

Optimierte Ernährung bei Sarkopenie

Eva Kiesswetter

Die Ernährung wird als ein wesentlicher Faktor in der Genese der Sarkopenie gesehen. Neben einer bedarfsgerechten Energiezufuhr wird dem Protein eine besondere Bedeutung beigemessen. Auch weitere Ernährungsfaktoren wie Vitamin D, Antioxidanzien, Omega-3-Fettsäuren, β -Hydroxy- β -Methylbutyrat und Kreatin sind in den Muskelstoffwechsel involviert und werden hinsichtlich der Prävention und Therapie von Sarkopenie diskutiert.



Eva Kiesswetter

Sarkopenie – Definition und Prävalenz

Sarkopenie beschreibt ein geriatrisches Syndrom, welches durch einen übermäßigen Verlust von Muskelmasse, -kraft und -funktion gekennzeichnet ist (1) und mit Einschränkungen bei Alltagsaktivitäten und einem erhöhten Mortalitätsrisiko einhergeht (2). Aktuelle Operationalisierungsbestrebungen zielen darauf ab, die Sarkopeniediagnostik zu standardisieren. Diesbezüglich wurden in den letzten Jahren von verschiedenen Arbeitsgruppen Kriterien und Grenzwerte veröffentlicht (1, 3, 4) (Tabelle 1). Die jüngst publizierten Kriterien der Foundation for the National Institutes of Health (FNIH) basieren auf einer gemeinsamen Auswertung neun grosser epidemiologischer Studien mit insgesamt mehr als 25 000 Teilnehmern (Männer 75 ± 6 , Frauen 79 ± 6 Jahre) (4). Erstmals wird hier vorgeschlagen, die appendikuläre Muskelmasse nicht wie bis anhin auf die Körpergrösse, sondern auf den Body-Mass-Index zu beziehen (4).

Aufgrund unterschiedlicher Methoden der Sarkopenieerfassung variieren die in bisherigen Studien angegebenen Prävalenzraten erheblich. Für selbstständig lebende Senioren wurden in einer aktuellen Übersichtsarbeit Prävalenzraten zwischen 1 und 29 Prozent beschrieben (5). Für institutionalisierte Senioren sind aufgrund von Multimorbidität sowie funktionellen Einschränkungen generell höhere Prävalenzen zu erwarten. Zurzeit existieren nur wenige Studien, die für den Krankenhausbereich Prävalenzen von 10 (6) und 25 (7) und für den Pflegeheimbereich von 14 (8) und 33 Prozent (9) angeben.

Die Rolle der Ernährung

Die Genese der Sarkopenie wird primär auf altersassoziierte Veränderungen des Stoffwechsels zurückgeführt. Daneben werden neurodegenerative sowie inflammatorische Prozesse als Ursachen diskutiert (1). Einen dritten Ursachenbereich bilden die Lebensstilfaktoren unzureichende körperliche Aktivität und Ernährung. Im Folgenden soll ein Überblick über verschiedene Ernährungsfaktoren gegeben werden, die im Zusammenhang mit Sarkopenie stehen. Ausserdem wird auf die Wechselwirkung zwischen Ernährungs- und Trainingsintervention eingegangen.

Energie

Die Energiezufuhr über die Nahrung ist bei älteren Menschen oft ungenügend. Physiologische Altersveränderungen, die Sinneswahrnehmung, gastrointestinale Funktionen sowie Hunger- und Sättigungsregulation betreffen, können eine Abnahme des Appetits und der Nahrungsmenge bedingen (10). Gesundheitliche, psychologische, soziale und ökonomische Faktoren können sich zudem negativ auf die Nahrungsaufnahme auswirken (11).

Bei einer längerfristigen nicht bedarfsdeckenden Energiezufuhr werden sowohl Körperfett als auch

Tabelle 1:

Kriterien zur Bestimmung von Sarkopenie

	European Working Group on Sarcopenia in older people (EWGSOP) (1)	International Working Group on Sarcopenia (IWGS) (3)	Foundation for the National Institutes of Health (FNIH) (4)
Niedrige Muskelmasse (Referenzwerte für DXA)	ALM [kg/m ²]: Männer $\leq 7,23$ Frauen $\leq 5,67$	ALM [kg/m ²]: Männer $\leq 7,23$ Frauen $\leq 5,67$	ALM [kg/BMI]: Männer $< 0,789$ Frauen $< 0,512$
Langsame Gehgeschwindigkeit	$\leq 0,8$ m/s	$< 1,0$ m/s	$\leq 0,8$ m/s
Schwache Handkraft	Männer < 30 kg Frauen < 20 kg	–	Männer < 26 kg Frauen < 16 kg

