel der letzten 15 Jahre beschränkt, wobei aktuelle Publikationen besonders berücksichtigt wurden. Eingeschlossen wurden Artikel in deutscher, englischer und italienischer Sprache. Ältere Quellen wurden nur im theoretischen Teil berücksichtigt.

Zur Identifikation relevanter Literatur wurden Suchbegriffe in englischer Sprache mit Hilfe der booleschen Operatoren („AND“, „OR“) kombiniert. Um sicherzustellen, dass bestimmte Begriffe zusammenhängend berücksichtigt werden, wurden diese in Anführungszeichen ("...") gesetzt. Folgende Schlagwörter wurden verwendet:

- "sarcopenia" AND "whey protein"
- "sarcopenia" AND "leucine"
- "sarcopenia" AND "vitamin D"

- "sarcopenia" AND "calcium"
- "nutrition therapy" AND "sarcopenia"

Einschlusskriterien:

- Originalarbeiten (randomisierte kontrollierte Studien, klinische Studien, Metaanalysen, systematische Reviews)
- Veröffentlichungszeitraum: nicht älter als 15 Jahre
- Artikel in englischer, deutscher oder italienischer Sprache
- Bezug zu ernährungstherapeutischen Interventionen bei Sarkopenie

Ausschlusskriterien:

- Artikel ohne direkten Bezug zu Sarkopenie
- Artikel ohne Abstract
- Narrative Reviews oder Meinungsartikel ohne wissenschaftliche Datengrundlage

Auswahl der Studien

Es wurde eine Datenbanksuche durchgeführt. Schließlich wurden die Suchergebnisse anhand von Titeln und Abstracts auf Relevanz untersucht. Infolgedessen wurde eine Volltextanalyse der geeigneten Artikel gemacht. Entsprechend der definierten Ein- und Ausschlusskriterien wurde eine Auswahl relevanter Studien getroffen, die in die Arbeit eingeschlossen und kritisch analysiert wurden.

3. Ergebnisse

Die im Rahmen dieser Bachelorarbeit durchgeführte Literaturrecherche zeigt die zentrale Rolle der Ernährung für den Erhalt von Muskelmasse, -kraft und -funktion, die sowohl für die Prävention als auch für die Behandlung der Sarkopenie von entscheidender Relevanz ist (Cereda et al., 2022). Sarkopenie, wie bereits erläutert, ist definiert als ein generalisierter Verlust von Muskelmasse, -kraft und -funktion. Sie steht im Zusammenhang mit negativen Folgen, wie eingeschränkter Mobilität, erhöhter Gebrechlichkeit, verminderter Lebensqualität, verlängerten Krankenhausaufenthalten sowie eine gesteigerte

Morbidität und Mortalität. Eine unzureichende Energie- und Proteinaufnahme, die zu Mangelernährung führt, zählt zu den zentralen Risikofaktoren für die Entstehung und das Fortschreiten der Erkrankung (Bo et al., 2017). Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit den Effekten von ernährungstherapeutischen Maßnahmen auf die Gesundheit der Muskulatur.

3.1 Bedeutung der Ernährung für den Erhalt der Muskelmasse, -kraft und -funktion

Dieses Kapitel beschreibt zunächst die Auswirkung der Ernährung auf den Erhalt der Muskelmasse, auf die Muskelkraft und schließlich auf die Muskelfunktion.

Auswirkung auf die Muskelmasse

Durchgeführte Studie zeigen den Effekt einer gezielten Supplementation von Nährstoffen auf den Erhalt der Muskelmasse. Rondanelli et al. untersuchten 2016 in einer randomisierten, kontrollierten, doppelblinden, parallelgruppierten Studie in einem Zeitraum von 12 Wochen die Wirkung von Molkenprotein, essenziellen Aminosäuren und Vitamin D auf die fettfreie Masse (FFM). Dabei wurden insgesamt 130 sarkopene Männer und Frauen mit einem Durchschnittsalter von 80,3 Jahren untersucht, die sich im Krankenhaus Santa Margherita in Pavia (Italien) befanden. 69 Patienten erhielten eine Supplementation an Nährstoffen und 61 gehörten zu der Placebogruppe. Alle Studienteilnehmer führten gleichzeitig ein nicht intensives Trainingsprogramm durch. Die Patienten mit Interventionsmaßnahmen bekamen einmal am Tag zum Mittagessen ein orales Nahrungsergänzungsmittel mit 22 g Molkenprotein, 10,9 g essenziellen Aminosäuren, darunter 4 g Leucin, und 2,5 µg (100 IE) Vitamin D. Die Placebogruppe bekam stattdessen ein isokalorisches Produkt aus Maltodextrin mit demselben Geschmack und Aussehen. Primär wurde auf die Veränderung der fettfreien Masse (FFM) bei beiden Gruppen geachtet. Die Ergebnisse zeigten, dass eine Supplementation der Nährstoffe zu einer

signifikanten Zunahme der FFM um bis zu 1,7 kg im Gegensatz zur Placebogruppe führte. Zudem stieg die relative Muskelmasse (Muskelmasse im Verhältnis zum Körpergewicht bzw. -größe) im Vergleich signifikant an. Die Autoren stellten demnach fest, dass die körperliche Aktivität bedeutsam ist, jedoch nicht ausreichte, um relevante Ergebnisse zu erzielen. Hierfür war eine Supplementation mit gezielten Nährstoffen wie Molkenprotein, essenziellen Aminosäuren und Vitamin D von großer Relevanz (Rondanelli et al. 2016).

Eine weitere nennenswerte Studie mit dem Titel „*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*“ wurde im Jahre 2015 von Bauer et al. veröffentlicht. Sie zeigt den Effekt einer gezielten Supplementierung auf die Muskelmasse bei Sarkopenie, unabhängig von körperlicher Bewegung. Hierbei handelte es sich um eine multizentrische, randomisierte, kontrollierte und doppelblinde Parallelgruppenstudie. Es nahmen 380 Männer und Frauen mit diagnostizierter Sarkopenie ohne Anzeichen einer Mangelernährung an der Studie teil. Sie wiesen alle eine leichte bis mittelschwere Einschränkung der körperlichen Funktion auf. Dabei waren 184 in der aktiven Gruppe und 196 in der Kontrollgruppe. Das Durchschnittsalter betrug 77,7 Jahre. Die Interventionsgruppe erhielt für 13 Wochen ein Supplement mit 800 IE Vitamin D, 500 mg Kalzium, 3 g Leucin und 20 g Molkenprotein, wobei die Placebogruppe ein isokalisches Produkt ohne Protein oder Mikronährstoffe verabreicht bekam. Das Ergebnis der PROVIDE-Studie zeigte einen signifikanten Zwischengruppeneffekt auf: Im Vergleich zur Kontrollgruppe nahmen die aktiven Teilnehmer 0,17 kg mehr an appendikulärer Muskelmasse (AMM) zu (95%-Konfidenzintervall: 0,004-0,338; $p = 0,045$) (Bauer et al., 2015). Dadurch wird verdeutlicht, dass eine gezielte Intervention einen messbaren Zuwachs bestätigt, unabhängig von der körperlichen Bewegung. Außerdem zeigen die Studienergebnisse, dass die Zunahme von circa 1 % der appendikulären Muskelmasse (AMM) einer Einsparung des Verlusts an Muskelmasse von 1-2 Jahren beträgt. 2019 wurde eine Sekundäranalyse dieser Studie von Hill et al. durchgeführt. Sie bestätigten die Ergebnisse und

ergänzten die Zunahme der Knochenmineraldichte (BMD) bei der Interventionsgruppe (Bauer et al. 2015, Hill et al., 2019).

