

Über den Zusammenhang von Proteinen und Muskelhypertrophie

Die Rolle von Nahrungsproteinen und körperlichem Training bei Muskelprotein-Synthese und Muskelhypertrophie: Eine Dosis-Wirkungs-Beziehung. Zusammenfassung und Bewertung eines Reviews.

Von J. Reichhardt, Facharzt für Innere Medizin und Pneumologie

Der Einsatz von hochwertigen Proteinen in der Ernährungsmedizin dient dem Erhalt von Muskulatur, dem Muskelaufbau und der Verhinderung eines Muskelabbaus. Trotz – oder gerade wegen – der Werbeversprechen zahlreicher Produzenten, die Produkte für einen „Healthy Protein Lifestyle“ propagieren, brauchen sowohl Menschen mit Adipositas als auch Sportler eine professionelle Beratung. Diese wiederum setzt tiefgehende Kenntnisse über die Wirkung von Proteinen auf die Muskelprotein-Synthese voraus. Ganz besonders ist das der Fall, wenn Proteinsubstitution bei Erkrankungen eingesetzt wird.

Wie hochwertige Nahrungsproteine wirken, wenn sie zielgerichtet und physiologisch adäquat substituiert werden, darauf geht ein umfangreiches Review von T. Stokes et. al. aus dem Jahr 2018 ein. Es untersucht die grundlegenden Beziehungen von Protein-Wirkung und Protein-Dosis im Zusammenhang mit körperlicher Aktivität an Gesunden und Sportlern. Hier eine Zusammenfassung und Bewertung des Reviews:

Recent Perspectives Regarding the Role of Dietary Protein for the Promotion of Muscle Hypertrophy with Resistance Exercise Training. (1)

Kinetik des Muskelproteinstoffwechsels und Zusammenhang mit körperlichem Training

Einleitend wird im Review die entscheidende Bedeutung der Erhaltung der Skelettmuskelmasse hervorgehoben, um metabolische Gesundheit und Mobilität über die Lebenszeit zu bewahren. Neben dem Aufbau von kontraktile Kraft durch Myofibrillen sichert der Skelettmuskel hauptsächlich die postprandiale Glukosebereitstellung (postprandial = nach einer Mahlzeit). Damit hat er auch den größten Anteil am Ruheenergiebedarf.

Bei Sportlern besteht jenseits der Bedeutung des Skelettmuskels für die Gesundheit ein hohes Interesse daran, die Skelettmuskulatur an ein bestimmtes Training anzupassen. Ziel ist eine Leistungssteigerung.

Die Antwort des Skelettmuskels auf eine veränderte Ernährung und auf unterschiedliche kontraktile Stimulation ist wissenschaftlich ausführlich untersucht. Dabei gilt, dass die Stärke des Skelettmuskels abhängig ist von kinetischen Prozessen, welche sowohl die Muskelprotein-Synthese (MPS) als auch den Muskelprotein-Abbau (MP Breakdown) betreffen. Somit ist die Stärke des Skelettmuskels letztlich abhängig von der Netto-Protein-Bilanz (NPB).

Eine erhöhte Anforderung an den Skelettmuskel (= Training) und ein gleichzeitig über die Nahrungsaufnahme erhöhter Aminosäuregehalt im Blut wirken sich unabhängig voneinander positiv auf die Netto-Protein-Bilanz aus. So kann schon durch eine einzige resistive Trainingseinheit (Widerstandstraining) eine MPS ausgelöst werden, die 100 Prozent oberhalb des Basalwertes (Ausgangswertes) liegt. Trotzdem kann die Netto-Protein-Bilanz negativ bleiben, weil gleichzeitig durch das Training immer auch ein Muskelprotein-Abbau (MPB) hervorgerufen wird.

Wenn – und nur wenn – im Anschluss an das Training ein hochwertiges Protein aufgenommen (= verzehrt) wird, kommt es zu einem weiteren, synergistischen Effekt auf die MPS. Auch die Netto-Protein-Bilanz bleibt danach länger positiv. Wiederholte Trainingsrunden in Kombination mit einer nachfolgenden Protein-Aufnahme erhöhen die NPB, woraus ein Zuwachs an Muskelprotein resultiert.

Wie viel Protein kann ein Muskel verwerten? Die Grenzen der Muskelprotein-Synthese

Die Menge der vom Dünndarm resorbierten Nahrungsproteine und der daraus extrahierten Aminosäuren (AS) übersteigt die anabolischen Fähigkeiten des Skelettmuskels deutlich. Unter Ruhebedingungen werden nur ungefähr 50 Prozent der extrahierten Aminosäuren in die Blutzirkulation abgegeben. Von den verbleibenden Proteinen werden ca. 40 Prozent katabolisiert, also in die Harnstoffsynthese übergeführt, und dienen teilweise der Energieproduktion. Nur ein kleiner Teil, ca. 10 Prozent der extrahierten AS, wird für die erneute (De-novo-) Proteinsynthese im Skelettmuskel verwendet (siehe Abbildung).