DXA: Dual-X-Ray-Absorptiometrie; ALM: appendikuläre Skelettmuskelmasse; BMI: Body-Mass-Index

Muskelmasse abgebaut. Der damit verbundene Gewichtsverlust scheint bei älteren Menschen stärker zu lasten der Muskelmasse zu gehen als bei jüngeren Menschen (12, 13). Auch bei einem teilweisen oder vollständigen Ausgleich des Gewichtsverlustes ist es für ältere Menschen schwierig, das ursprüngliche Muskelmasseniveau wieder zu erreichen. Es kommt zu einer ungünstigen Verschiebung der Anteile von Fett- und fettfreier Masse (12, 13). Ein Gewichtsverlust kann somit den altersbedingten Verlust an Muskelmasse noch verstärken.

Mangelernährung ist ein wesentlicher Risikofaktor für die Entstehung von Sarkopenie. Neben dem Sarkopenie-Screening sollte daher auch die regelmässige Bestimmung des Ernährungszustands in die klinische Routine integriert werden, da sie Anhaltspunkte bezüglich des Sarkopenierisikos geben kann.

Protein

Protein ist der Nährstoff, dem im Hinblick auf Sarkopenie die meiste Bedeutung geschenkt wird, da die Muskelfunktion wesentlich über Proteine bestimmt wird. Eine Atrophie der Muskelmasse resultiert aus einem Ungleichgewicht zwischen Muskelproteinsynthese und -abbau. Bei älteren Menschen scheint der Muskel weniger stark auf anabole Stimuli – wie die Aufnahme von Nahrungsprotein – zu reagieren als bei jüngeren Erwachsenen (15). Als Auslöser der «anabolen Resistenz» kommen nach gegenwärtigem Wissensstand inflammatorische Prozesse, eine verminderte postprandiale Verfügbarkeit von Aminosäuren, Insulinresistenz und Dysregulationen intrazellulärer Signalwege infrage (15, 16). Unter Präventions- und Interventionsgesichtspunkten erscheinen bezüglich der Proteinzufuhr besonders die Menge, die Qualität, die Verteilung über die Mahlzeiten und der Zeitpunkt der Zufuhr relevant.

a) Proteinmenge

Die derzeitige Empfehlung der deutschen, österreichischen und schweizerischen Ernährungsfachgesellschaften (D-A-CH) für die tägliche Proteinzufuhr für Senioren liegt bei 0,8 g pro Kilogramm Körpergewicht und unterscheidet sich nicht von der für jüngere Erwachsene (17). Die Empfehlungen basieren vorwiegend auf Messungen der Stickstoffbilanz (17). Neuere experimentelle und epidemiologische Studien indizieren, dass diese Menge zu gering ist, um die Muskelproteinsynthese im Alter optimal zu stimulieren und dem Verlust von Muskelmasse entgegenzuwirken (18, 19). In der Health-ABC-Studie nahm beispielsweise die Magermasse der älteren Studienteilnehmer über einen Zeitraum von drei Jahren in der höchsten Quintile der Proteinzufuhr (1,1 g/kg KG/Tag) um zirka 40 Prozent weniger ab als in der niedrigsten Quintile (0,7 g/kg KG/Tag) (18). In aktuell publizierten Positionspapieren verschiedener Expertengruppen (PROT-AGE, ESPEN) wird daher eine höhere optimale tägliche Proteinzufuhr von 1 bis 1,2 g pro Kilogramm Körpergewicht für gesunde Senioren empfohlen, um dem Abbau von Muskelmasse entgegenzuwirken (20, 21).