Auswirkung auf die Muskelkraft

Studien bestätigen einen signifikanten Zuwachs an Muskelkraft durch eine gezielte Aufnahme der untersuchten Nährstoffe (Rondanelli et al. 2016; Bo et al. 2017; Cereda et al. 2022). Die Meta-Analyse und systematische Übersichtsarbeit von Guo et al. aus dem Jahre 2022 untersuchte den Effekt eine Leucin-Supplementation auf die Muskelkraft bei sarkopenen Patienten. Dabei wurden die Ergebnisse von 17 randomisierten kontrollierten Studien von 1418 älteren Erwachsenen zusammengefasst. Die Studie zeigte den signifikanten Effekt der Kombination aus einer Supplementation von Leucin und Vitamin D auf die Muskelkraft. Interessant ist hierbei, dass die isolierte Einnahme der Aminosäure keinen Einfluss auf die Muskelkraft hatte. Das Fazit der Meta-Analyse ist: *„Eine Kombination von Nahrungsergänzungsmitteln stellt eine vielversprechende Möglichkeit zur Verbesserung der Sarkopenie dar.“* (Guo et al. 2022). Eine weitere Meta-Analyse aus dem Jahre 2022 von Shen et al. bestätigte, dass Widerstands- und Gleichgewichtstraining nur in Kombination mit gezielter Ernährung bei Sarkopenie einen signifikanten Effekt auf die Muskelkraft hat. Dabei wurden 42 RCTs mit 3278 Teilnehmer*innen untersucht. Eine Kombination aus Training und Ernährung führte zur deutlichsten Zunahme der Handkraft mit einem durchschnittlichen Wert von 4,19 kg im Vergleich zur Kontrollgruppe. Auch hier stellen die Autoren fest, dass die Ernährung eine relevante Therapieoption bei sarkopenen Patient*innen sei (Shen et al., 2022).

Auswirkung auf körperliche Funktion und Leistung

Auch bestätigt aktuelle Evidenz, dass Ernährung einen positiven Einfluss auf die körperliche Funktion und Leistungsfähigkeit bei sarkopenen Patient*innen hat (Cereda et al. 2022). In der randomisierten Studie über 12 Wochen mit kontrollierter Parallelgruppe untersuchte Cereda et al., welchen Einfluss eine gezielte Supplementation mit Molkenprotein, Leucin und Vitamin D im

Vergleich zu einer reinen proteinreichen Ernährung ohne zusätzliche Mikronährstoffe auf die Muskelmasse, -kraft und -funktion hatte. Alle 56 Teilnehmer*innen erzielten eine individuell angepasste Proteinaufnahme von 1,2-1,5 g pro kg Körpergewicht am Tag. Die appendikuläre Muskelmasse und die Handgriffkraft steigerte sich in beiden Gruppen. Relevante Unterschiede zeigte sich besonders bei der Gehgeschwindigkeit. Die Gruppe mit supplementiertem Molkenprotein, Leucin und Vitamin D verbesserten sich signifikant im 4-Meter-Gehtest. Daraus schlossen die Autoren, dass eine gezielte Ernährung deutliche Verbesserungen der muskulären Leistungsfähigkeit hervorbrachte (Cereda et al. 2022).

3.2 Rolle von Whey Protein, Leucin, Vitamin D und Kalzium bei Sarkopenie

Im folgenden Kapitel werden die Nährstoffe Whey Protein, Leucin, Vitamin D und Kalzium beschrieben. Nach aktueller Studienlage sind sie für die Prävention und Behandlung der Sarkopenie von zentraler Bedeutung. Im Fokus steht dabei ihre Wirkung auf Muskelmasse, -kraft und -funktion.

Whey Protein

Molkenprotein (Whey-Protein) ist ein hochwertiges Protein, das aus tierischer Milch gewonnen wird. Es zeichnet sich durch eine schnelle Verdaulichkeit und Absorption im menschlichen Körper aus, im Vergleich zu anderen Proteinquellen wie zum Beispiel Kasein. Zudem besitzt Molkenprotein (Whey-Protein) einen hohen Gehalt an essenziellen Aminosäuren, insbesondere an Leucin (Cereda et al. 2022). Nach der Aufnahme steigt die Verfügbarkeit der essenziellen Aminosäuren im Blutplasma an, wodurch die Proteinsynthese des Muskels vermehrt stimuliert wird (Rondanelli et al. 2016; Bo et al. 2017; Cereda et al. 2022). Aufgrund dieser Besonderheiten zählt das Molkenprotein (Whey-Protein) zu einen der wichtigsten Proteinquellen, besonders bei der Vorbeugung des altersbedingten Muskelabbaus (Kaminska et al. 2023).

Leucin

Leucin gehört zu den sogenannten essenziellen Aminosäuren. Dabei handelt es sich um lebensnotwendige Bausteine, die der Körper nicht selbstständig herstellen kann und somit durch die Nahrung aufgenommen werden müssen (Martinez-Arnau et al., 2020). Diese Aminosäure hat die Eigenschaft, besonders stark die Proteinsynthese im Muskel zu stimulieren, da durch die Aufnahme der sogenannte Skelettmuskelproteinumsatz beeinflusst wird. Dabei handelt es sich um die Steigerung der Proteinsynthese und die Reduktion des Proteinabbaus im Skelettmuskel. Des Weiteren stimuliert Leucin die Produktion des peptidischen Hormons Insulin in den Beta- Zellen der Langerhans-Inseln der Bauchspeicheldrüse. Neben seiner Hauptaufgabe der Blutzuckerregulation hat Insulin eine anabole Wirkung: Es steigert die Glykogen-, Fett- und Proteinsynthese und hemmt parallel ihren Abbau. Leucin aktiviert zudem den Muskel über den mTOR-Signalweg (Huang und Hsieh, 2025). Bei älteren Personen tritt häufig eine sogenannte anabole Resistenz auf, bei der der Muskel reduziert auf anabole Reize zum Aufbau reagiert. Eine gesteigerte Aufnahme von Leucin hilft hierbei, diese verminderte Empfindlichkeit zu überwinden. Leucin ist daher ein wertvolles Substrat zur Prävention und Therapie von Sarkopenie. Es gehört laut aktueller Forschungslage zu den bedeutsamsten Behandlungsoptionen bei sarkopenen älteren Menschen (Huang und Hsieh, 2025). Hierbei wird hervorgehoben, dass seine isolierte Einnahme von Leucin eine reduzierte Wirkung auf die Muskelmasse, -kraft und -funktion hat, aber in Kombination mit anderen Nährstoffen besonders effektiv sein kann. Dies wird durch die Meta-Analyse von Guo et al. (2022) bestätigt. Die Ergebnisse zeigten, dass Studien mit einer reinen Leucin-Supplementation keine Auswirkung auf die fettfreie Masse, Hand- oder Beinkraft hatte. Wird Leucin aber mit Vitamin D kombiniert, erhielt man signifikante Steigerungen der Handkraft und Gehgeschwindigkeit, wobei es sich um wertvolle Marker der Muskelgesundheit handelt. Guo et al. interpretieren die kombinierte Wirkung folgendermaßen: *„Die Kombination von Leucin und Vitamin D könnte wirksamer sein als die isolierte Einnahme von Leucin oder Vitamin D. Der Grund dafür ist noch unklar, aber es wurde die*

Hypothese aufgestellt, dass sowohl Vitamin D als auch Leucin atrophiebezogene Transkriptionsfaktoren hemmen und mTOR stimulieren, um die Proteinsynthese zu fördern.“ (Seite 9, 2022) Die eben genannten Ergebnisse bestätigen sich auch in der von Martinez-Arnau et al. durchgeführten Studie im Jahre 2020. Hierbei handelte es sich um eine randomisierte, placebokontrollierte Doppelblinde Studie mit Parallelgruppe. Ziel war es, die Verabreichung von Leucin bei Sarkopenie zu analysieren und dessen Wirkung auf Muskelmasse, -kraft und -funktion zu untersuchen (2020). Eingeschlossen wurden 50 spanische Patient*innen, mit einem Durchschnittsalter von 78,9 Jahren, die von Juni bis September 2019 an der Studie teilnahmen. Sie wurden in zwei Gruppen aufgeteilt, wobei sie täglich zwei Mal 3 g Leucin in Pulverform verabreicht bekamen. Die Kontrollgruppe bekam die gleiche Dosis an Laktose. Die Teilnehmer*innen sollten ihre üblichen Essgewohnheiten beibehalten. Nach dem Interventionszeitraum wurde beobachtet, dass sich weder bei der Handkraft noch beim Muskelmassenindex Unterschiede zeigten. Nur der Erhalt der fettfreien Muskelmasse im Vergleich zur Placebogruppe bewährte sich, was darauf schließen lässt, dass Leucin den Erhalt der Muskelmasse unterstützen und einen Abbau hemmen könnte (Martinez-Arnau et al., 2020). Des Weiteren verbesserte sich die Muskelfunktion der Gruppe mit Leucin-Supplementation signifikant ($p=0,011$), messbar anhand des Gehtests. Die Autoren Martinez-Arnau et al. kamen zu dem Entschluss, dass die Gabe von Leucin den Erhalt der Muskelmasse fördert und die Leistungsfähigkeit positiv beeinflusst. Im Gegensatz dazu kann die Muskelkraft nur in Kombination mit anderen Nährstoffen wie Vitamin D verbessert werden (2020).