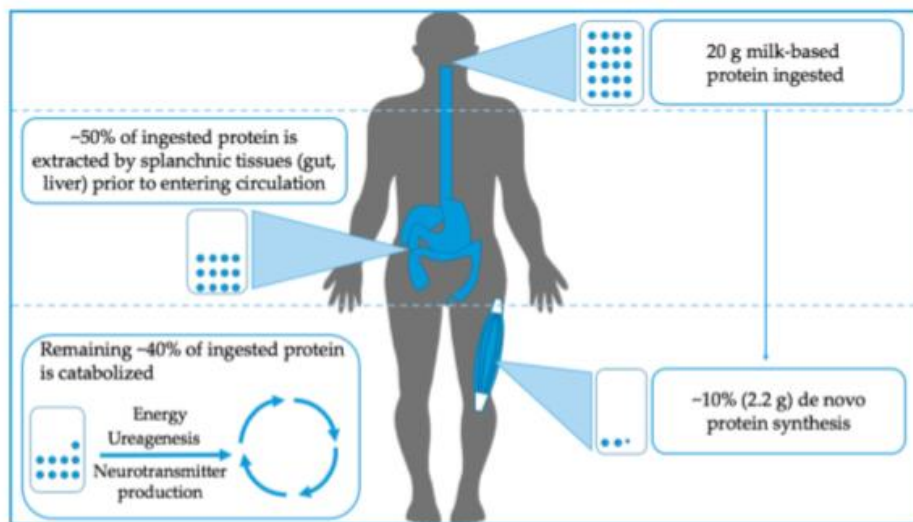


Figure 1. Simplified overview of whole body oral protein utilization at rest. Of the protein ingested, approximately 50% is extracted by splanchnic tissues before entering peripheral circulation. Interestingly, only ~10% of the ingested protein is utilized for skeletal muscle protein synthesis while the rest is catabolized.

Die Aufnahme von AS in den Skelettmuskel ist abhängig von der Höhe der AS-Konzentration im Blut. Proteine von niedrigerem Wert (Low Value Protein) wie Soja oder Wheat mangelt oder fehlt es an bestimmten essentiellen Aminosäuren (EAA). Sie erreichen auch bei gleicher Dosis nicht den gleichen Grad der Muskelstimulation wie ein hochwertiges Protein (High Value Protein).

Bei einer bolusartigen Erhöhung der AS-Konzentration im Blut wie durch isolierte orale Proteinaufnahme tritt die MPS mit einer Verzögerung von ca. 30 Minuten ein (Bolus = schnelle Verabreichung, um Wirksamkeit zu erzielen). Nach ca. 2 Stunden erreicht die MPS ein Maximum. Diese durch die Aminosäuren induzierte Aktivierung der MPS ist ein vorübergehender Zustand. Er kehrt nach ca. 2 bis 3 Stunden wieder auf den Ausgangszustand zurück, obwohl die erhöhte AS-Konzentration im Blut noch fortbesteht. Dieser Zustand wird als „Muscle full Effekt“ bezeichnet. Er erklärt, warum eine solitäre Aufnahme von Protein/EAA ohne gleichzeitige kontraktile Aktivität des Muskels nicht in der Lage ist, Muskelprotein anzureichern oder eine Hypertrophie des Skelettmuskels zu stimulieren.

Vollständig vorangetrieben wird die MPS nur von den in den Proteinen enthaltenen essentiellen Aminosäuren. Dabei ist Leucin die primär wirksame Aminosäure. Erreicht oder überschreitet die AS-Konzentration im Blut ein bestimmtes Plateau (Sättigung), dann ist eine weitere Stimulation der MPS auch durch höhere AS-Konzentrationen nicht mehr möglich.

In wissenschaftlichen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass die maximale Stimulationsrate, die für einen vergleichbaren Effekt auf die Muskelprotein-Synthese erforderlich ist,

- bei jüngeren Männern bei 0,24 g/kg KG (+/- 0,06g/kg) und
- bei älteren Erwachsenen bei 0,40 g/kg KG (+/-0,19g/kg) liegt.

Daraus folgt, dass die empfohlene Proteindosis pro Mahlzeit für einen gleichen Effekt bei älteren Menschen um ca. 68 Prozent höher sein muss. Diese höhere Dosis ist erforderlich, weil im Alter die anabolische Empfindlichkeit für die Muskelprotein-Synthese vermindert ist. Sie kann nur durch eine erhöhte Konzentration von AS im Blut überwunden werden.

Wirkung von körperlicher Aktivität auf die MPS zusätzlich zur Proteinaufnahme

Körperliche Aktivität macht den Skelettmuskel empfindlicher für eine erhöhte AS-Konzentration und stimuliert zusätzlich die Muskelprotein-Synthese. Daraus könnte man folgern, dass unter üblicher Aktivität sogar eine niedrigere Proteinaufnahme ausreichend wäre, um den gleichen Effekt auf die Stimulation der MPS zu erzielen. Jedoch erhöht körperliche Aktivität gleichzeitig die Kapazität des Skelettmuskels für die AS-Verwertung. Folglich ist für eine maximale Stimulierung der MPS insgesamt doch wieder eine höhere Proteinmenge erforderlich.

Dosisabhängige Stimulierung der myofibrillären Proteinsynthese und Timing der Proteinaufnahme

Mit einer Proteindosis jenseits von ca. 20 g, entsprechend ca. 0,24g/kg KG, konnte im Experiment die MPS nur noch unwesentlich weiter gesteigert werden. Eine Dosis von 40 g eines hochwertigen Proteins löste sowohl in Ruhe als auch unter Belastung keinen relevanten weiteren Effekt mehr aus. Stattdessen kommt es bei einer Dosis von mehr als 20 g sogar zu einer vermehrten Oxidation von Leucin (= Inaktivierung von Leucin) und zu einer vermehrten Harnstoffproduktion.