Tabelle 2:

Beispielmahlzeiten, die mindestens 25 g Protein und 2,5 g Leucin enthalten

(nicht für einen Tag bilanziert)

	Protein (g)	Leucin (g)
Frühstück		
2 Scheiben Vollkornbrot mit Leinsamen	8,4	0,6
1 Scheibe Schnittkäse (min. 40% Fett i. Tr.)	7,9	0,7
1 Scheibe gekochter Schinken	5,7	0,4
Butter (10 g)	0,1	0,0
250 ml Milch	6,8	0,8
Gesamt	28,9	2,5
Mittagessen		
Lachsfilet (125 g)	25,6	2,1
Rahmspinat (150 g)	4,6	0,4
Salzkartoffeln (200 g)	3,7	0,2
Gesamt	33,9	2,7
Abendessen		
1 Roggenbrötchen	6,3	0,4
Körniger Frischkäse (75 g)	9,2	0,9
1 Scheibe Vollkornbrot	3,6	0,2
1 Scheibe Hartkäse (min. 45% Fett i. Tr.)	8,3	0,7
Rohkost (150 g)	4,1	0,3
Gesamt	31,5	2,5

b) Proteinqualität

Nahrungsproteine wie Molkeprotein, Kasein oder Sojaprotein unterscheiden sich in ihrer Aminosäurezusammensetzung. Als besonders wertvoll wird das Molkeprotein angesehen. Studien zeigen, dass Molkeprotein gegenüber Kasein schneller verdaut wird, sodass es postprandial zu einem früheren und höheren Anstieg der Aminosäuren im Blut kommt, welcher sich positiv auf die Stimulation der Muskelproteinsynthese auswirkt (22). In diesem Zusammenhang spricht man auch von «schnellen» und «langsamen» Proteinen (22). Neben der schnellen Verwertbarkeit wird auch der hohe Leucingehalt des Molkeproteins als positiv für die Muskelproteinsynthese gesehen. Leucin gehört zu den essenziellen Aminosäuren und ist nicht nur ein wichtiges Substrat für die Muskelproteinsynthese, sondern dient auch der Aktivierung von Signalwegen zur Stimulation der Proteinsynthese (23). Es wird angenommen, dass eine Leucinschwelle von zirka 2,5 bis 3 g pro Mahlzeit überschritten werden muss (Tabelle 2), um die postprandiale Muskelproteinsynthese zu stimulieren (16).

c) Proteinverteilung über die Mahlzeiten

Aufgrund von Hinweisen, dass bei älteren Menschen eine bestimmte Proteinmenge pro Mahlzeit überschritten werden muss, um die postprandiale Muskelproteinsynthese zu stimulieren (16), und Studienergebnissen, die zeigen, dass diese bei einer Gabe von 25 bis 30 g Protein maximal stimuliert wird (24), wird eine gleichmässige Verteilung der Proteinzufuhr über die Hauptmahlzeiten (Beispiel Tabelle 2) gegenüber dem sogenannten «pulse feeding», bei dem der Hauptproteinanteil zum Mittag- oder Abendessen eingenommen wird, empfohlen (25). Andere Forschergruppen gehen dagegen davon aus, dass die anabole Antwort mit zunehmender Proteinmenge in den

Mahlzeiten ansteigt, da einerseits die Proteinsynthese stimuliert und andererseits durch eine zunehmende Insulinausschüttung der Proteinabbau gehemmt wird (26). In einer aktuellen Studie wurde beobachtet, dass zwar die tägliche Proteingesamtzufuhr (0,8 g/kg KG vs. 1,5 g/kg KG) einen positiven Einfluss auf die Proteinsynthese und die Proteinbilanz hat, nicht aber die Proteinverteilung über die Mahlzeiten (gleichmässig vs. ungleichmässig) (19). Welches Konzept sich durchsetzen wird, müssen weitere Studien zeigen.