Vitamin D

Vitamin D gehört zu den fettlöslichen Vitaminen. Durch die endogene Synthese der Haut unter UV-Strahlung oder über die Nahrung bzw. Supplemente, in Form von D₂ (Ergocalciferol) und D₃ (Cholecalciferol), kann Vitamin D aufgenommen werden. Durch zwei verschiedene Hydroxylierungsschritte in der Leber und in der Niere wird es zu den aktiven

Formen Calcidiol und Calcitriol umgewandelt (Office of Dietary Supplements, NIH, 2023). Vitamin D spielt eine zentrale Rolle bei der Aufnahme von Kalzium im Darm und ist essenziell für eine normale Knochenmineralisierung, für das Wachstum, sowie Umbau durch Osteoblasten und Osteoklasten. Zusammen mit Kalzium wirken sie im Alter gegen Osteoporose. Darüber hinaus hat Vitamin D eine entzündungshemmende, genmodulierende und neuromuskuläre Funktion im Körper, fördert das Zellwachstum und reguliert den Glukosestoffwechsel (Office of Dietary Supplements, 2023). Auch im Zusammenhang mit Sarkopenie übernimmt Vitamin D eine wichtige Rolle. Studien haben einen synergistischen Effekt mit Leucin festgestellt, wobei der Proteinanabolismus gefördert wird. Es wird vermutet, dass beide Substanzen atrophiebezogene Transkriptionsfaktoren hemmen und parallel dazu den Signalweg von mTOR aktivieren, um somit die Proteinsynthese zu begünstigen (Guo et al. 2022). Ein chronischer Mangel führt zu brüchigen und deformierten Knochen (Office of Dietary Supplements, 2023) und ist ein Risikofaktor für Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Adipositas, Krebs, Osteoporose sowie für Sarkopenie (Uchitomi et al. 2020). Aufgrund dieser Eigenschaften ist Vitamin D essenziell für den Skelettmuskel und damit wichtig für die Prävention und Behandlung der Sarkopenie (Office of Dietary Supplements, 2023). Ein Mangel an Vitamin D ist ein bedeutsamer Risikofaktor für den Verlust an Muskelgesundheit bei älteren Erwachsenen und geht mit funktioneller Beeinträchtigung einher (Uchitomi et al., 2020; Fuentes-Barría et al., 2025). Ein niedriger Serumspiegel korreliert direkt mit reduzierter Muskelkraft, körperlicher Leistungsfähigkeit und erhöhter Prävalenz von Sarkopenie (Fuentes-Barría et al., 2025). Die aktuelle Datenlage zeigt einen positiven Effekt der Vitamin D Aufnahme auf Marker. So zeigte beispielsweise die Metaanalyse von Widajanti et al. mit insgesamt 35 Studien, eine signifikante Verbesserung der Handkraft bei einer hohen Dosis an Vitamin D (Widajanti et al., 2024). Wertvoll ist auch hier die Kombination mit den anderen bereits besprochenen Nährstoffen. So zeigt die Metaanalyse von Chang und Choo, wie bereits beim Thema Molkenprotein aufgezeigt, dass die gemeinsame Aufnahme von Vitamin D, Whey-Protein und Leucin die

appendikuläre Muskelmasse erhöht und signifikant verbessert (Chang und Choo, 2023). Auch Rondanelli et al. beschrieb in seiner Studie, dass die Kombination mit Molkenprotein und der essenziellen Aminosäure die fettfreie Masse und Muskelkraft im Durchschnitt um 21% steigerte (Rondanelli et al., 2016). Zudem zeigt die bereits ausführlich beschriebene PROVIDE-Studie von Bauer et al. und die darauf aufbauende Sekundärstudie von Hill et al., dass das Präparat aus Vitamin D, Leucin und Whey einen signifikant positiven Effekt auf die Muskelmasse, -funktion und Knochengesundheit hatte (Bauer et al., 2015; Hill et al., 2019).

Kalzium

Kalzium ist ein essenzieller Mineralstoff. Er ist Voraussetzung für die Mineralisierung und Stabilisierung des Knochens (Office of Dietary Supplements, 2023). Kalzium spielt zudem eine wichtige Rolle bei der Muskelkontraktion und ist somit essenziell für die Muskelkraft (van Donkelaar et al., 2023). Die Kalziumhomöostase korreliert eng mit Vitamin D, dem Parathormon (PTH) und dem Peptidhormon Calcitonin der Schilddrüse. Dabei dient der Knochen als größter Speicher (Uchitomi et al., 2020). Ein Mangel kann zu Osteoporose, Rachitis bei Kindern und Osteomalazie bei Erwachsenen führen, wodurch der Knochen brüchig und deformiert werden kann und somit ein wichtiger Risikofaktor für Morbidität und Mortalität im Alter ist (Office of Dietary Supplements, 2023). Obwohl ein direkter Zusammenhang zwischen Kalziumaufnahme und Sarkopenie bisher noch nicht nachgewiesen wurde (van Donkelaar et al., 2023), lässt sich laut aktuellem Stand der Forschung eine Korrelation zwischen Knochengesundheit und Muskelerhalt feststellen (Hill et al., 2019). Demnach kann Kalzium nur dann eine Rolle bei der Prävention und Behandlung von Sarkopenie spielen, wenn es in ausreichender Dosierung zusammen mit Vitamin D aufgenommen wird (Van Donkelaar et al., 2023). Die PROVIDE-Studie von Bauer et al. (2016) erfasst nach einer 13-wöchiger Supplementation mit Molkenprotein, Vitamin D, Kalzium und Leucin positive Effekte auf die Muskelmasse und -funktion. In der darauf aufbauenden Sekundäranalyse von Hill et al. wurde zudem eine

Verbesserung der Knochenmineraldichte (BMD) des gesamten Körpers bei sarkopenischen Patient*innen festgestellt. Eine weitere Studie von Petermann et al. (2020) führte eine Querschnittsanalyse der UK Biobank mit insgesamt 396.283 Teilnehmer*innen durch. Ergebnisse zeigten, dass eine erhöhte Zufuhr an Energie, Protein, Vitamin (B12, B9) und Mineralstoffen wie Kalzium, Kalium und Magnesium mit einem reduzierten Risiko für die Entwicklung von Sarkopenie assoziiert waren und somit als Präventivmaßnahme gelten (Petermann et al., 2020).

3.3 Evidenzbasierte Ernährungsempfehlungen und Rolle der Ernährungstherapie in der Sarkopenie-Behandlung

Sarkopenie ist eine klinisch relevante Erkrankung, die eine große Herausforderung der alternden Bevölkerung darstellt, da sie mit einem erhöhten Risiko für Morbidität und Mortalität verbunden ist (Bo et al, 2017). Eine gezielte und individuell angepasste Ernährung kann sowohl präventiv als auch therapeutisch gegen die Krankheit eingesetzt werden. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf einer bedarfsgerechten Zufuhr von Energie und Protein sowie der Aufnahme spezifischer Nährstoffe wie Molkenprotein (Whey), Leucin, Vitamin D und Kalzium. Diese haben nach aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen einen signifikant positiven Effekt auf Muskelmasse, -kraft und -funktion und können somit gegen Sarkopenie wirken. Dieses Kapitel soll demnach evidenzbasierte Ernährungsempfehlungen nach neuestem Wissensstand aufzeigen und kann somit für die Prävention und Behandlung eingesetzt werden.