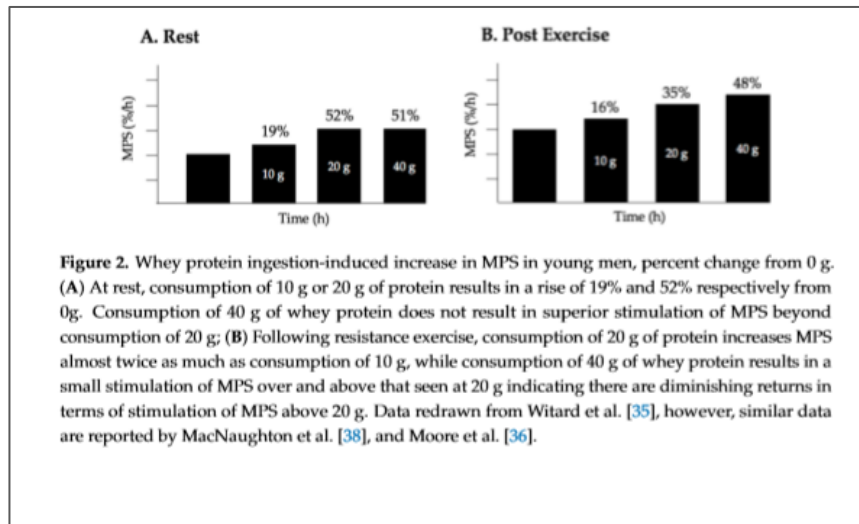
Dabei ist eine Proteinaufnahme pro Mahlzeit von jeweils 20 g, verteilt auf Abstände von ca. 3 Stunden, wesentlich effektiver als niedrigere Dosierungen in kürzeren Zeitabständen. Sie ist auch effektiver als größere Bolusgaben von ca. 40 g in verlängerten Zeitabständen wie z.B. nach jeweils 6 Stunden. Eine Verbesserung der MPS nach einer Bolusgabe von 40 g ist möglich, jedoch abhängig von der Art der körperlichen Belastung. Der Unterschied des Effekts auf die MPS ist aber auch hier insgesamt nicht wesentlich.

Die Befunde zeigen, dass eine Menge von ca. 20 g eines hochwertigen Proteins (oder ca. 0,3 g/kg KG pro Mahlzeit) bei jüngeren Erwachsenen ausreicht, um nach der Mahlzeit eine maximale MPS auszulösen. Die wiederholte Proteinaufnahme in einem zeitlichen Abstand von ca. 3 Stunden optimiert die tägliche Muskelprotein-Synthese.

Stimulierung der Muskelprotein-Synthese durch unterschiedliche Dosierung von Nahrungsprotein nach resistivem Training

Wie erwähnt, macht körperliches Training den Muskel sensibler für eine Aminosäurerhöhung im Blut. Da Training auch die Kapazität für die Verwertung von Aminosäuren erhöht, wird für eine maximale MPS trotzdem eine höhere Proteinmenge benötigt.

So steigt nach einem resistiven Training (Widerstandstraining) die MPS nach Einnahme von 20 g eines hochwertigen Proteins deutlich weiter an als unter einer alleinigen Stimulation mit dem Nahrungsprotein. Eine noch weitere Erhöhung der Proteindosis auf 40 g nach einer Trainingsrunde führt auch hier zu keiner relevanten weiteren Steigerung der MPS (siehe Abbildung).



Empfohlene tägliche Proteinaufnahme und Abhängigkeit von der Körpermasse (= kg Körpergewicht)

Dazu werden im Review vor allem wissenschaftliche Arbeiten von Moore et al zitiert. Für Athleten mit einem höheren Körpergewicht wird eine etwas höhere Proteinaufnahme von ca. 30 g pro Mahlzeit oder entsprechend 0,24 bis 0,30 g/kg KG als ausreichend empfohlen. Allerdings muss die optimale Proteindosis an die Trainingsmodalität angepasst werden.

In einer Breakpoint Analyse konnte gezeigt werden, dass bei einer hohen täglichen Aufnahme von mehr als 1,6 kg KG (1,0 bis 2,2 g/Kg) eines hochwertigen Proteins keine weitere Zunahme der Muskelmasse bzw. Hypertrophie mehr eintrat.

Es wird außerdem auf eine Metaanalyse verwiesen, in der gezeigt wurde, dass eine über längere Zeit zusätzlich zum Resistance-Training durchgeführte Protein-Supplementierung bei Gesunden nicht nur zu einer Verbesserung des Trainingseffekts führte. Auch die Fettfreie Masse (FFM) nahm um ca. 0,7 kg zu (Muskelhypertrophie).

Dabei wird im Rahmen eines resistiven Trainings der positive Effekt der Proteinsupplementierung auf die Muskelmasse weniger vom Timing der Proteinaufnahme oder von der Höhe der Einzeldosis bestimmt. Vielmehr ist sie beeinflusst von der aufgenommenen Tagesmenge eines hochwertigen Proteins, die zwischen 1,6 bis maximal 2,2 g/kg KG liegt – verteilt auf die Mahlzeiten.