d) Zeitpunkt der Einnahme,

Proteinsupplementation und Training

Neben der Ernährung stimuliert auch körperliche Aktivität die Muskelproteinsynthese. In einer Studie mit älteren Männern (~ 75 Jahre) hatte ein kombiniertes Ausdauer- und Krafttraining einen zusätzlichen Effekt auf die postprandiale Muskelproteinsynthese nach Gabe von 20 g Protein (27). Dieser Effekt scheint auch noch einige Tage nach dem Training anzuhalten (15). Auf der anderen Seite wird davon ausgegangen, dass die anabole Resistenz durch Inaktivität verstärkt wird (15). Vom physiologischen Standpunkt her erscheinen daher kombinierte Interventionen, bestehend aus Proteinsupplementierung und körperlichem Training, besonders effektiv zur Prävention und Therapie von Sarkopenie. Die Ergebnisse einzelner Interventionsstudien bei älteren Menschen sind allerdings uneinheitlich hinsichtlich ihrer Effekte auf Muskelmasse, Kraft und Funktion (28, 29). Die Untersuchungsprotokolle der Studien unterscheiden sich deutlich bezüglich Studienpopulation, Art der Supplementierung (quantitativ, qualitativ), Dauer der Intervention, Gestaltung der Kontrollbedingungen, Motivation der Patienten und der Operationalisierung der Outcome-Kriterien. In einer Metaanalyse wurde geprüft, ob eine Proteinsupplementation (min. 1,2 g/kg KG/Tag) bei älteren Menschen (> 50 Jahre) einen zusätzlichen Effekt gegenüber singulärem Krafttraining (min. 6 Wochen) auf fettfreie Körpermasse und Kraft (Maximalkraft Beinpresse) hat (30). Während in den einzelnen Studien keine Interventionseffekte festgestellt wurden, ergab die Metaanalyse eine signifikante Zunahme der fettfreien Masse um durchschnittlich 0,48 kg und eine Kraftzunahme um durchschnittlich 13,1 kg gegenüber der Kontrollgruppe (30).

β -Hydroxy- β -Methylbutyrat (HMB)

HMB ist ein Metabolit des Leucins und kommt in den menschlichen Muskelzellen vor. Ihm werden positive Wirkungen auf die Proteinbilanz durch eine Steigerung der Proteinsynthese und eine Hemmung des Abbaus zugeschrieben (31). Daher wird HMB auch als potenzieller Kandidat zur Prävention und Therapie der Sarkopenie gesehen. Unterschiedliche randomisiert kontrollierte Studien zeigen zum Teil positive Effekte durch die Supplementation von HMB auf Muskelmasse, Kraft und Funktion (32–35). Die Studien waren hinsichtlich der HMB-Gabe (2–3 g/Tag) vergleichbar, unterschieden sich jedoch bezüglich der Dauer sowie zusätzlicher Interventionsstrategien. Trotz einiger positiver Effekte

lassen sich keine eindeutigen Empfehlungen für eine HMB-Supplementation ableiten, da insbesondere noch weitere Studien mit längeren Interventionszeiträumen benötigt werden.

Kreatin

Kreatin wird sowohl endogen synthetisiert als auch über Nahrung aufgenommen. Der grösste Kreatinspeicher ist der Muskel. In Form von Kreatinphosphat spielt es eine wichtige Rolle für die Energiebereitstellung während der Muskelkontraktion. Athleten supplementieren Kreatin zur Erhöhung der Muskelkraft und Verbesserung der anaeroben Ausdauer (36). Zudem zeigen Studien positive Effekte auf die Kraftentwicklung bei Patienten mit Muskeldystrophien sowie bei der Reduktion von Zellschäden und Inflammation nach intensiven Laufeinheiten (37, 38). Eine Metaanalyse, die auf zehn Studien basiert, untersuchte, ob eine Kreatinsupplementation einen zusätzlichen Effekt gegenüber singulärem Krafttraining auf Magermasse, Kraft und Funktion bei älteren Menschen hat (39). Es zeigten sich positive Effekte auf Magermasse, einige, aber nicht alle erfassten Kraftparameter sowie auf die Leistung beim 30-Sekunden-Aufstehetest (39). Für Kreatin mangelt es an systematischen Dosisstudien über längere Interventionszeiträume. Die über die normale Nahrung aufgenommenen Kreatinmengen (1–2 g/Tag) sind vermutlich zu gering, um positive Effekte auszulösen.

Vitamin D

Vitamin D ist das einzige Vitamin, das vom Körper selbst mithilfe von UV-Strahlung gebildet werden kann. Bei älteren Menschen sind die Vitamin-D-Spiegel häufig erniedrigt (40), was primär auf eine verminderte Vitaminbildungsfähigkeit der Haut sowie auf unregelmässige Aufenthalte im Freien zurückzuführen ist. Neben Effekten auf den Knochenstoffwechsel werden Vitamin D auch Funktionen im Muskelstoffwechsel zugesprochen. Es werden indirekte Effekte über Kalzium und Phosphor als auch direkte Effekte über die Aktivierung des Vitamin-D-Rezeptors auf den Skelettmuskelzellen diskutiert (41). In einigen epidemiologischen Studien werden Assoziationen zwischen Vitamin D und einzelnen Diagnosekriterien für Sarkopenie beschrieben. Beispielsweise zeigte eine Studie mit Senioren zwischen 60 und 90 Jahren, dass niedrige Serum-Vitamin-D-Spiegel (< 40 nmol/l) mit einer langsameren Gehgeschwindigkeit assoziiert waren, verglichen mit höheren Serumspiegeln (42). In der Longitudinal Aging Study Amsterdam nahm die Handkraft der Teilnehmer mit niedrigen Serum-Vitamin-D-Spiegeln (< 25 nmol/l) über einen Zeitraum von drei Jahren stärker ab als bei Teilnehmern mit höheren Vitamin-D-Spiegeln. Ein ähnlicher Trend konnte auch für die Abnahme der appendikulären Muskelmasse festgestellt werden (43). Darüber hinaus zeigten einige Interventionsstudien bei älteren Menschen einen positiven Effekt einer Vitamin-D-Supplementation auf Muskelkraft und körperliche Funktion (44).