Energieaufnahme

Eine optimale Energiezufuhr ist bei Sarkopenie eine wichtige Voraussetzung. Eine unzureichende Aufnahme an Kalorien erhöht das Risiko einer Mangelernährung und begünstigt das Entstehen bzw. Fortschreiten der Krankheit (Cruz-Jentoft et al., 2019; Guo et al. 2022). Die ESPEN Leitlinie für geriatrische Patienten „*ESPEN practical guideline: Clinical nutrition and*

hydration in geriatrics“ weisen auf eine tägliche Energiezufuhr von 25-30 kcal pro Kilogramm Körpergewicht hin (Volkert et al., 2022). Zudem zeigen Studien mit Sarkopenie – Patient*innen, wie beispielsweise jene von Rondanelli et al. aus dem Jahre 2020, dass Werte von 27-30 kcal pro Kilogramm Körpergewicht geeignet sind. Die Energiezufuhr soll aber jeweils individuell betrachtet und angepasst werden, unter Berücksichtigung spezieller Eigenschaften wie beispielsweise Begleiterkrankungen und körperlicher Aktivität (Rondanelli et al, 2020; Volkert et al, 2022). Es ist von großer Bedeutung, eine adäquate Energieaufnahme sicherzustellen: Der Muskel dient dem Körper als größter Aminosäurespeicher und wird im Zuge einer Mangelernährung, sehr oft assoziiert mit Sarkopenie (Santilli et al., 2014; Cereda et al., 2022), zur Energiegewinnung und zum Schutz neurologischer Strukturen zuerst abgebaut (Schaupp et al., 2021). Eine optimale Kalorienzufuhr wirkt hierbei gegen den Abbauprozess des Muskels (Cereda et al., 2022). Mehrere Studien halten in Bezug auf die Energieaufnahme fest, dass ältere sarkopenische Patient*innen das empfohlene Energieziel nicht decken können und soll daher bei der Therapie in den Fokus gebracht werden (Cereda et al., 2022). Die Rolle der Ernährungstherapeut*innen rücken hier in den Fokus. Sie gestalten die Therapie nach den Bedürfnissen der Patient*innen und ermöglichen eine zielgerechte Umsetzung. Dabei berechnen sie den Bedarf an Energie sowie an Mikro- und Makronährstoffen auf Grundlage der aktuellen Leitlinien und passen diese an die Ernährungsgewohnheiten der Patient*innen an (Lin et al., 2020).

Protein- und Leucinaufnahme

Eine adäquate Proteinaufnahme bei Sarkopenie soll bei allen Patient*innen gegeben sein, da Eiweiß als Hauptbestandteil der Muskelproteinsynthese dient (Cereda et al. 2022). Laut EWGSOP2 sind mindestens 1,2 g pro kg Körpergewicht an Proteinen am Tag einzunehmen, um den Muskel optimal zu erhalten (2019). Die Qualität der Eiweiße spielt dabei eine sehr wichtige Rolle: Molkenprotein (Whey) beinhaltet einen hohen Anteil essenzieller Aminosäuren (Cereda et al., 2022) und wird schneller verdaut und vom Organismus

aufgenommen als andere Proteinquellen (Bo et al., 2019). Zudem besitzt Whey einen hohen Gehalt an Leucin, wodurch die biologische Wertigkeit zusätzlich gesteigert ist (Bo et al., 2019). Studien der vergangenen Jahre haben ergeben, dass der anabole Effekt essenzieller Aminosäuren auf die Muskelproteinsynthese älterer Menschen geringer ausfällt. Daher benötigen sie für den Muskelaufbau mehr Protein und essenzielle Aminosäuren. Um eine sogenannte anabole Resistenz des Muskels zu vermeiden, wird empfohlen, mindestens zweimal täglich 25 – 30 g hochwertiges Protein und bis zu 2,8 – 3 g Leucin einzunehmen (Cereda et al., 2022). Die Proteinzufuhr sollte dabei über den Tag verteilt erfolgen (Hill et al., 2019; Bauer et al., 2021).

Vitamin D

Laut Studien wirkt sich ein Mangel bzw. eine unzureichende Aufnahme an Vitamin D negativ auf die Sarkopenie aus (Uchitomi et al., 2020; Fuentes-Barría et al., 2025). Internationale Leitlinien empfehlen bei Menschen über 70 Jahre eine tägliche Zufuhr von 20 µg (800IE) und zur Prävention bei Sturzgefahr 25 µg (1000IE) (Uchitomi et al., 2020).

Kalzium

Kalzium trägt eine wesentliche Rolle zur Muskelgesundheit bei. Der Mikronährstoff ist an der Kontraktion beteiligt und hat somit einen positiven Einfluss auf die Muskelkraft (Van Dronkelaar et al., 2023). Laut italienischen Leitlinien werden Menschen ab einem Lebensalter von 60 Jahren eine tägliche Zufuhr von mindestens 1200 mg empfohlen (LARN, 2024). Basierend auf die durchgeführte Recherchearbeit ist Kalzium zur Behandlung von Sarkopenie nur im Zusammenhang mit Molkenprotein (Whey), Leucin und Vitamin D bedeutsam (Van Dronkelaar et al., 2023).

Bei der Sarkopenie handelt es sich um eine komplexe und vielschichtige Erkrankung mit einer großen Anzahl an Risikofaktoren, Ätiologie und Phänotypen. Daher benötigt sie individualisierte und integrierte Interventionen zur Prävention und Behandlung (Rondanelli et al., 2016). Die aktuelle

wissenschaftliche Evidenz betont, die Nährstoffe Molkenprotein (Whey), Leucin, Vitamin D und Kalzium nicht isoliert, sondern in Kombination einzunehmen, um ihre Wirkung vor allem auf den Erhalt von Muskelmasse, aber auch auf die Muskelkraft und -funktion zu fördern (Guo et al., 2022; Chang und Choo, 2023). Es stellt sich heraus, dass multidimensionale Ansätze bei der Behandlung von Sarkopenie von großem Vorteil sind: Eine kombinierte Therapie mit körperlicher Bewegung, insbesondere Krafttraining, kann die Wirkung der Nährstoffe auf die Muskelgesundheit, insbesondere auf Muskelkraft und -funktion maximieren, wie die Meta-Analyse von Chang und Choo aus dem Jahre 2023 bestätigte (Chang und Choo, 2023). Patient*innen, die keine körperliche Aktivität betätigen konnten, bleibt die Ernährungsintervention als wichtigster Ansatz zur Behandlung, weil dadurch das Fortschreiten der Krankheit signifikant reduziert werden kann (Huang und Hsieh, 2025).

Grundsätzlich wird eine individuell angepasste Ernährungstherapie für Patient*innen mit Sarkopenie empfohlen. Dabei soll der Fokus auf den einzelnen Nährstoffen liegen, die nach Leitlinien gestaltet und je nach Bedarf individuell angepasst werden. In der klinischen Praxis bestätigt sich aber häufig, dass vor allem ältere Menschen ihren Nährstoffbedarf, aufgrund eines verminderten Appetitempfindens und reduzierter Nahrungsaufnahme, nicht ausreichend decken können (Cereda et al., 2022). Hier empfehlen die Autor*innen den gezielten Einsatz von Nahrungsergänzungsmitteln, sogenannte „*muscle targeted – oral nutritional supplementation (MT-ONS)*“, als Therapieoption der Sarkopenie. Im Review „*Whey Protein, Leucine- and Vitamin-D-Enriched Oral Nutritional Supplementation for the Treatment of Sarcopenia*“ analysiert Cereda et al. acht relevanten Studien zum Einsatz von muskelspezifischen Nahrungsergänzungsmitteln mit Molkenprotein (Whey), Leucin und Vitamin D mit oder ohne Kombination von zusätzlichem körperlichen Trainingseinheiten. Das Ziel war dabei den Einsatz der oralen Nahrungssupplementen zur Prävention und Behandlung bei Sarkopenie zu rechtfertigen. Die Ergebnisse zeigten, dass der Einsatz von MT-ONS sowohl eine Zunahme der Muskelmasse bewirkten als auch die Muskelkraft und -

funktion im Vergleich zur Placebogruppen verbessern konnten. Zusätzlich konnte ein Rückgang des Entzündungsparameters C-reaktives Protein (CRP) gemessen werden sowie ein positiver Effekt auf den Verbrauch von Gesundheitsressourcen, wie Aufenthaltsdauer und Rehabilitationsdauer (Cereda et al., 2022). Die Autor*innen halten in der Schlussfolgerung fest, dass spezifische Nahrungsergänzungsmittel bei gegebener Indikation zur Prävention und Behandlung von Sarkopenie eingesetzt werden können und zu positiven Ergebnissen führen. Die Kombination mit einem individuell angepassten körperlichen Training können hierbei den Effekt auf die Knochengesundheit maximieren (Cereda et al., 2022).

4. Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die wichtigsten Ergebnisse der Literaturrecherche diskutiert, wobei Stärken und Schwächen aufgezeigt werden. Zudem wird ein Bezug zu alternativen Therapieoptionen gemacht.