Das resistive Training geht allerdings mit einer Zerstörung der Integrität der Myofibrillen in der Muskelarchitektur einher. Das bewirkt in der frühen Trainingsphase eine starke Stimulation der MPS mit dem vorrangigen Ziel der Reparatur von Myofibrillen und des Umbaus von zerstörten Muskelproteinen. Es dient weniger der zusätzlichen Proteinsynthese für die Gesamtmuskulatur. Im weiteren Verlauf des Trainings adaptiert sich die MPS und schwächt sich leicht ab. Dabei dient die erhöhte MPS ab jetzt der Anhäufung von Muskelprotein.

Protein-induzierte Inhibition der Proteolyse (Katabolie) und Netto-Protein-Bilanz (NPB)

Auch unter sehr hohen Dosen eines hochwertigen Proteins (40-70 g/kg) kommt es danach nicht mehr zu einer nennenswert weiteren Steigerung der MPS. Sehr hohe Dosen können jedoch den Protein-Breakdown (Katabolie) supprimieren. So kann die Netto-Protein-Bilanz positiver werden.

Abschließende klinische Bewertungen und Empfehlungen zum Nutzen supprimierender Effekte auf die Minderung des Protein-Abbaus durch sehr hohe Proteindosierungen stehen aber aus. Außerdem wird in den Arbeiten besonders betont, dass für eine optimale Skelettmuskelfunktion eine basale Muskelprotein-Degradation sogar erforderlich ist.

„Protein prior to Sleep“ – Proteinaufnahme vor dem Schlaf zur Verhinderung einer negativen Netto-Protein-Bilanz NPB

In einer Studie konnte durch Gabe von 40 g Casein-Protein unmittelbar vor dem Schlaf die MPS während des Schlafs effektiv stimuliert und die NPB verbessert werden. In einer anderen Studie verbesserte die Proteinaufnahme vor dem Schlaf den Umfang des Quadrizep-Muskels (= Hypertrophie).

Solche Befunde sind jedoch nach Meinung der Autoren allenfalls eine wirksame Strategie für Athleten oder für Personen, die spät abends gewohnheitsmäßig viel Sport treiben. Nur für diese wird eine mittlere Einzel-Dosis von 30 bis 40 g Protein vor dem Schlaf vorgeschlagen.

Kohlenhydrate in Kombination mit Proteinen zur anabolen Stimulation

Eine Zugabe von Kohlenhydraten (KH) zu einer Proteinaufnahme nach einem Training („post exercise“) hat keinen stärkeren anabolen Effekt auf den Skelettmuskel im Vergleich zur alleinigen Proteinaufnahme. Die Aufnahme von KH dient ausschließlich dazu, Glykogen-Reserven nach einem erschöpfenden Training aufzufüllen, und zur schnelleren Erholung nach dem Training.

Muskelprotein-Synthese und Proteinaufnahme während einer Energierestriktion

Wenn die Energieaufnahme nicht zur Deckung des Energiebedarfs ausreicht (negative Energiebilanz), kommt es zu einer Abnahme der Körpermasse (= Gewichtsverlust). Der Energieverlust kann willentlich herbeigeführt worden sein (z.B. Gewichtsoptimierung von Leistungssportlern vor Wettkämpfen). Oder er kann nicht willentliche Ursachen haben (z.B. dauerhafte Überlastung).

Das Energiedefizit kann bedingt sein durch eine alleinige kalorische Restriktion oder durch eine Kombination aus Energiedefizit mit erhöhter körperlicher Leistungsanforderung (erhöhtem Verbrauch). Der Gewichtsverlust als Folge eines Energiedefizits hat bei Übergewicht oder Obesität eine Verbesserung der körperlichen und metabolischen Gesundheit zur Folge. Außerdem verbessern sich die Insulin-Sensitivität, die Leberzellfunktion und die pankreatische Betazellfunktion.

Allerdings geht ein Gewichtsverlust durch längere Energierestriktion mit einem Verlust an Magermasse (Lean Body Mass, LBM) einher. Im Allgemeinen geht es hierbei um eine Größenordnung von ca. 25 Prozent. Das betrifft zu einem wesentlichen Anteil die Skelettmuskelmasse. Der Verlust an Skelettmuskelmasse kann aber mit einer Minderung der Leistung und einer erhöhten körperlichen Anfälligkeit verbunden sein. Auch für Sportler ist es daher wichtig, Anstrengungen zu unternehmen, um den Erhalt der Magermasse sicherzustellen.

Es gibt laut den Autoren zunehmend Beweise, dass bei einer Energierestriktion der Verlust an Magermasse durch eine Verminderung der postabsorptiven oder postbrandialen MPS bewirkt wird.

Dies könnte sogar der hauptsächliche adaptive Mechanismus für den Verlust an LBM während der Energierestriktion sein. So wurde gefunden, dass die postabsorptive MPS bei einem 20-prozentigen Energiedefizit schon um ca. 19 Prozent reduziert war – im Vergleich zu einem stabilen Energiezustand. Die Abnahme der MPS wird wahrscheinlich noch beschleunigt durch ein vermindertes, intramuskuläres Signal für die Anabolie (Abnahme der Phosphorierung um ca. 30 Prozent).