«Vitamin D ist das einzige Vitamin, das vom Körper selbst mithilfe von UV-Strahlung gebildet werden kann.»

Tabelle 3:

Mögliche ernährungsstrategische Massnahmen im Rahmen der Sarkopenieprävention

Praktische Hinweise

Ernährungszustand:

- Regelmässiges Screening
- Gewichtskontrolle

Energie:

- Bedarfsdeckende Energiezufuhr (24–36 kcal/kg KG/Tag)

Protein:

- Menge: 1 bis 1,2 g/kg KG/Tag für gesunde Senioren
- Verteilung: 25 bis 30 g hochwertiges Protein pro Mahlzeit
- Leucin: 2,5 bis 3 g pro Mahlzeit

Andere Nährstoffe:

- Vitamin D: 800 IU/Tag
- Antioxidanzien: regelmässiger Verzehr von Obst und Gemüse
- ω -3 Fettsäuren: regelmässiger Verzehr von fettem Seefisch und pflanzlichen Ölen (z.B. Rapsöl)

Körperliche Aktivität:

- Mehrmals pro Woche Bewegung oder Training

Bis heute fehlen Interventionsstudien, die einen möglichen Effekt einer Vitamin-D-Supplementation bei sarkopenen Senioren untersuchen.

Antioxidanzien

Oxidativer Stress und die Anhäufung reaktiver Sauerstoffspezies können die Mitochondrienfunktion stören und proteolytische sowie apoptotische Prozesse verstärken und somit Muskelzellen schädigen (45). Die Zufuhr von Antioxidanzien wie Vitamin C und E oder Carotinoiden könnten dazu beitragen, oxidative Schädigungen des Muskels zu reduzieren, und somit dem Verlust von Muskelmasse entgegenwirken. Während Evidenz aus randomisiert kontrollierten Studien fehlt, zeigen einige Beobachtungsstudien positive Assoziationen zwischen der Aufnahme von Antioxidanzien beziehungsweise dem antioxidativen Status und verschiedenen Funktionsparametern. In der InCHIANTI-Studie mit älteren Studienteilnehmern (~ 75 Jahre) war nur die Zufuhr von Vitamin C, nicht aber die Zufuhr von Vitamin E, Retinol und β -Carotin mit der Beinkraft und der körperlichen Leistungsfähigkeit assoziiert (46). In der gleichen Studie konnte ein Zusammenhang zwischen niedrigen Carotinoid-Plasma-Konzentrationen zu Studienbeginn und der Abnahme der Bein- und Handkraft nach sechs Jahren gezeigt werden (47).

Aufgrund der aktuellen Studienlage ist es noch nicht möglich, spezifische Empfehlungen für die Zufuhr von Antioxidanzien im Rahmen der Sarkopenieprävention und -therapie abzuleiten.

Omega-3-Fettsäuren

Wie zuvor bereits erwähnt, scheint bei älteren Menschen eine anabole Resistenz gegenüber nahrungsinduzierten Stimuli zu einer verminderten Muskelproteinsynthese zu führen. Es ist wahrscheinlich, dass entzündliche Prozesse die anabole Resistenz mitbedingen (48). Omega-3-Fettsäuren werden aller-

dings nicht nur aufgrund ihrer antiinflammatorischen Eigenschaften im Hinblick auf Sarkopenie diskutiert, sondern auch wegen ihres Einflusses auf die Insulinresistenz sowie ihrer Rolle bei der Aktivierung von Signalproteinen (49). In einer 8-wöchigen randomisiert kontrollierten Studie mit 16 Senioren (≥ 65 Jahre) konnte durch die Supplementation von Omega-3-Fettsäuren (1,86 g Eicosapentaensäure + 1,5 g Docosahexaensäure/Tag) die Muskelproteinsynthese nach Infusion von Aminosäuren und Insulin signifikant gesteigert werden (48). Eine weitere randomisiert kontrollierte Studie konnte keine Effekte einer 12-wöchigen Alpha-Linolensäure-Supplementation (30 ml Leinöl/Tag) in Kombination mit einem Krafttraining (3 \times /Woche) gegenüber der Gabe eines Placebos in Kombination mit Krafttraining auf Muskelmasse und -kraft zeigen (50).

Die Supplementation von Omega-3-Fettsäuren könnte eine einfache und sichere Massnahme zur Sarkopenieprävention darstellen. Allerdings sind die genauen Wirkmechanismen noch nicht vollständig geklärt, und es bedarf weiterer Interventionsstudien, um die mögliche Wirkung von Omega-3-Fettsäuren auf Muskelmasse, -kraft und -funktion nachzuweisen und Aussagen über die Dosierung machen zu können.

Fazit

Zahlreiche Ernährungsfaktoren, die wegen ihrer physiologischen Funktionen in Zusammenhang mit Sarkopenie bedeutsam erschienen, erweisen sich aufgrund epidemiologischer und experimenteller Studien in diesem Untersuchungsfeld als Kandidaten für präventive und therapeutische Massnahmen. Die Komplexität der Ernährungssituation bei älteren Menschen und der damit verbundene Untersuchungsaufwand sind Gründe, weshalb es in verschiedenen Teilbereichen noch an hochwertigen, theoriegeleiteten und randomisiert kontrollierten Studien fehlt. Um den Praxisbezug zu erhöhen, ist es in zukünftigen Interventionsstudien sinnvoll, verstärkt den Ernährungszustand, die üblichen Ernährungsgewohnheiten, den Zeitpunkt und die Akzeptanz der Supplementgabe zu berücksichtigen (28).

Die Implementierung von Ernährungsstrategien, die eine bedarfsdeckende Energiezufuhr sowie den regelmässigen Verzehr hochwertiger Proteinquellen, zum Beispiel von Milchprodukten, pflanzlichen Ölen sowie von Obst und Gemüse, berücksichtigen, kann die Ernährung älterer Menschen optimieren und möglicherweise einen Beitrag zur Sarkopenieprävention leisten (Tabelle 3). Der körperlichen Aktivität kommt in Zusammenhang mit der Nahrungsstoffwechselung und dem Muskelaufbau eine stimulierende Bedeutung zu.

Korrespondenzadresse:

Dr. Eva Kiesswetter
Institut für Biomedizin des Alterns
Kobergerstrasse 60
D-90408 Nürnberg
E-Mail: eva.kiesswetter@fau.de

«Die Supplementation von Omega-3-Fettsäuren könnte eine einfache und sichere Massnahme zur Sarkopenieprävention darstellen.»

Literatur:

1. Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM et al.: Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Ageing* 2010; 39: 412-423.
2. Bianchi L, Ferrucci L, Cherubini A et al.: The Predictive Value of the EWGSOP Definition of Sarcopenia: Results from the InCHIANTI Study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2015, DOI: 10.1093/gerona/glv129.
3. Fielding RA, Vellas B, Evans WJ et al.: Sarcopenia: an undiagnosed condition in older adults. Current consensus definition: prevalence, etiology, and consequences. International working group on sarcopenia. *J Am Med Dir Assoc* 2011; 12: 249-256.
4. Studenski SA, Peters KW, Alley DE et al.: The FNIH sarcopenia project: rationale, study description, conference recommendations, and final estimates. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2014; 69: 547-558.
5. Cruz-Jentoft AJ, Landi F, Schneider SM et al.: Prevalence of and interventions for sarcopenia in ageing adults: a systematic review. Report of the International Sarcopenia Initiative (EWGSOP and IWGS). *Age Ageing* 2014; 43: 748-759.
6. Gariballa S, Alessa A: Sarcopenia: prevalence and prognostic significance in hospitalized patients. *Clin Nutr* 2013; 32: 772-776.
7. Smoliner C, Sieber CC, Wirth R: Prevalence of sarcopenia in geriatric hospitalized patients. *J Am Med Dir Assoc* 2014; 15: 267-272.
8. Bastiaanse LP, Hilgenkamp TI, Echteld MA et al.: Prevalence and associated factors of sarcopenia in older adults with intellectual disabilities. *Res Dev Disabil* 2012; 33: 2004-2012.
9. Landi F, Liperoti R, Fusco D et al.: Sarcopenia and mortality among older nursing home residents. *J Am Med Dir Assoc* 2012; 13: 121-126.
10. Morley JE: Nutrition in the elderly. Current opinion in gastroenterology 2002; 18: 240-245
11. Payette H, Shatenstein B: Determinants of healthy eating in community-dwelling elderly people. *Can J Public Health* 2005; 96 Suppl 3: S27-31, S30-35.
12. Newman AB, Lee JS, Visser M et al.: Weight change and the conservation of lean mass in old age: the Health, Aging and Body Composition Study. *Am J Clin Nutr* 2005; 82: 872-878; quiz 915-876.
13. Hebuterne X, Bermon S, Schneider SM: Ageing and muscle: the effects of malnutrition, re-nutrition, and physical exercise. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2001; 4: 295-300.
14. Kiesswetter E, Pohlhausen S, Uhlig K et al.: Malnutrition is related to functional impairment in older adults receiving home care. *J Nutr Health Aging* 2013; 17: 345-350.
15. Burd NA, Gorissen SH, van Loon LJ: Anabolic resistance of muscle protein synthesis with aging. *Exerc Sport Sci Rev* 2013; 41: 169-173.
16. Breen L, Phillips SM: Skeletal muscle protein metabolism in the elderly: Interventions to counteract the 'anabolic resistance' of ageing. *Nutr Metab (Lond)* 2011; 8: 68.
17. Deutsche Gesellschaft für Ernährung, Österreichische Gesellschaft für Ernährung, Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung, Schweizerische Vereinigung für Ernährung, Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr 5. Aufl. Bonn: Deutsche Gesellschaft für Ernährung; 2013.
18. Houston DK, Nicklas BJ, Ding J et al.: Dietary protein intake is associated with lean mass change in older, community-dwelling adults: the Health, Aging, and Body Composition (Health ABC) Study. *Am J Clin Nutr* 2008; 87: 150-155.
19. Kim IY, Schutzler S, Schrader A et al.: Quantity of dietary protein intake, but not pattern of intake, affects net protein balance primarily through differences in protein synthesis in older adults. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2015; 308: E21-28.
20. Bauer J, Biolo G, Cederholm T et al.: Evidence-based recommendations for optimal dietary protein intake in older people: a position paper from the PROT-AGE Study Group. *J Am Med Dir Assoc* 2013; 14: 542-559.
21. Deutz NE, Bauer JM, Barazzoni R et al.: Protein intake and exercise for optimal muscle function with aging: recommendations from the ESPEN Expert Group. *Clin Nutr* 2014; 33: 929-936.
22. Pennings B, Boirie Y, Senden JM et al.: Whey protein stimulates postprandial muscle protein accretion more effectively than do casein and casein hydrolysate in older men. *Am J Clin Nutr* 2011; 93: 997-1005.
23. Duan Y, Li F, Li Y et al.: The role of leucine and its metabolites in protein and energy metabolism. *Amino Acids* 2015, DOI: 10.1007/s00726-015-2067-1.
24. Symons TB, Sheffield-Moore M, Wolfe RR et al.: A moderate serving of high-quality protein maximally stimulates skeletal muscle protein synthesis in young and elderly subjects. *J Am Diet Assoc* 2009; 109: 1582-1586.
25. Paddon-Jones D, Rasmussen BB: Dietary protein recommendations and the prevention of sarcopenia. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2009; 12: 86-90.
26. Deutz NE, Wolfe RR: Is there a maximal anabolic response to protein intake with a meal? *Clin Nutr* 2013; 32: 309-313.
27. Pennings B, Koopman R, Beelen M et al.: Exercising before protein intake allows for greater use of dietary protein-derived amino acids for de novo muscle protein synthesis in both young and elderly men. *Am J Clin Nutr* 2011; 93: 322-331.
28. Hickson M: Nutritional interventions in sarcopenia: a critical review. *Proc Nutr Soc* 2015, DOI: 10.1017/s0029665115002049: 1-9.
29. Denison HJ, Cooper C, Sayer AA et al.: Prevention and optimal management of sarcopenia: a review of combined exercise and nutrition interventions to improve muscle outcomes in older people. *Clin Interv Aging* 2015; 10: 859-869.
30. Cermak NM, Res PT, de Groot LC et al.: Protein supplementation augments the adaptive response of skeletal muscle to resistance-type exercise training: a meta-analysis. *Biomed Res Int* 2012; 96: 1454-1464.
31. Fitschen PJ, Wilson GJ, Wilson JM et al.: Efficacy of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate supplementation in elderly and clinical populations. *Nutrition* 2013; 29: 29-36.
32. Deutz NE, Pereira SL, Hays NP et al.: Effect of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) on lean body mass during 10 days of bed rest in older adults. *Clin Nutr* 2013; 32: 704-712.
33. Vukovich MD, Stubbs NB, Bohlen RM: Body composition in 70-year-old adults responds to dietary beta-hydroxy-beta-methylbutyrate similarly to that of young adults. *J Nutr* 2001; 131: 2049-2052.
34. Baier S, Johannsen D, Abumrad N et al.: Year-long changes in protein metabolism in elderly men and women supplemented with a nutrition cocktail of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB), L-arginine, and L-lysine. *J Parenter Enteral Nutr* 2009; 33: 71-82.
35. Flakoll P, Sharp R, Baier S et al.: Effect of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate, arginine, and lysine supplementation on strength, functionality, body composition, and protein metabolism in elderly women. *Nutrition* 2004; 20: 445-451.
36. Gualano B, Roschel H, Lancha-Jr AH et al.: In sickness and in health: the widespread application of creatine supplementation. *Amino Acids* 2012; 43: 519-529.
37. Kley RA, Tarnopolsky MA, Vorgerd M: Creatine for treating muscle disorders. *Cochrane Database Syst Rev* 2013; 6: Cd004760.
38. Santos RV, Bassit RA, Caperuto EC et al.: The effect of creatine supplementation upon inflammatory and muscle soreness markers after a 30 km race. *Life Sci* 2004; 75: 1917-1924
39. Devries MC, Phillips SM: Creatine supplementation during resistance training in older adults-a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2014; 46: 1194-1203.
40. Visser M, Deeg DJ, Puts MT et al.: Low serum concentrations of 25-hydroxyvitamin D in older persons and the risk of nursing home admission. *Am J Clin Nutr* 2006; 84: 616-622; quiz 671-612.
41. Ceglia L, Harris SS: Vitamin D and its role in skeletal muscle. *Calcif Tissue Int* 2013; 92: 151-162.
42. Bischoff-Ferrari HA, Dietrich T, Orav EJ et al.: Higher 25-hydroxyvitamin D concentrations are associated with better lower-extremity function in both active and inactive persons aged > or =60 y. *Am J Clin Nutr* 2004; 80: 752-758.
43. Visser M, Deeg DJ, Lips P: Low vitamin D and high parathyroid hormone levels as determinants of loss of muscle strength and muscle mass (sarcopenia): the Longitudinal Aging Study Amsterdam. *J Clin Endocrinol Metab* 2003; 88: 5766-5772.
44. Annweiler C, Schott AM, Berrut G et al.: Vitamin D-related changes in physical performance: a systematic review. *J Nutr Health Aging* 2009; 13: 893-898.
45. Kim JS, Wilson JM, Lee SR: Dietary implications on mechanisms of sarcopenia: roles of protein, amino acids and antioxidants. *J Nutr Biochem* 2010; 21: 1-13.
46. Cesari M, Pahor M, Bartali B et al.: Antioxidants and physical performance in elderly persons: the Invecchiare in Chianti (InCHIANTI) study. *Am J Clin Nutr* 2004; 79: 289-294.
47. Lauretani F, Semba RD, Bandinelli S et al.: Low plasma carotenoids and skeletal muscle strength decline over 6 years. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2008; 63: 376-383.
48. Smith GI, Atherton P, Reeds DN et al.: Dietary omega-3 fatty acid supplementation increases the rate of muscle protein synthesis in older adults: a randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr* 2011; 93: 402-412.
49. Rondanelli M, Faliva M, Monteferrario F et al.: Novel insights on nutrient management of sarcopenia in elderly. 2015; 524948.
50. Cornish SM, Chilibeck PD: Alpha-linolenic acid supplementation and resistance training in older adults. *Appl Physiol Nutr Metab* 2009; 34: 49-59.