Die Recherchearbeit hat gezeigt, dass eine Verabreichung der Nährstoffe Molkenprotein (Whey), Leucin, Vitamin D und Kalzium einen positiven Effekt auf die Muskelgesundheit hat, wobei die Kombination aus den Nährstoffen entscheidend ist und eine isolierte Nährstoffgabe in keiner Studie zu signifikanten Ergebnissen geführt hat (Guo et al., 2022; Chang und Choo, 2023). Bezüglich der körperlichen Aktivität lässt sich sagen, dass die Studienergebnisse variieren. Beispielsweise wird bei Bauer et al. die Verbesserung der appendikulären Muskelmasse und im Chair-Stand-Test ohne körperliche Bewegung bestätigt (Bauer et al., 2015). Die Untersuchung von Martinez-Arnau et al. zeigte hingegen keine Zunahme der Muskelmasse und Handgriffstärke (Martinez-Arnau et al., 2020). Metaanalysen weisen darauf hin, dass die Nährstoffsupplementation die Muskelmasse erhöhen kann, Muskelkraft und -funktion jedoch nur in Ergänzung mit einem gezielten Widerstandstraining verbessert wird (Chang and Choo, 2023). Daraus lässt sich schließen, dass eine zusätzliche körperliche Bewegung die Besserung

von Sarkopenie fördern kann. Auch ist eine ausschließliche Supplementation zu thematisieren, wenn es sich um immobile Patienten*innen handelt, die keine Möglichkeiten einer zusätzlichen Aktivität haben (Rondanelli et al., 2016).

Stärken

Die Studien besitzen ein hochwertiges Studiendesign. Bei mehreren handelt es sich um randomisierte, doppelblinde und placebokontrollierte Studien (RCTs), wie beispielsweise Rondanelli et al., Bo et al. und Bauer et al. Dieses Studiendesign wird in der Forschung als Goldstandard angesehen, weil dadurch der Effekt der Intervention nachweisbar ist und systematische Verzerrungen (Bias) reduziert werden. Zudem beziehen sich die Untersuchungen auf klar definierte Studienpopulationen, was spezifischere Aussagen bezüglich Patienten erlaubt (Bauer et al., 2015; Bo et al., 2019). Die Primärstudien rekrutierten hauptsächlich ältere Erwachsene mit diagnostizierter Sarkopenie, Setting und Herkunft der Teilnehmer*innen variieren:

- Rondanelli et al. (2016): 130 ältere sarkopenische Personen (53 Männer, 77 Frauen) einer geriatrischen Abteilung für Medizin und Rehabilitation aus Pavia (Italien); Durchschnittsalter 80,3 Jahre.
- Bauer et al. (2015): 380 ältere Erwachsene aus Belgien, Deutschland, Irland, Italien, Schweden und aus dem Vereinigten Königreich mit Sarkopenie; durchschnittliches Alter von 77,7 Jahren.
- Bo et al. (2019): 60 Sarkopenie-Patient*innen im Alter von 60-85 Jahren aus China.
- Lin et al. (2021): 56 ältere Menschen mit durchschnittlich 73 Jahren aus Taiwan.

Diese Heterogenität bestärkt die Aussagekraft, grenzt aber generalisierbare Schlussfolgerungen ein. Bei der Meta-Analyse von Guo et al. wurden 1418 Teilnehmer*innen aus 17 randomisierten kontrollierten Studien (RCTs) (Guo et al., 2022), bei Chang und Choo 637 Teilnehmer*innen aus drei RCTs untersucht (Chang und Choo, 2023).

Als weitere Stärken der Studien kann festgehalten werden, dass alle Punkte der Muskelparameter, sprich Muskelmasse, -kraft und -funktion, einzeln durch individuelle Messmethoden unterschieden wurden (Bo et al., 2019). Studien berichten von einer hohen Therapie-Compliance, sie lag teilweise über 90% und über eine gute Verträglichkeit bei der Aufnahme der Nährstoffe, ohne schwere Nebenwirkungen (Rondanelli et al., 2016).

Schwächen

Zentrale Schwäche der Studien ist die kleine Stichprobengröße, wodurch die statistische Relevanz eingeschränkt wird (Lin et al., 2021). Zudem hatten die meisten Studien nur eine kurze Dauer von 12-13 Wochen, wodurch Aussagen zu Langzeiteffekte ausgeschlossen sind, obwohl sie von großer Bedeutung wären (Bauer et al., 2015). Eine weitere wichtige Limitation ist die Heterogenität der Dosierung bei den Supplementen, wodurch direkte Vergleiche zwischen den Studien nur begrenzt gemacht werden können (Rondanelli et al., 2016). Beispielsweise variiert die Dosierung von Leucin deutlich: In der PROVIDE Studie von Bauer et al. (2015) bekamen die Teilnehmenden 6 g pro Tag, Rondanelli et al. (2016) verwendeten 4 g, Lin et al. (2021) 3,6 g pro Tag und Mori et al., (2022) eine tägliche Menge von 2,3 g. Die Metaanalyse von Huang und Hsieh (2025) teilten somit zur Verbesserung die Studien in „hochdosiert“ mit > 5,5 g pro Tag und „niedrigdosiert“ mit < 5,5 g pro Tag. Die größten Unterschiede zeigten sich bei der täglichen Vitamin D Zufuhr: Die Dosierung reichten von 1600IE (2x800 IE) (Bauer et al. 2015), über 1404 IE (2x702 IE) (Bo et al., 2019) bis hin zu 100 IE pro Tag (Rondanelli et al., 2016). Diese Variabilität der Supplement-Dosierung erschwert Vergleiche und reduziert die Aussagekraft der Intervention. Bo et al. (2019) sehen als weitere Limitation ihrer Studie, dass die Nahrungsaufnahme der Teilnehmer*innen während der Interventionsphase nicht aktiv kontrolliert wurde. Sie wurden nur angewiesen, ihre Ernährungsgewohnheiten nicht zu verändern. Zudem wurde die korrekte Einnahme der Supplemente nur durch ein Einnahmetagebuch und Rückgabe der leeren Behälter kontrolliert (Bo et al., 2019).

Vergleich mit alternativen Therapieoptionen

Die für die Bachelorarbeit durchgeführte Recherchearbeit stimmt mit aktuellen Übersichtsarbeiten überein. Barone et al. (2025) betonten beispielsweise in ihrem Review zum aktuellen Forschungsstand zu Sarkopenie die Wichtigkeit von Molkenprotein, Vitamin D und Leucin und ergänzten eine tägliche Zufuhr von 3 g β -Hydroxy- β -Methylbutyrat (HMB) sowie Omega-3 Fettsäuren (EPA/DHA). HMB besitzt anabole und anti-katabole Effekte, Omega-3 Fettsäuren aktivieren anabole Signalwege. Chronische Entzündungen fördern den Prozess des Muskelabbaus. Das Review verdeutlichte hierbei die entzündungshemmende Wirkung dieser beiden Nährstoffe mit Molkenprotein (Whey), Leucin und Vitamin D, da sie in durchgeführten Studien die Inflammationsmarker C-reaktives Protein (CRP) und Interleukin-2 (IL-2) signifikant senken konnten (Barone et al., 2025). Es sind noch weitere Studien nötig, um optimale Dosierungen, Therapieoptionen und Ergebnisse klar zu definieren.

Im August 2025 veröffentlichte Liu et al. eine randomisierte, doppelblinde, placebokontrollierte Studie, in der die Wirkung der Supplementation von Vitamin C und Vitamin E zusammen mit Widerstandstraining bei älteren Frauen mit Sarkopenie untersucht wurde. Die Studienergebnisse zeigten nach zwölfwöchiger Intervention, dass es zu einer signifikanten Zunahme der appendikulären und Skelettmuskelmasse sowie zur Verbesserung der Handkraftmessung und Kniestreckkraft im Vergleich zur Placebogruppe kam. Zudem kam es zu einer Reduktion von Markern des oxidativen Stresses und inflammationsfördernde Zytokine wie Interleukin-6 (IL-6) (Liu et al., 2025).

Zusammenfassend zeigt die aktuelle Studienlage, dass Sarkopenie eine multifaktorielle Pathophysiologie darstellt, mit mehreren Therapieoptionen. Entscheidend bleibt aber, dass Ernährung einen zentralen Stellenwert einnimmt, insbesondere in Kombination mit einem personalisierten und gezielten Widerstandstraining.

5. Fazit und Schlussfolgerung

In der vorliegenden Bachelorarbeit konnte die Frage zum Einfluss einer gezielten Zufuhr von Molkenprotein (Whey), der essenziellen Aminosäure Leucin, Vitamin D und Kalzium für die Behandlung von Sarkopenie bei älteren Erwachsenen mithilfe einer systematischen Literaturrecherche beantwortet werden. Sie zeigte eindeutig, dass eine kombinierte Supplementation dieser Nährstoffe zusammen mit körperlicher Aktivität zur Verbesserung der Muskelkraft, -masse und -funktion führte (Rondanelli et al., 2016). Mehrere Studien berichteten eine Zunahme der fettfreien Masse (FFM) und der Handkraft, im Vergleich zur Placebogruppe (Rondanelli et al., 2016). Dieser positive Effekt lässt sich durch den synergistischen Mechanismus der gezielten Nährstoffzufuhr und der regelmäßigen körperlichen Bewegung erklären (Cereda et al., 2022).