Weil auch die MPS ein energieverbrauchender Prozess ist, tritt die Reduktion der MPS rasch und schon zu Beginn der Energierestriktion in Erscheinung. So konnte beobachtet werden, dass bei jungen Erwachsenen unter Energierestriktion schon nach 5 Tagen eine Reduktion der myofibrillären Proteinsynthese um ca. 27 Prozent auftrat. Bei andauernder Energierestriktion erreicht die MPS danach ein Plateau auf einer Ebene, die für die jeweilige Nahrungsmenge ausreichend ist.

Es sei jedoch auf Grund methodischer Schwierigkeiten noch nicht klar definiert, in welcher Größenordnung der Muskelprotein-Breakdown auf die jeweilige Energierestriktion reagiert. Bisherige Untersuchungsergebnisse seien uneinheitlich. So konnte bei Leistungssportlern (Radfahrern) gezeigt werden, dass nach einem zehntägigen Energiedefizit die Muskelprotein-Abbau-Rate um ca. 60 Prozent oberhalb der basalen Abbaurate anstieg. Eine andere Studie konnte bei Übergewichtigen unter kalorischer Restriktion keinen erhöhten Breakdown nachweisen.

Laut Einschätzung der Autoren des Review ist es eher unwahrscheinlich, dass eine Energie-Restriktion den Muskelprotein-Abbau (Katabolie) noch wesentlich beschleunigt. Als Grund hierfür wird gesehen, dass der Muskelprotein-Abbau selbst mit einem hohen zusätzlichen Energiebedarf verbunden ist („Einsparungseffekt“).

Strategien zur Erhaltung oder Verbesserung der Muskelmasse bzw. LBM während der Phase einer Energierestriktion

Effektive Strategien für den Erhalt oder sogar eine Verbesserung der LBM bei Gesunden und jüngeren Erwachsenen während einer energierestriktiven Phase sind:

- regelmäßiges körperliches Training
- und zu einem geringeren Teil die Anhebung der täglichen Proteinaufnahme.

Mit resistivem Training und einer ausgeglichenen Energiebilanz kann, wie ausgeführt, eine Proteinaufnahme von ca. 1,6 g/Kg/Tag das hypertrophe Potenzial des Skelettmuskels verbessern und maximieren. Unter energierestriktiver Bedingung wird jedoch ein größerer Anteil der Aminosäuren für den Zweck der Energieproduktion katabolisiert. Ergebnis ist, dass weniger AS für den Protein-Aufbau zur Verfügung stehen. Daraus könnte man schließen, dass während einer kalorischen Restriktion sowohl die Energieproduktion als auch die MPS über eine erhöhte Proteinaufnahme aufrechterhalten werden können.

Die Auswirkung einer stärkeren Energierestriktion und regelmäßigem aeroben Training über einen Zeitraum von 3 Wochen konnte an Vergleichsgruppen demonstriert werden. Angesetzt war ein Gesamt-Energiedefizit von 40 Prozent (30 Prozent kalorische Restriktion, 10 Prozent Energieverbrauch durch Aktivität). Dabei war die anabolische Empfindlichkeit des Muskels und die MPS in der Gruppe mit einer normalen Proteinaufnahme von 0,8 g/kg/Tag stärker vermindert und mit höherem Verlust an Magermasse (LBM) verbunden als in den Vergleichsgruppen.

Obwohl die anabolische Antwort auf die MPS in den Gruppen mit 1,6 g/kg/Tag und 2,4 g/kg/Tag (also dem 2- und 3-fachen der empfohlenen täglichen Menge) erhalten blieb, konnte auch in diesen

Gruppen ein signifikanter Verlust an Magermasse nachgewiesen werden. Diese Daten legen nahe, dass während der Phase mit einem erheblichen und länger andauernden Energiedefizit bei gleichzeitigem körperlichen Training eine Zunahme der Nahrungsprotein-Aufnahme nicht ausreicht, um die Magermasse zu erhalten.

Die Ergebnisse einer anderen Studie werden berichtet, in der übergewichtige Teilnehmer über 10 Tage einer kalorischen Restriktion von 40 Prozent des normalen Energiebedarfs ausgesetzt waren, ohne dass es zu einem Verlust an Magermasse kam.

Es kann derzeit nicht exakt angegeben werden, wie sich der quantitative Anteil des Muskelprotein-Abbaus unter der Bedingung einer Energierestriktion verändert. Dennoch meinen die Autoren des Reviews, dass der Muskelprotein-Abbau während einer kalorischen Restriktion kompensatorisch vermindert wird, weil es sich um einen Energie verbrauchenden Prozess handelt.

Regelmäßiges Training während einer mehrwöchigen Phase mit Energierestriktion hat einen Einsparungseffekt auf die LBM

Unter einer kalorischen Restriktion ist eine tägliche Proteinaufnahme von 1,2 g/kg ohne gleichzeitiges Training für die Erhaltung der LBM eher nicht ausreichend. Dagegen kann die LBM unter der gleichen Proteinmenge in Kombination mit regelmäßigem Training aufrechterhalten werden.

Bei einer täglichen Proteinzufuhr von 2,4 g/kg (also der dreifachen empfohlenen Dosis „Recommended Dietary Allowance“, RDA) und gleichzeitigem täglichen Intensiv-Training konnte sogar eine weitere Zunahme der LBM bei gleichzeitig stärkerer Abnahme der Fettmasse nachgewiesen werden. Dies gelang in einer randomisierten Studie bei Teilnehmern mit einem mittleren BMI von knapp 30 kg/m².

Nach einer anderen Studie bewirkt unter einer kalorischen Restriktion allein schon ein regelmäßiges körperliches Training eine Verminderung des Abfalls der Muskelprotein-Synthese um ca. 27 Prozent. Zusammen mit einer Proteingabe kann die MPS sogar bis oberhalb des Wertes einer normalen Energiebilanz angehoben werden. Proteinaufnahme und körperliches Training haben also einen synergistischen Effekt auf die MPS.

Im Review wird aber ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Angaben zur notwendigen Proteindosis unter Energierestriktion und im Zusammenhang mit körperlichem Training an Übergewichtigen erhoben wurden. Damit seien sie nicht einfach übertragbar auf eher schlanke/magere Personen. Die eher magere Gruppe mit Trainingserfahrung scheint anfälliger für einen Verlust von LBM zu sein als untrainierte und übergewichtige Personen.

Für eher niedrig-gewichtige Sportler gibt es daher sogar eine Empfehlung für eine tägliche Proteinaufnahme von bis zu 3 g/kg, um einem Verlust an LBM während einer energierestriktiven Phase vorzubeugen. Die Höhe der notwendigen Proteinzufuhr ist jedoch immer auch abhängig von der Höhe der Energierestriktion und der Intensität des körperlichen Trainings.

Zusammenfassung der Kernaussagen

Obwohl der Körper eine große Menge an Nahrungsprotein verdauen kann, werden nicht alle darin enthaltenen AS für die De-Novo-Proteinsynthese verwendet.

Beim isolierten Verzehr eines hochwertigen Proteins ist bei jüngeren Erwachsenen die Muskelprotein-Synthese unter Normalbedingungen mit einer Proteinmenge pro Mahlzeit von ca. 0,3 g/kg KG gesättigt (0,24g/kg + 0,3 g/kg KG des statistischen Grenzbereichs). Jenseits dieser Menge nehmen der Katabolismus von AS und die Harnstoffproduktion zu, sodass in der Bilanz weniger AS für die Proteinproduktion zur Verfügung stehen. Bei überhöhter AS-Dosis verhält sich der Muskel refraktär, die MPS kehrt nach ca. 3 Stunden auf den basalen Wert zurück.

Im Zusammenhang mit Ganzkörper-Training liegt die Proteindosis bis zum Erreichen einer maximalen Proteinstimulation etwas höher. Der Effekt auf die maximale Proteinsynthese ist jedoch kaum höher als bei 20 g pro Mahlzeit.

Die Maximierung der Muskelprotein-Synthese ist nur zusammen mit regelmäßigem resistiven Training möglich. Die tägliche Proteinaufnahme von ca. 1,6 g/kg/Tag und bis 2,2 g/Kg/Tag sollte am besten auf 3 oder 4 Mahlzeiten verteilt werden. Die Angaben sind bezogen auf eine tägliche Aktivität von 12 Stunden.

Die Proteinaufnahme sollte direkt im Anschluss an eine erschöpfende Trainingsrunde erfolgen.

Der wesentliche Effekt einer Proteinsupplementation auf die MPS und die Vergrößerung der Muskelmasse wird vorrangig von der Tagesproteinmenge bestimmt. Unter ausgeglichener Energiebilanz haben Tagesproteinmengen höher als 1,6 g/kg bis maximal 2,2 g/kg nur noch einen geringen zusätzlichen Effekt.

Phasen der Energierestriktion sind verbunden mit einer Reduktion der LBM. Dabei neigen schlanke Personen und Personen, die einem regelmäßigen körperlichen Training nachgehen, zu einem stärkeren Muskelverlust als Übergewichtige.

Die Verminderung der LBM unter Energierestriktion wird vorrangig angetrieben durch eine verminderte Empfindlichkeit gegenüber einem Proteinbolus und durch eine verminderte postabsorptive Rate der MPS. Durch eine tägliche Proteinsubstitution von ca. 2,3 bis 3,1 g/Kg/Tag kann die Magermasse (Muskelmasse) erhalten werden. Voraussetzung ist, dass gleichzeitig ein regelmäßiges und intensives körperliches Training erfolgt.

Schlanke bzw. eher magere Athleten benötigen in energierestriktiven Phasen eine höhere Tagesproteinaufnahme.

Die Proteinaufnahme vor dem Schlaf – sofern sinnvoll – sollte 1 bis 3 Stunden vor dem Schlaf erfolgen. So kann der Abfall der MPS während der Nacht ausgeschaltet werden.

Eigener Kommentar

Der Review liefert wichtige wissenschaftlich begründete Informationen über Effekte unterschiedlicher Proteinmengen auf die Muskelprotein-Synthese. Ebenso relevant sind die Angaben zum Tagesproteinbedarf für das Erreichen einer maximalen Stimulation der MPS bei gesunden erwachsenen Personen. Dabei wird eine verbesserte Wirkung auf die MPS durch Kombination aus körperlichem Training und Protein-Supplementierung unter verschiedenen energetischen Bedingungen bei Sportlern hervorgehoben.

Vor allem wird aufgezeigt, dass eine überschüssige Proteinzufuhr gegenteilige Effekte auslösen kann und dass bei der Proteinsubstitution die individuellen Erfordernisse des Athleten zu berücksichtigen sind.

Zum Thema „Protein and Exercise“ wird zudem auf das Review der „International Society of Sports Nutrition“ aus dem Jahr 2017 verwiesen (2).

Wichtig sind die Ausführungen zur zeitlichen Verteilung der Tagesproteinmenge: Es ist nicht immer zweckmäßig, eine höhere Tagesproteinmenge auf eine 3 x tägliche Nahrungsaufnahme zu beschränken, wenn die Einzeldosis wesentlich höher als 20 g betragen würde. Es könnte zweckmäßiger sein, die erforderliche Tagesproteinmenge auf 4 Portionen zu verteilen. Beispiel: Bei einer erforderlichen Tagesproteinmenge von 90 g wäre statt einer Verteilung auf 3 x 30 g eine Verteilung der Einzelportionen eines hochwertigen Proteins auf 20-20-20 und 30 g zur Nacht effektiver.

Am wichtigsten ist der Hinweis, dass der Effekt der MPS nicht von der Einzeldosis abhängig ist, sondern vorrangig vom erforderlichen Tagesproteinbedarf bestimmt wird und von der Netto-Protein-Bilanz.

Schlussfolgerungen im Hinblick auf die Ernährungsintervention und Beratung zur Substitution bei Übergewicht und Adipositas

In Abhängigkeit vom Umfang einer kalorischen Restriktion, wie z.B. bei einer geplanten Gewichtsreduktion, kann bereits nach ca. 1 Woche eine signifikante Reduktion der MPS eintreten. Allerdings ist dies noch nicht durch übliche Methoden messbar.

Die kalorische Restriktion ist zudem mit einer Einsparung des Energieverbrauchs verbunden, der auch die MPS betrifft. Dass ein Verlust an Magermasse unter Energierestriktion bei Gesunden sehr frühzeitig einsetzt, hat große Bedeutung für die Ernährungsberatung bei Übergewicht und Adipositas. So muss die präventive Proteinsubstitution rechtzeitig beginnen, weil die MPS schon nach 1 Woche verändert sein kann – obwohl noch kein Abbau von Muskelmasse nachweisbar ist.

Zur Erhaltung der LBM bzw. der Muskelmasse ist während einer energierestriktiven Phase zusätzlich ein regelmäßiges körperliches Training erforderlich. Bei gleichzeitiger Substitution von Protein bzw. EAA-Mischungen kann nicht nur LBM erhalten und verbessert werden. Dies hat auch eine Wirkung auf den verstärkten Abbau von Körperfettmasse.

Die Aufklärung über den Vorteil einer konsequenten körperlichen Aktivität während einer kalorischen Restriktion muss dementsprechend fester Bestandteil der Ernährungsberatung sein. Körperliche Aktivität ist eine wesentliche Voraussetzung für die Erhaltung und Verbesserung von Muskelmasse. Das erfolgt über eine Anhebung der anabolischen Sensitivität des Muskels.

Die Substitution mit hochwertigem Protein/EAA während einer kalorischen Restriktion, ohne dass zuvor ein Proteinmangel bestand, sollte adäquat sein. Überhöhte Proteingaben können gegenteilige Folgen haben. Ebenso muss bedacht werden, dass willkürliche Überdosierungen von Proteinen toxische Effekte auf die Gehirnfunktion haben können. Außerdem lösen sie unter Umständen inflammatorische Reaktionen durch oxidativen Stress aus. Die Bedeutung des Effekts einer übermäßigen Zufuhr von EAA auf die Hyperinsulinämie ist nicht noch nicht definiert (12,13,14).

Bei einer Gewichtsreduktion und vorbestehendem Mangel an Muskelprotein wie bei Sarkopenischer Adipositas sind offenbar höhere Tagesproteinmengen erforderlich. Die Einzeldosis pro Mahlzeit sollte bei ca. 20 g Protein liegen. Diese sollten auf 3 bis 4 Einzelgaben verteilt werden. Niedrigere Dosierungen sind für die MPS weniger effektiv, hohe Dosierungen bringen keinen weiteren nennenswerten Nutzen. Die Protein-Supplementierung sollte am besten gewichtsadaptiert durchgeführt werden.

Es gilt der Grundsatz, dass die Verbesserung und Maximierung der MPS und die Einsparung von Muskelprotein-Abbau nur mit einem gleichzeitigen, angepassten körperlichen Training erreicht werden kann.

Resistives Training (Widerstandstraining) sollte bei bestehendem Proteinmangel aufbauend erfolgen, weil unangepasstes Training einen myofibrillären Schaden verursachen kann.

Unkontrollierte schwere kalorische Einschränkungen von Seiten eines Probanden müssen durch eine sachgerechte und fortdauernde Beratung vermieden werden, weil auch unter höherer Tagesproteinaufnahme ein negativer Effekt auf die MPS nicht auszuschließen ist.

Probanden mit einem eher niedrigeren Gewicht, die eine Gewichtsoptimierung wünschen, benötigen zur Vermeidung einer negativen Muskelprotein-Bilanz höhere Tagesmengen an Protein/EAA als Übergewichtige oder Adipöse.

Schlussfolgerungen im Hinblick auf die Ernährungsintervention und Beratung zur Substitution mit Protein bei Mangelernährung ohne chronische Krankheit

Eine Proteinmangelernährung mit Verlust an Muskelmasse erfordert höhere Tagesproteinmengen. Dabei dürfte jedoch eine Einzeldosis von ca. 20 g pro Mahlzeit in Kombination mit regelmäßigem körperlichen Training ausreichend sein. Natürlich gilt das immer in Abhängigkeit vom Gewicht und von der Höhe des errechneten Tagesproteinbedarfs.

Der Abstand der Proteinzufuhr von ca. 3 bis 4 Stunden sollte nicht unterschritten werden. Der Skelettmuskel ist in dieser Zeit refraktär gegenüber einem weiteren Angebot von Protein.

Unbedingt muss auf eine ausreichende kalorische Substitution geachtet werden, um einem Muskelprotein-Abbau zum Zwecke der Energiegewinnung entgegenzuwirken. Auch hier ist eine gleichzeitige und angepasste körperliche Aktivität zur Verbesserung der Muskelprotein-Synthese erforderlich. Dabei sollte mindestens 1 Proteinportion (ca. 20 g) zur verbesserten Stimulation der MPS unmittelbar nach einer ermüdenden Trainingsrunde aufgenommen werden.

Schlussfolgerungen im Hinblick auf die Ernährungsintervention und Beratung zur Substitution mit Protein im Alter oder bei (chronischer) Krankheit

Ältere Erwachsene benötigen eine höhere Tagesproteinmenge zur Aufrechterhaltung der Muskelprotein-Synthese beziehungsweise zur Verhinderung einer altersbedingten Sarkopenie (4,7). Bei Sarkopenie im Alter gelten die Empfehlungen der Internationalen Fachgesellschaften zur Proteinsubstitution.

Obwohl bei Gesunden durch Bolusgabe von Protein die Muskelprotein-Synthese ohne zusätzliches Training stimuliert wird, sind die Effekte einer Proteinsubstitution wesentlich geringer als in Kombination mit Widerstandstraining. Unter klinischen Aspekten hat der Effekt einer alleinigen

Proteinsubstitution jedoch eine große Bedeutung bei Personen, die krankheitsbedingt nicht trainieren können.

Die positive Wirkung einer alleinigen Protein-Supplementierung auf die MPS und auf die Muskelmasse in einer randomisierten, doppelblinden Studie konnte nun kürzlich erstmalig auch bei Proteinmangelernährung mit Sarkopenie in der PROVIDE Study (3) bewiesen werden. Die zusätzlich durch ein Energiedefizit gestörte MPS chronisch Kranker muss in Zukunft unbedingt genauer berücksichtigt und in die Vorgaben für die Protein-Supplementierung einbezogen werden.

Bei Proteinmangelernährung als Folge von chronischen Krankheiten muss die Protein-Dosis pro Mahlzeit evtl. auf ca. 30 g erhöht werden. Auch dazu wird auf die Empfehlungen der internationalen Fachgesellschaften verwiesen (8,9,11).

Für die Proteinsubstitution bei Niereninsuffizienz vor dem Dialysestadium müssen andere Tagesproteinmengen beachtet werden (10).

LITERATUR

- (1) Review: Recent Perspectives Regarding the Role of Dietary Protein for the Promotion of Muscle Hypertrophy with Resistance Exercise Training. Tanner Stokes et al.: *Nutrients* 2018, 10, 180; doi:10.3390/nu10020180

Read more:

- (2) Review. International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise. Jäger et al. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* (2017) 14:20 DOI 10.1186/s12970-017-0177-8
- (3) 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. *JAMDA* Sept 1, 2015, Volume 16, Issue 9, Pages 740-747. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2015.05.021>
- (4) Effects of protein supplementation combined with resistance exercise on body composition and physical function in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Am J Clin Nutr* 2017;106:1078–91.
- (5) The role of protein in weight loss and maintenance. *Am J Clin Nutr* 2015;101(Suppl):1320S–9S.
- (6) Impacts of High-Protein Oral Nutritional Supplements Among Malnourished Men and Women with Sarcopenia: A Multicenter, Randomized, Double-Blinded, Controlled Trial. *The Society for Post-Acute and Long-Term Care Medicine. JAMDA* 17 (2016), 1044-1054
- (7) Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *JAMDA*. November 1, 2016, Volume 17, Issue 11, Pages 1044-1055
- (8) Nutritional support and parenteral nutrition in cancer patients: an expert consensus report. *Clin Transl Onco* 2016. DOI 10.1007/s12094-017-1757-4
- (9) ESPEN guidelines on nutrition in cancer patients. *Clinical Nutrition*. Febr 2017, 36, Issue 1, Pages 11-48
- (10) Management of protein-energy wasting in non-dialysis-dependent chronic kidney disease: reconciling low protein intake with nutritional therapy. *Am J Clin Nutr* 2013;97:1163–77.

- (11) Nutritional assessment and therapy in COPD: a European Respiratory Society statement. *European Respiratory Journal* 2014 44: 1504-1520; DOI: 10.1183/09031936.00070914
- (12) High concentration of branched-chain amino acids promotes oxidative stress, inflammation and migration of human peripheral blood mononuclear cells via mTORC1 activation. *Free Radical Biology and Medicine*. Volume 104, March 2017, Pages 165-177.
<https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2017.01.009>
- (13) Interplay between Lipids and Branched-Chain Amino Acids in Development of Insulin Resistance. *Cell Metabolism. Perspective* | Volume 15, ISSUE 5, P606-614, May 02, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2012.01.024>
- (14) Diabetes and branched-chain amino acids: What is the link? *J Diabetes*. 2018 May;10(5):350-352. doi: 10.1111/1753-0407.12645.