Im folgenden Abschnitt werden die wichtigsten Prozesse bei einer kombinierten Supplementation aufgelistet:

- Molkenprotein (Whey) steigert die postprandiale Aminosäurenverfügbarkeit (Guo et al., 2022).
- Leucin, aktiviert den mTOR- Signalweg und stimuliert die Muskelproteinsynthese (Guo et al., 2022).
- Vitamin D fördert die neuromuskuläre Funktion und kann somit der anabolen Resistenz des Muskels bei älteren Erwachsenen entgegenwirken (Guo et al., 2022).
- Kalzium trägt indirekt durch seine wichtige Rolle im Knochenstoffwechsel sowohl zur Knochengesundheit als auch zum Muskelerhalt bei (Rondanelli et al., 2016)

Als Fazit lässt sich also folgendes festhalten: Die gezielte Aufnahme von Molkenprotein (Whey), Leucin und Vitamin D führt zur Verbesserung der appendikulären Muskelmasse, sowohl mit als auch ohne begleitende Trainingseinheiten. Dagegen verbesserte sich die Muskelkraft und -funktion, gemessen an der Handkraft und Gehgeschwindigkeit, ausschließlich bei Kombination mit körperlicher Aktivität. Die Meta-Analysen zeigen, dass Leucin

allein keine signifikante Wirkung hat. Nur in Kombination mit den anderen Nährstoffen, insbesondere mit Vitamin D verbessert sich die Muskelmasse. (Guo et al., 2022; Chang und Choo, 2023, Shen et al., 2023).

5.1 Implikation für die Ernährungstherapie

Es kann belegt werden, dass ein kombinierter Ansatz aus Ernährung und ein gezieltes Trainingsprogramm die beste Strategie für Sarkopenie darstellt, um die Muskelmasse, -kraft und -funktion signifikant zu verbessern. Eine mögliche Ernährungstherapie stellt hierbei die Supplementation aus Molkenprotein (Whey), Leucin, Vitamin D und Kalzium dar. Hierbei hat die Recherche ergeben, dass eine ausschließliche Ernährungssupplementation nur einen signifikanten Einfluss auf die Muskelmasse hat, aber nicht auf die Kraft und Funktion (Chang und Choo., 2023). Für den klinischen Alltag zur Behandlung von Sarkopenie ergeben sich hier konkrete Empfehlungen:

- Eine optimale Energiezufuhr ist bei Sarkopenie eine wichtige Voraussetzung. (Cruz-Jentoft et al., 2019; Guo et al. 2022). Die ESPEN Leitlinie aus dem Jahre 2022 für geriatrische Patienten weisen auf eine tägliche Energiezufuhr von 25-30 kcal pro Kilogramm Körpergewicht hin, wobei diese Werte individuell betrachtet werden müssen (Volkert et al., 2022).
- Es wird eine Proteinaufnahme von 1,2-1,5 g pro kg Körpergewicht pro Tag empfohlen (EWGSOP2, 2019).
- Eine Verwendung von hochwertigem Molkenprotein (Whey) zeigt Vorteile, da es schnell verdaulich ist und einen hohen Gehalt an essenziellen Aminosäuren besitzt (Bo et al., 2019).
- Aufnahme von 3 g der essenziellen Aminosäure Leucin pro Tag (Cereda et al., 2022).
- Aufnahme von 800-1000 IE pro Tag an Vitamin D (Uchitomi et al., 2020).

- Eine adäquate Zufuhr an Mikronährstoffen, vor allem Calcium, ist relevant für den Muskel (Van Donkelaar et al., 2023).

Entscheidend ist jedoch die Umsetzung der Forschungsergebnisse in den klinischen Alltag. Die zitierten Studien belegen zwar die Wichtigkeit spezifischer Nährstoffe zur Behandlung von Sarkopenie, geben jedoch begrenzt Informationen zur praktischen Umsetzung für betroffene Patient*innen. Der isolierte Einsatz spezifischer Nährstoffe reicht oft nicht aus, besonders im Bereich der Geriatrie, wo Begleitsymptome wie kognitive Einschränkungen (z.B. Demenz), Appetitlosigkeit, Schluckstörungen, Zahn- oder Prothesenproblemen zentral sein können. Für eine korrekte Implikation und den Therapieerfolg sind individuelle und multiprofessionelle Therapien von großer Bedeutung. Hier wird die Wichtigkeit der Ernährungstherapie deutlich: Sie ermöglicht eine interdisziplinäre und leitlinienbasierte Betreuung, orientiert an die individuellen Bedürfnisse der Patientin bzw. des Patienten. Zu Beginn erfolgt eine ganzheitliche Anamnese zur Erfassung des Ernährungszustandes, um relevante Probleme, Ursachen und Symptome zu dokumentieren und daraus eine ernährungstherapeutische Diagnose aufzustellen. Daraus werden gezielte Umsetzungen für den Alltag gemeinsam erarbeitet, wie zum Beispiel die Anpassung der Mahlzeitenfrequenz, Zubereitungsarten, Konsistenzen und Anreicherungen. Zudem ist eine therapeutische Beziehung zur Motivationssteigerung von großer Bedeutung. Hierbei werden realistische Ziele, Fortschritte und eventuelle Rückschläge mit Lösungsstrategien erarbeitet. Es lässt sich anhand dieser Bemerkungen zusammenfassen, dass eine multimodale Strategie, die einen gezielten Nährstoffeinsatz und körperliche Bewegung kombiniert, als sichere und bedeutsame Therapie zur Behandlung von Sarkopenie bei älteren Erwachsenen darstellt. Für den klinischen Alltag bedeutet dies eine interprofessionelle Zusammenarbeit, um die Lebensqualität der Patient*innen zu verbessern und Morbidität bzw. Mortalität zu reduzieren.

5.2 Aussicht auf zukünftige Forschung

Um die langfristige Wirkung und Sicherheit von Molkenprotein (Whey), Leucin, Vitamin D und Kalzium in Kombination mit körperlicher Aktivität auf die Muskelmasse, -kraft und -funktion noch weitergehend zu bestärken, sind für zukünftige Forschung umfassendere Studien mit längerer Intervention empfehlenswert. Zudem sind Forschungen im Bereich der klinischen Praxis notwendig, um gezielte Behandlungsmöglichkeiten auszuarbeiten und zu bestärken.

Literaturverzeichnis

- Barone, M., Baccaro, P., & Molino, A. (2025). An Overview of Sarcopenia: Focusing on Nutritional Treatment Approaches. *Nutrients*, 17(7), 1237. <https://doi.org/10.3390/nu17071237>
- Bauer, J. M., Verlaan, S., Bautmans, I., Brandt, K., Donini, L. M., Maggio, M., McMurdo, M. E. T., Mets, T., Seal, C., Wijers, S. L., Ceda, G. P., De Vito, G., Donders, G., Drey, M., Greig, C., Holmbäck, U., Narici, M., McPhee, J., Poggiogalle, E., ... Cederholm, T. (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. *Journal of the American Medical Directors Association*, 16(9), 740–747. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2015.05.021>
- Bo, Y., Liu, C., Ji, Z., Yang, R., An, Q., Zhang, X., You, J., Duan, D., Sun, Y., Zhu, Y., Cui, H., & Lu, Q. (2019). A high whey protein, vitamin D and E supplement preserves muscle mass, strength, and quality of life in sarcopenic older adults: A double-blind randomized controlled trial. *Clinical Nutrition*, 38(1), 159–164. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2017.12.020>
- Cereda, E., Pisati, R., Rondanelli, M., & Caccialanza, R. (2022). Whey Protein, Leucine- and Vitamin-D-Enriched Oral Nutritional Supplementation for the Treatment of Sarcopenia. *Nutrients*, 14(7), 1524. <https://doi.org/10.3390/nu14071524>
- Chang, M. C., & Choo, Y. J. (2023a). Effects of Whey Protein, Leucine, and Vitamin D Supplementation in Patients with Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, 15(3), 521. <https://doi.org/10.3390/nu15030521>
- Chang, M. C., & Choo, Y. J. (2023b). Effects of Whey Protein, Leucine, and Vitamin D Supplementation in Patients with Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, 15(3), 521. <https://doi.org/10.3390/nu15030521>

- Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., Cooper, C., Landi, F., Rolland, Y., Sayer, A. A., Schneider, S. M., Sieber, C. C., Topinkova, E., Vandewoude, M., Visser, M., Zamboni, M., Writing Group for the European Working Group on Sarcopenia in Older People 2 (EWGSOP2), and the Extended Group for EWGSOP2, Bautmans, I., Baeyens, J.-P., ... Schols, J. (2019). Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*, 48(1), 16–31. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>
- Donini, L. M., Busetto, L., Bischoff, S. C., Cederholm, T., Ballesteros-Pomar, M. D., Batsis, J. A., Bauer, J. M., Boirie, Y., Cruz-Jentoft, A. J., Dicker, D., Frara, S., Frühbeck, G., Genton, L., Gepner, Y., Giustina, A., Gonzalez, M. C., Han, H.-S., Heymsfield, S. B., Higashiguchi, T., ... Barazzoni, R. (2022). Definition and Diagnostic Criteria for Sarcopenic Obesity: ESPEN and EASO Consensus Statement. *Obesity Facts*, 15(3), 321–335. <https://doi.org/10.1159/000521241>
- Ferrari, U., & Drey, M. (2020). Die aktuelle Sarkopenie-Definition. *DMW - Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 145(18), 1315–1319. <https://doi.org/10.1055/a-0986-2818>
- Fuentes-Barría, H., Aguilera-Eguía, R., Angarita-Davila, L., Rojas-Gómez, D., Alarcón-Rivera, M., López-Soto, O., Maureira-Sánchez, J., Bermúdez, V., Rivera-Porras, D., & Contreras-Velázquez, J. C. (2025). Vitamin D and Sarcopenia: Implications for Muscle Health. *Biomedicines*, 13(8), 1863. <https://doi.org/10.3390/biomedicines13081863>
- Guo, Y., Fu, X., Hu, Q., Chen, L., & Zuo, H. (2022a). The Effect of Leucine Supplementation on Sarcopenia-Related Measures in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of 17 Randomized Controlled Trials. *Frontiers in Nutrition*, 9, 929891. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.929891>
- Guo, Y., Fu, X., Hu, Q., Chen, L., & Zuo, H. (2022b). The Effect of Leucine Supplementation on Sarcopenia-Related Measures in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of 17 Randomized Controlled

- Trials. *Frontiers in Nutrition*, 9, 929891. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.929891>
- Hill, T. R., Verlaan, S., Biesheuvel, E., Eastell, R., Bauer, J. M., Bautmans, I., Brandt, K., Donini, L. M., Maggio, M., Mets, T., Seal, C. J., Wijers, S. L., Sieber, C., Cederholm, T., & Aspray, T. J. (2019). A Vitamin D, Calcium and Leucine-Enriched Whey Protein Nutritional Supplement Improves Measures of Bone Health in Sarcopenic Non-Malnourished Older Adults: The PROVIDE Study. *Calcified Tissue International*, 105(4), 383–391. <https://doi.org/10.1007/s00223-019-00581-6>
- Hong, S., & Choi, K. M. (2020). Sarcopenic Obesity, Insulin Resistance, and Their Implications in Cardiovascular and Metabolic Consequences. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(2), 494. <https://doi.org/10.3390/ijms21020494>
- Huang, C., & Hsieh, M.-H. (2025). Effects of Leucine Supplementation in Older Adults with Sarcopenia: A Meta-Analysis. *Nutrients*, 17(15), 2413. <https://doi.org/10.3390/nu17152413>
- Kamińska, M. S., Rachubińska, K., Grochans, S., Skonieczna-Żydecka, K., Cybulska, A. M., Grochans, E., & Karakiewicz, B. (2023). The Impact of Whey Protein Supplementation on Sarcopenia Progression among the Elderly: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, 15(9), 2039. <https://doi.org/10.3390/nu15092039>
- Kirk, B., Cawthon, P. M., Arai, H., Ávila-Funes, J. A., Barazzoni, R., Bhasin, S., Binder, E. F., Bruyere, O., Cederholm, T., Chen, L.-K., Cooper, C., Duque, G., Fielding, R. A., Guralnik, J., Kiel, D. P., Landi, F., Reginster, J.-Y., Sayer, A. A., Visser, M., ... Luiking, Y. (2024). The Conceptual Definition of Sarcopenia: Delphi Consensus from the Global Leadership Initiative in Sarcopenia (GLIS). *Age and Ageing*, 53(3), afae052. <https://doi.org/10.1093/ageing/afae052>
- Lin, C.-C., Shih, M.-H., Chen, C.-D., & Yeh, S.-L. (2021). Effects of adequate dietary protein with whey protein, leucine, and vitamin D supplementation on sarcopenia in older adults: An open-label, parallel-

- group study. *Clinical Nutrition*, 40(3), 1323–1329.
<https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.08.017>
- Liu, X., Chen, B., Jin, Y., Zhong, F., Zhang, Y., Li, Y., Zhang, Y., Cui, R., Wu, B., Li, C., Xu, S., & Chen, X. (2025). Effects of vitamins C and E supplementation combined with 12-week resistance training in older women with sarcopenia: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Medicine*, 104(34), e43976.
<https://doi.org/10.1097/MD.00000000000043976>
- Lu, L., Mao, L., Feng, Y., Ainsworth, B. E., Liu, Y., & Chen, N. (2021). Effects of different exercise training modes on muscle strength and physical performance in older people with sarcopenia: A systematic review and meta-analysis. *BMC Geriatrics*, 21(1), 708.
<https://doi.org/10.1186/s12877-021-02642-8>
- Malmstrom, T. K., & Morley, J. E. (2013). SARC-F: A simple questionnaire to rapidly diagnose sarcopenia. *Journal of the American Medical Directors Association*, 14(8), 531–532.
<https://doi.org/10.1016/j.jamda.2013.05.018>
- Martínez-Arnau, F. M., Fonfría-Vivas, R., Buigues, C., Castillo, Y., Molina, P., Hoogland, A. J., Van Doesburg, F., Pruijboom, L., Fernández-Garrido, J., & Cauli, O. (2020). Effects of Leucine Administration in Sarcopenia: A Randomized and Placebo-controlled Clinical Trial. *Nutrients*, 12(4), 932. <https://doi.org/10.3390/nu12040932>
- Office of Dietary Supplements, National Institutes of Health. (2023). Vitamin D – Health professional fact sheet. U.S. Department of Health & Human Services. Abgerufen am 01.09.2025, von <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminD-HealthProfessional/>
- Petermann-Rocha, F., Chen, M., Gray, S. R., Ho, F. K., Pell, J. P., & Celis-Morales, C. (2020). Factors associated with sarcopenia: A cross-sectional analysis using UK Biobank. *Maturitas*, 133, 60–67.
<https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2020.01.004>
- Peterson, M. D., Sen, A., & Gordon, P. M. (2011). Influence of Resistance Exercise on Lean Body Mass in Aging Adults: A Meta-Analysis.

- Medicine & Science in Sports & Exercise, 43(2), 249–258.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181eb6265>
- Poggiogalle, E., Lubrano, C., Sergi, G., Coin, A., Gnessi, L., Mariani, S., Lenzi, A., & Donini, L. M. (2016). Sarcopenic obesity and metabolic syndrome in adult Caucasian subjects. *The Journal of Nutrition, Health and Aging*, 20(9), 958–963. <https://doi.org/10.1007/s12603-015-0638-1>
- Rondanelli, M., Cereda, E., Klersy, C., Faliva, M. A., Peroni, G., Nichetti, M., Gasparri, C., Iannello, G., Spadaccini, D., Infantino, V., Caccialanza, R., & Perna, S. (2020). Improving rehabilitation in sarcopenia: A randomized-controlled trial utilizing a muscle-targeted food for special medical purposes. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 11(6), 1535–1547. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12532>
- Rondanelli, M., Klersy, C., Terracol, G., Talluri, J., Maugeri, R., Guido, D., Faliva, M. A., Solerte, B. S., Fioravanti, M., Lukaski, H., & Perna, S. (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. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 103(3), 830–840. <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.113357>
- Santilli, V., Bernetti, A., Mangone, M., & Paoloni, M. (2014). Clinical definition of sarcopenia. *Clinical Cases in Mineral and Bone Metabolism: The Official Journal of the Italian Society of Osteoporosis, Mineral Metabolism, and Skeletal Diseases*, 11(3), 177–180.
- Schaupp, A., Martini, S., Schmidmaier, R., & Drey, M. (2021). Diagnostisches und therapeutisches Vorgehen bei Sarkopenie. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 54(7), 717–724. <https://doi.org/10.1007/s00391-021-01968-7>
- Sergi, G., De Rui, M., Veronese, N., Bolzetta, F., Berton, L., Carraro, S., Bano, G., Coin, A., Manzato, E., & Perissinotto, E. (2015). Assessing appendicular skeletal muscle mass with bioelectrical impedance analysis in free-living Caucasian older adults. *Clinical Nutrition*, 34(4), 667–673. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2014.07.010>

- Shen, Y., Shi, Q., Nong, K., Li, S., Yue, J., Huang, J., Dong, B., Beauchamp, M., & Hao, Q. (2023). Exercise for sarcopenia in older people: A systematic review and network meta-analysis. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 14(3), 1199–1211. <https://doi.org/10.1002/jcsm.13225>
- Tanganelli, F., Meinke, P., Hofmeister, F., Jarmusch, S., Baber, L., Mehaffey, S., Hintze, S., Ferrari, U., Neuerburg, C., Kammerlander, C., Schoser, B., & Drey, M. (2021). Type-2 muscle fiber atrophy is associated with sarcopenia in elderly men with hip fracture. *Experimental Gerontology*, 144, 111171. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2020.111171>
- Uchitomi, R., Oyabu, M., & Kamei, Y. (2020). Vitamin D and Sarcopenia: Potential of Vitamin D Supplementation in Sarcopenia Prevention and Treatment. *Nutrients*, 12(10), 3189. <https://doi.org/10.3390/nu12103189>
- Van Dronkelaar, C., Fultinga, M., Hummel, M., Kruizenga, H., Weijs, P. J. M., & Tieland, M. (2023). Minerals and Sarcopenia in Older Adults: An Updated Systematic Review. *Journal of the American Medical Directors Association*, 24(8), 1163–1172. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2023.05.017>
- Vogele, D., Otto, S., Sollmann, N., Haggemüller, B., Wolf, D., Beer, M., & Schmidt, S. A. (2023). Sarcopenia – Definition, Radiological Diagnosis, Clinical Significance. *RöFo - Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*, 195(05), 393–405. <https://doi.org/10.1055/a-1990-0201>
- Volkert, D., Beck, A. M., Cederholm, T., Cruz-Jentoft, A., Hooper, L., Kiesswetter, E., Maggio, M., Raynaud-Simon, A., Sieber, C., Sobotka, L., Van Asselt, D., Wirth, R., & Bischoff, S. C. (2022). ESPEN practical guideline: Clinical nutrition and hydration in geriatrics. *Clinical Nutrition*, 41(4), 958–989. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2022.01.024>
- Widajanti, N., Hadi, U., Soebagijo Adi Soelistijo, Noer Halimatus Syakdiyah, Roudhona Rosaudyn, & Hendy Bhaskara Perdana Putra. (2024). The Effect of Vitamin D Supplementation to Parameter of Sarcopenia in

Elderly People: A Systematic Review and Meta-Analysis. Canadian Geriatrics Journal, 27(1), 63–75. <https://doi.org/10.5770/cgj.27.694>

Anhang

Übersicht der Eingeschlossenen Studien

Titel, Autor, Jahr	Studiendesign	Ziel der Studie	Stichprobengröße Teilnehmende Studienzeit	Einschlusskriterien und Kontext	Intervention	Ergebnisse
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 Rondanelli et al. 2016	Randomisierte, doppelblinde, placebokontrollierte Studie (RCT)	Hypothese: Nährstoffsupplementierung (Whey, Aminosäure Leucin, Vitamin D) in Kombination mit körperlicher Aktivität Verbesserung der fettfreien Masse (primäres Ziel), Kraft, Funktion und Lebensqualität bei sarcopenischen älteren Menschen.	130 sarcopenische ältere Erwachsene (53 Männer und 77 Frauen), Durchschnittsalter: 80,3 Jahre, Dauer: 12 Wochen	Stationäre ältere Männer und Frauen (>65 Jahre) einer geriatrischen Rehabilitations-Abteilung, ausgeschlossen: Personen mit Herz-, Nieren- oder Lebererkrankungen, akute Krankheiten oder Tumore	Intervention: Tgl. orale Einnahme von 22 g Whey, 10,9 g ess. AS (4 g Leucin) und 100 IE Vit. D. Kontrollgruppe erhielt Maltodextrin (Placebo). Beide Gruppen nahmen am moderaten Training teil.	Messung nach 12 Wochen. FFM (DXA): sign. gestiegen in der Interventionsgruppe (+1,7kg) im Vergleich zu dem Placebo (p<0,001). Handgriffkraft: sign. verbessert in der Interventionsgruppe im Vergleich zum Placebo (p<0,001). Funktion/Lebensqualität: sign. verbessert bei ADL, SF-36 und MNA. Biochemische Marker: IGF-1 sign. erhöht (p=0,002) und CRP sign. gesenkt (p= 0,038).
A high whey protein, vitamin D and E supplement preserves muscle mass, strength and quality of life in sarcopenic older adults: a double blind	Randomisierte, doppelblinde, placebokontrollierte Studie (RCT)	Untersuchung der Wirkung von Nahrungssupplemente mit Whey, Vit. D, E bei Sarkopenie.	60 sarcopenische ältere Erwachsene (27 Männer und 33 Frauen), Alter: 60-85 Jahre, Dauer: 6 Monate	Ältere Menschen mit Sarkopenie nach Diagnose.	Intervention: Tgl. orale Einnahme von 44 g Whey, 1404 IE Vit. D. und 218 mg Vit. E. Kontrollgruppe isokalorisches Produkt. Keine	Messung nach 6 Monaten. Muskelmasse (BIA): sign. gestiegen in Interventionsgruppe im Vergleich zum Placebo (p<0,04). Handgriffkraft: sign. verbessert in der Interventionsgruppe im Vergleich zum Placebo (p=0,009). Funktion/ Lebensqu

Effects of leucine administration in sarcopenia: a randomized and placebo controlled clinical trial Martinez-Arnau et al, 2020	Randomisierte, doppelblinde, placebokontrollierte Studie.	Untersuchung der Leucin-Supplementation auf Muskelmasse, -kraft und funktionelle Leistung bei Sarkopenie.	50 sakopenische ältere Erwachsene (davon geschlossen 42 die Studie ab), Durchschnittsalter: >65 Jahre, Dauer: 13 Wochen	Ältere Menschen mit positiven Sarkopeniekriterien im Pflegeheim, Ausschluss von Personen mit kognitiven Beeinträchtigungen, akute Infektionen und Tumorerkrankungen.	Interventiongruppe: zweimal täglich insgesamt 6g Leucin. Kontrollgruppe 6g Placebo (Laktose). Kein zusätzliches Trainingsprogramm	Messung nach 13 Wochen. Muskelfunktion, gemessen an der Gehgeschwindigkeit verbessert sich in der Interventionsgruppe, Placebogruppe verschlechtert sich. Kein sign. Unterschied bei Parameter der Muskelmasse, -kraft und Entzündungsmarkern.
---	---	---	---	--	---	--

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meiner Erstbetreuerin und zugleich Studiengangsleiterin Monica Gasser, die mich durch ihre fachliche Kompetenz und konstruktiven Rückmeldungen bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt hat. Ihre engagierte Betreuung, ihr kontinuierliches Interesse am Fortschritt meiner Arbeit sowie ihre wertvolle Unterstützung während der gesamten drei Studienjahre haben wesentlich zum Gelingen beigetragen.

Ebenso danke ich meiner Zweitbetreuerin Dr. med. Laura Valzolgher für ihre fachliche Unterstützung, ihre Zeit und die hilfreichen Impulse, die zur inhaltlichen Vertiefung dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein abschließender Dank gilt meiner Familie und meinen Freunden, die mich während der gesamten Studienzeit mit Geduld begleitet und mir in jeder Phase die notwendige Motivation und Unterstützung gegeben haben.

Als einzige Verfasserin dieser Diplomarbeit hafte ich für deren Inhalt im Sinne des Gesetzes über das Urheberrecht. Ich erkläre, diese Arbeit unter Einhaltung der geltenden Bestimmungen des Urheberrechts und des Zivilgesetzbuches selbst verfasst zu haben.

Datum:

Unterschrift:
