

Einfluss von Proteinen auf die muskuläre Regeneration nach sportlicher Aktivität

Influence of Proteins on Muscular Regeneration Following Exercise

ACCEPTED: January 2016

PUBLISHED ONLINE: March 2016

DOI: 10.5960/dzsm.2016.219

Carlsohn A. Einfluss von Proteinen auf die muskuläre Regeneration nach sportlicher Aktivität. Dtsch Z Sportmed. 2016; 67: 59-63.



Zusammenfassung

- › **Die Regeneration** nach erschöpfenden Belastungen ist im Leistungssport sowohl im Trainingsprozess als auch in Wettkampfphasen von Bedeutung. Die Wirksamkeit von Proteinsupplementen auf Indikatoren der muskulären Regeneration (Muskelschädigung, Muskelschmerz, Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit) ist nicht eindeutig.
- › **In Ausdauersportarten**, wie Radsport und Langstreckenlauf, kann die Zufuhr von Proteinen, Milchprodukten oder Aminosäuren möglicherweise belastungsinduzierte Muskelschädigungen und/oder Muskelschmerzen reduzieren und die Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit begünstigen. Nach exzentrischen Dauerbelastungen beeinflusst eine ergänzende Proteinzufuhr weder Parameter der Muskelschädigung, des Muskelschmerzes noch die Leistungsfähigkeit in der Regenerationsphase.
- › **Die gezielte Proteingabe** nach Krafttraining mit oder ohne Fokus auf exzentrische Übungen reduziert bei Trainierten weder die Indikatoren der muskulären Schädigung noch des Muskelschmerzes. Möglicherweise kann eine Proteingabe unmittelbar nach dem Krafttraining die Wiederherstellung der Kraftleistungsfähigkeit begünstigen.

SCHLÜSSELWÖRTER:

Protein, Regeneration, Muskelschmerz, Muskelschaden, Leistungsfähigkeit, Ernährung

Summary

- › **For elite athletes**, recovery from exhausting exercise is important during training and competitions. The effects of protein supplements on exercise-induced muscle damage, muscle soreness and restoration of muscle function or performance during recovery from strenuous exercises are not well established.
- › **Recently**, some weak evidence has been found that post-exercise ingestion of protein, amino acids or milk may reduce muscle damage, muscle soreness and promote restoration of performance in or endurance sports (cycling, running).
- › **Following eccentric endurance exercises**, protein supplementation has no effect on the above mentioned parameters. In trained athletes, muscle damage and soreness are not influenced by protein supplementation following resistance type exercise. However, there is some evidence that restoration of performance may be hastened by protein ingestion.

KEY WORDS:

Protein, Recovery, Muscle Soreness, Muscle Damage, Performance, Nutrition

Einleitung

Leistungsambitionierte Sportler trainieren häufig täglich, Spitzensportler in der Regel mehrmals täglich. Eine hinreichende Regeneration von der vorangegangenen Trainingseinheit ist dabei notwendig, um im nachfolgenden Training die angestrebte Trainingsintensität erreichen zu können. In Wettkampfphasen müssen Athleten oftmals innerhalb weniger Tage bzw. weniger Stunden wiederholt Höchstleistungen abrufen können, beispielsweise in Turnieren oder Wettbewerben mit Vor-, Zwischen- und Endkämpfen. Belegt ist, dass eine adäquate Ernährung den Regenerationsprozess unterstützen kann. Dabei spielen v.a. in Ausdauersportarten Kohlenhydrate sowie natriumreiche Getränke eine wichtige Rolle (1) (Abb. 1).

Insbesondere ungewohnte, erschöpfende und/oder exzentrische Belastungen können zu muskulären Schädigungen führen, was mit Muskelschmerz,

einem Anstieg der extrazellulären Creatinkinase (CK)-Konzentration und/oder einer geringeren Leistungsfähigkeit über mehrere Tage einhergeht. Bekannt ist auch, dass eine unzureichende Eiweißzufuhr in der Regenerationsphase aufgrund des belastungsbedingt erhöhten Muskelproteinstoffwechsels zu einer negativen Stickstoffbilanz führen kann, während eine ausreichend hohe Proteinsupplementation dann zu einer positiven Stickstoffbilanz führt. Theoretisch kann daher die Proteinsupplementation in der Nachbelastungsphase die Reparatur von belastungsinduzierten Muskelschäden unterstützen und sich somit positiv auf die Regeneration auswirken (13).

Obwohl Proteine oft als notwendig für den Regenerationsprozess erachtet werden und vielen kommerziellen „Recovery beverages“ beigemischt sind, ist die Rolle von Eiweißen auf die Regeneration

1. PÄDAGOGISCHE HOCHSCHULE SCHWÄBISCH GMÜND, Institut für Gesundheitswissenschaften, Schwäbisch Gmünd



QR-Code scannen und Artikel online lesen.

KORRESPONDENZADRESSE:

Jun.-Prof. Dr. rer. nat. Anja Carlsohn
Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd,
Institut für Gesundheitswissenschaften
Oberbettringer Str. 200
73525 Schwäbisch Gmünd
✉ : anja.carlsohn@ph-gmuend.de

nach sportlicher Belastung wissenschaftlich umstritten. Dies liegt möglicherweise auch an unterschiedlichen Operationalisierungen der Regeneration: Ist die Reparatur von belastungsinduzierten Muskelschäden, das Nachlassen des vom Athleten wahrgenommenen Muskelschmerzes oder die vollständige Wiederherstellung der sportlichen Leistungsfähigkeit gemeint? Im Folgenden werden die Effekte von Proteinsupplementierungen oder -verzehr mit und ohne Kohlenhydratzusatz auf Parameter 1) der Muskelschädigung, 2) des wahrgenommenen Muskelschmerzes und 3) auf die Wiederherstellung der sportlichen Leistungsfähigkeit dargestellt.

Effekte auf sportinduzierte Muskelschäden

Ausdauerbelastungen wie Radsport oder Langstreckenlauf

Einige Studien zeigen einen positiven Effekt einer Proteineinnahme nach erschöpfender sportlicher Aktivität auf Surrogatparameter der Muskelschädigung. Beispielsweise erhielten Radsportler nach einem 2,5-stündigem, hochintensiven Intervalltraining entweder eine proteinreiche (218g Protein, 435g Kohlenhydrate (KH) und 79g Fett) oder eine isokalorische, proteinarme Kost (34g Protein, 640g KH und 79g Fett). Nach einer vierstündigen Erholungsphase waren die CK-Konzentrationen bei proteinreicher Kost um 33% niedriger verglichen mit der proteinarmen Ernährungsweise (15). Konsumierten Radsportler während und unmittelbar nach einem time-to-exhaustion Test entweder ein kohlenhydratreiches (7,3% KH) oder ein kohlenhydratreiches, proteinhaltiges Getränk (7,3% KH + 1,8% Protein), war die CK-Konzentration am Folgetag bei Verzehr des proteinhaltigen Getränks um 83% niedriger (16). Allerdings ist unklar, ob der Effekt auf die verabreichten Proteine oder aber die zusätzlich zugeführte Energie zurückzuführen ist. Letzteres legen die Ergebnisse von Studien mit isokalorischer Supplementierung während der Regeneration nahe. Beispielsweise untersuchten Millard-Stafford et al. den Effekt eines kohlenhydratangereicherten (10,3% KH) und eines isokalorischen Getränks mit Protein (8% KH + 2,3% Protein) auf die sportinduzierte Muskelschädigung nach einem 21 km-Lauf und anschließendem run-to-fatigue bei 90% VO_{2max} . Es wurden keine Unterschiede in der CK-Konzentration zwischen den isokalorischen Getränken oder im Vergleich zum handelsüblichen Sportgetränk (6% KH) beobachtet (11).

Breen et al. konnten auch bei Verabreichung kohlenhydratstandardisierter, nicht-isokalorischer Getränke (6% KH versus 6% KH + 1,8% Proteine) keinen Effekt des proteinangereicherten Getränks auf Marker der muskulären Schädigung nach 2-stündiger steady-state Belastung und anschließendem 1-stündigem Timetrial bei Radsportlern beobachten (3). Dagegen zeigten sich bei täglicher Supplementierung von Radsportlern über 2 Wochen (3x täglich entweder 23g KH oder 23g KH+5g BCAA) verringerte CK-Werte nach einem time-to-exhaustion Test in der BCAA-Gruppe, allerdings hatten diese Befunde keinen Einfluss auf den wahrgenommenen Muskelschmerz oder die Leistungsfähigkeit in der Regenerationsphase (17).

Exzentrische Belastungen

Nach einer 30-minütigen exzentrischen Ausdauerbelastung (Bergablaufen auf dem Laufband) hatte die wiederholte Einnahme von Kohlenhydraten (1,2g/kg/h) oder einem Kohlenhydrat-Proteingemisch (1,2g/kg/h KH+0,3g/kg/h Protein) nach Belastungsende keinen Einfluss auf den CK-Anstieg verglichen mit Placebo (7). Diese Ergebnisse ließen sich auch mit Verabreichung einer sehr hohen, einmaligen

Proteindosis (100g) unmittelbar nach einem 30-minütigen Bergablauf beobachten: Die Proteingabe hatte keinen Effekt auf die CK-Werte innerhalb von 72 Stunden nach der Belastung (5). Betts et al. untersuchten den Effekt einer wiederholten Proteingabe während und unmittelbar nach einer 90-minütigen Shuttle-Running Belastung (9% KH+3% Protein, insgesamt 160g Protein) auf Marker der Muskelschädigung. Auch hier unterschieden sich die CK-Werte nicht zwischen proteinangereichertem Kohlenhydratgetränk und Kohlenhydratgetränk (9% KH) (2).

Bei Betrachtung der belastungsinduzierten Muskelschädigung nach exzentrischem Krafttraining ließ sich kein Nutzen einer Proteingabe mit Kohlenhydraten (23g Protein+75g Kohlenhydrate), dem Konsum entrahmter Milch (0,9g KH+0,4g Protein pro Kilogramm Körpergewicht) oder der Verabreichung von essenziellen Aminosäuren (7,2g/d) verglichen mit Placebo nachweisen.

Beim Vergleich zwischen Verabreichung eines Kohlenhydratgetränks (64g KH), fettarmer Milch (49g KH + 34g Protein) und fettarmer Kakaomilch (118g KH + 33g Protein) unmittelbar nach exzentrischem Krafttraining zeigte sich ein geringerer CK-Anstieg nach Konsum der milchbasierten, allerdings deutlich energiereicheren Getränke (4).

Zusammenfassend sind die Ergebnisse im Ausdauersport widersprüchlich, sodass derzeit nicht von einer wahrscheinlichen Verringerung belastungsinduzierter Muskelschädigungen durch Einnahme von Protein während und/oder unmittelbar nach einer erschöpfenden Ausdauerbelastung ausgegangen werden kann.

Die einmalige oder wiederholte Protein-/Aminosäuregabe nach exzentrischen Belastungen hat keinen Einfluss auf das Ausmaß der belastungsinduzierten muskulären Schädigung.

Effekte auf den Muskelschmerz

Muskelschmerz nach Ausdauerbelastungen wie Radsport oder Langstreckenlauf

Für Ausdauerbelastungen wie Radsport oder Langstreckenlauf gibt es Hinweise, dass die Einnahme von proteinhaltigen Kohlenhydratgetränken den subjektiv wahrgenommenen Muskelschmerz verringern kann (11, 15). Der Konsum eines proteinhaltigen Kohlenhydratgetränks (8% KH+2,3% Protein) nach einer erschöpfenden Belastung (21km-Lauf mit anschließendem Lauf bis zur Erschöpfung) führte zwar nicht zur Leistungsverbesserung im 5km Timetrial am Folgetag, reduzierte aber den Muskelschmerz der Athleten signifikant gegenüber einem isokalorischen Kohlenhydratgetränk (10,3% KH) (11). Auch bei Radsportlern konnte nach Verzehr von 1,6g/kg/h KH+0,8g/kg/h Protein eine Verringerung des Muskelschmerzes verglichen mit isokalorischer Kohlenhydrateinnahme beobachtet werden, ohne dass sich dies auf die Leistungsfähigkeit am Folgetag auswirkte (15).

Muskelschmerz nach exzentrischen Dauerbelastungen

Die Erholung vom Muskelschmerz, der infolge von exzentrischen Dauerbelastungen (Bergablaufen, Shuttle running) auftritt, lässt sich dagegen der aktuellen Studienlage zufolge nicht durch Proteinsupplementierung beeinflussen (2, 5, 7). Selbst die Verabreichung einer sehr hohen Proteindosis (100g einmalig unmittelbar nach einem 30-minütigen Bergablauf) verringerte den Muskelschmerz während der nachfolgenden 72h nicht verglichen mit Placebo (5). Auch die wiederholte Gabe eines proteinhaltigen Kohlenhydratgetränks (1,2g KH pro Kilogramm Körpergewicht pro Stunde +0,3g/kg/h Protein) verringerte den

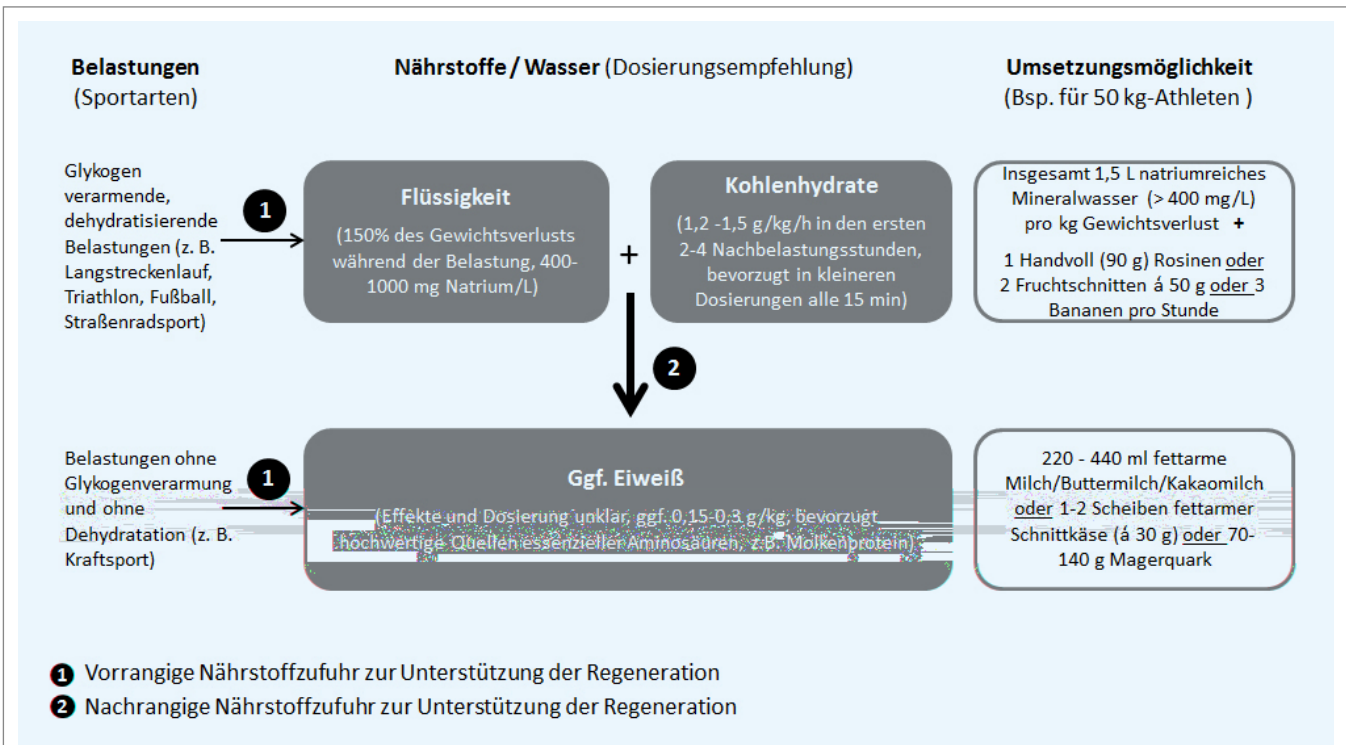


Abbildung 1

Handlungsempfehlungen zur Priorisierung der Flüssigkeits- und Nährstoffzufuhr zur nutritiven Unterstützung der Regeneration in Abhängigkeit von der Belastung.

Muskelschmerz verglichen mit einem reinen Kohlenhydratgetränk (1,2g/kg/h) oder Placebo während der nachfolgenden drei Tage nicht (7).

Muskelschmerz nach Krafttraining

Zwei Untersuchungen nach exzentrischen Kraftbelastungen bei Untrainierten zeigten, dass sich bei wiederholter Aminosäuren-Einnahme über 3-4 Tage der Muskelschmerz in den Nachbelastungstagen schneller reduziert als mit Placebo (10, 12). Ob der Proteinkonsum bei gut trainierten Athleten nach exzentrischem Krafttraining einen ähnlichen Effekt hervorrufen kann, ist allerdings unklar. Soa führte die Gabe von 42g Protein vor und nach dem Training bei Kraftsportlern verglichen mit Placebo zwar zu einer schnelleren Regeneration der muskulären Leistungsfähigkeit (s. u.), jedoch hatte dies keinen Effekt auf den Muskelschmerz (9).

Demnach scheint sich der Konsum proteinhaltiger Kohlenhydratgetränke günstig auf den belastungsinduzierten Muskelschmerz nach erschöpfenden Ausdauerbelastungen wie Radsport oder Langstreckenlauf auszuwirken. Untrainierte beobachten Ähnliches nach exzentrischem Krafttraining. Muskelschmerz, der durch exzentrische Dauerbelastungen hervorgerufen wurde, lässt sich jedoch nicht durch proteinhaltige Kohlenhydratgetränke beeinflussen.

Wiederherstellung der muskulären Funktionen und Leistungsfähigkeit

Ausdauerleistungsfähigkeit

Nach Gabe eines kohlenhydratreichen, proteinhaltigen Getränks (7,3% KH+1,8% Protein) im Anschluss an eine erschöpfende Belastung verlängerte sich bei Radsportlern die Zeit während eines time-to-exhaustion Tests am Folgetag um 40% verglichen mit einem – allerdings energieärmeren – Kohlenhydratgetränk (7,3% KH) (16). Studien, bei denen isokalorische Kohlenhydratgetränke mit bzw. ohne Proteianreicherung

untersucht wurden, zeigen keinen Effekt auf Messgrößen der Ausdauerleistungsfähigkeit (time-to-exhaustion Tests, Timetrials) oder auf die Leistungsfähigkeit während hochintensiver Intervalle (3, 11). Einzig der Konsum einer fettarmen Kakaomilch (=Protein-Kohlenhydratmischung) nach einer glykogenverarmenden Belastung führte zu einer 6%-igen Steigerung der Leistungsfähigkeit im 40km-Timetrial (Radsport) verglichen mit Placebo oder isokalorischem Kohlenhydratgetränk (6). Beträgt die Pause zwischen aufeinanderfolgenden, glykogenverarmenden Ausdauerbelastungen weniger als 8h und ist eine zielgerechte Kohlenhydratzufuhr (stündlich 1,2-1,5g/kg Körpermasse in den ersten Nachbelastungsstunden) nach der ersten Belastung nicht möglich oder nicht erwünscht, führt die kombinierte Kohlenhydrat-Eiweißzufuhr (z. B. 0,8g/kg/h KH+0,4g/kg/h P) zu einer ebenso effizienten Glykogenresynthese und verbesserten Ausdauerleistungsfähigkeit in der Folgebelastung wie eine isokalorische Kohlenhydratgabe (Beelen, 2010). Obwohl teilweise ein Kohlenhydrat-Proteinverhältnis von 3:1 in Regenerationsgetränken empfohlen wird, ist dies bei ausreichend hoher Kohlenhydratzufuhr weder förderlich für die Glykogenresynthese, noch reduzieren sich nachweisbar Marker der Muskelschädigung oder des Muskelschmerzes.

Kraftleistungsfähigkeit

Nach Gabe einer 5,4%-igen Kohlenhydratlösung mit 0,6% BCAA unmittelbar nach 90-minütigem Rad fahren bei 55% VO_{2max} wurde im Vergleich zum Kohlenhydratgetränk (6% KH) eine schnellere Regeneration der Beinkraft in der Flexion beobachtet (8).

Konsumierten Kraftsportler vor und nach einem Maximalkrafttraining ein Proteinsupplement (insgesamt 42g), erreichten sie nach 24h und 48h eine höhere Wiederholungszahl beim Kniebeugen (80% des Einwiederholungsmaximums) als Kraftsportler mit Placebokonsum (9). Ähnliches lässt sich bei Verzehr von Kakaomilch oder fettarmer Milch beobachten: Nach exzentrischem Knieflexionstraining war die

Tabelle 1

Übersicht der derzeit belegten Effekte einer Proteingabe mit oder ohne Kohlenhydratanreicherung vor, während und/oder nach sportlichen Belastungen. \emptyset ohne Effekt, + möglicherweise erhöht, ++ wahrscheinlich erhöht, +++ sehr wahrscheinlich erhöht, - möglicherweise reduziert, -- wahrscheinlich reduziert, --- sehr wahrscheinlich reduziert, EAA essenzielle Aminosäuren, M milchbasierte Getränke oder Milch.

EFFEKTE EINER PROTEIN-ANREICHUNG AUF:	AUSDAUER-SPORTARTEN WIE RADFAHREN ODER LAUFEN	EXZENTRISCHE DAUERBELASTUNGEN ODER INTERMITTIERENDE BELASTUNGEN MIT EXZENTRISCHEN ANTEILEN	KRAFTTRAINING (EXZENTRISCHES UND/ODER KONZENTRISCHES HYPERTROPHIE-TRAINING)
Belastungsinduzierte Muskelschädigung	-	\emptyset	\emptyset (- für EAA oder M)
Belastungsinduzierte Muskelschmerzen	--	\emptyset	\emptyset (-- für Untrainierte)
Wiederherstellung der Muskelfunktion/der Leistungsfähigkeit	+	\emptyset	+
Zusammenfassende Beurteilung	Schwache Evidenz für regenerationsförderliche Effekte	Keine regenerationsförderlichen Effekte	Unzureichende Evidenz für regenerationsförderliche Effekte

Kraftleistungsfähigkeit bei Konsum der Milchgetränke höher als bei Verzehr von Kohlenhydratgetränken oder Placebo (4). In anderen Studien dagegen zeigte sich kein Effekt einer Protein- bzw. Aminosäuresupplementierung nach exzentrischem Krafttraining auf die Kraftleistungsfähigkeit während der Regenerationsphase (18, 19).

Insgesamt sind die Ergebnisse im Ausdauersport inhomogen, möglicherweise auch aufgrund der unterschiedlichen Art und Dosierung der Proteine sowie verschiedener Protokolle zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit. Ein leistungsförderlicher Effekt einer Proteinsupplementierung in der Regenerationsphase ist daher wenig wahrscheinlich, insbesondere nicht bei adäquater Kohlenhydratzufuhr.

Auch im Kraftsport gibt es keine überzeugende Evidenz dafür, dass sich die Supplementierung mit Proteinen oder Aminosäuren positiv auf die Regeneration im Sinne der Wiederherstellung der Kraftleistungsfähigkeit auswirkt. Möglicherweise können jedoch BCAA bzw. Milchgetränke die Regeneration der Leistungsfähigkeit unterstützen.

Limitationen

Zwar gibt es ausreichend qualitativ hochwertige Studien, die den Effekt von Proteinen auf Marker der Regeneration nach sportlicher Belastung untersuchen, jedoch unterscheiden sich die initialen Belastungsprotokolle, die erfassten Parameter, die eingesetzten Protokolle zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit sowie Art, Dosierung und Zusammensetzung der verabreichten Supplemente bzw. Milchgetränke, sodass die Studienergebnisse nicht vergleichbar sind. Die Proteinzufuhr über Lebensmittel bzw. der Versorgungsstatus mit Eiweiß wurde nicht in allen Studien kontrolliert – in einer Untersuchung wirkte sich eine Proteinsupplementierung vorrangig bei den Athleten, die ohne Supplementierung eine negative Stickstoffbilanz aufwiesen, leistungsförderlich aus. Einige Untersuchungen wurden an zuvor Untrainierten durchgeführt, eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf gut Trainierte oder Spitzensportler ist fraglich. In der Trainingsroutine sollte zudem auch die Möglichkeit bedacht werden, dass sich

die Unterstützung der akuten Regeneration nachteilig auf die langfristige Trainingsadaptation auswirken könnte. Ähnliches ist beispielsweise für die Verabreichung von Antioxidanzien bekannt, die zwar möglicherweise den belastungsinduzierten Muskelschmerz und Parameter des oxidativen Stresses reduzieren können, dabei jedoch Signalkaskaden, die für die Trainingsadaptation notwendig sind, ungünstig beeinflussen.

Praktische Schlussfolgerungen

Obwohl Parameter der muskulären Schädigung, des Muskelschmerzes und Wiederherstellung der sportlichen Leistungsfähigkeit als Indikatoren der Regeneration nach sportlicher Belastung herangezogen werden, zeigen sich weder zwischen den genannten Indikatoren der Regeneration noch zur Proteinsupplementierung stringente Zusammenhänge (Tab. 1).

Im Ausdauersport hat die Verabreichung von Proteinen unklare Wirkungen auf das Ausmaß der belastungsinduzierten muskulären Schädigung, kann jedoch möglicherweise den wahrgenommenen Muskelschmerz der Athleten reduzieren. Für einen leistungsförderlichen Effekt einer Proteinsupplementierung in der Regenerationsphase gibt es bei Ausdauersportlern derzeit keine ausreichende Evidenz. Zur Regeneration von erschöpfenden Ausdauerbelastungen sollte daher anstelle einer Proteinanreicherung der Fokus auf Rehydratation und Unterstützung der Glykogenresynthese gelegt werden (1) (Abb. 1).

Nach exzentrischen Belastungen hat eine Proteinsupplementierung keinen Einfluss auf die belastungsinduzierte Muskelschädigung oder den Muskelschmerz. Für Krafttraining sind die Effekte einer Proteinsupplementierung auf die Muskelschädigung unklar, zudem gibt es keine überzeugende Evidenz für eine leistungsförderliche Wirkung in der Regenerationsphase.

Beachtenswert ist, dass Milch oder kohlenhydratangereicherte Milchgetränke (z. B. Kakaomilch) gegenüber Protein- oder Kohlenhydrat-Proteinsupplementen mindestens gleichwertig hinsichtlich der Wirkung – sofern vorhanden – auf Messgrößen der Regeneration waren. Aufgrund des fraglichen Effekts von Proteinsupplementen auf die muskuläre Regeneration und vor dem Hintergrund der bekannten Risiken bei der Verwendung von Supplementen sollten Athleten daher bei Bedarf Milch oder kohlenhydratangereicherte Milchgetränke anstelle von Nahrungsergänzungsmitteln bevorzugen. Der Bedarf kann durch eine professionelle Ernährungsbetreuung (z. B. durch Ernährungsberater an den Olympiastützpunkten) quantifiziert und entsprechende individualisierte Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

Zusammenfassend lässt sich keine verallgemeinernde Aussage über die Wirksamkeit von Proteinen auf die Regeneration treffen. Insbesondere bei einer grundsätzlich bedarfsadäquaten Kohlenhydrat- und Proteinversorgung scheint eine zusätzliche Proteingabe unmittelbar nach sportlicher Belastung wenig effektiv.

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen:
Keine

Literatur

- (1) **BECK KL, THOMSON JS, SWIFT RJ, VON HURST PR.** Role of nutrition in performance enhancement and postexercise recovery. *Open Access J Sports Med.* 2015; 6: 259-267. doi:10.2147/OAJSM.S33605
- (2) **BETTS JA, TOONE RJ, STOKES KA, THOMPSON D.** Systemic indices of skeletal muscle damage and recovery of muscle function after exercise: effect of combined carbohydrate-protein ingestion. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2009; 34: 773-784. doi:10.1139/H09-070
- (3) **BREEN L, TIPTON KD, JEUKENDRUP AE.** No effect of carbohydrate-protein on cycling performance and indices of recovery. *Med Sci Sports Exerc.* 2010; 42: 1140-1148.
- (4) **COCKBURN E, HAYES PR, FRENCH DN, STEVENSON E, ST CLAIR GIBSON A.** Acute milk-based protein-CHO supplementation attenuates exercise-induced muscle damage. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008; 33: 775-783. doi:10.1139/H08-057
- (5) **ETHERIDGE T, PHILP A, WATT PW.** A single protein meal increases recovery of muscle function following an acute eccentric exercise bout. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2008; 33: 483-488. doi:10.1139/H08-028
- (6) **FERGUSON-STEGALL L, MCCLEAVE EL, DING Z, DOERNER PG 3RD, WANG B, LIAO YH, KAMMER L, LIU Y, HWANG J, DESSARD BM, IVY JL.** Postexercise carbohydrate-protein supplementation improves subsequent exercise performance and intracellular signaling for protein synthesis. *J Strength Cond Res.* 2011; 25: 1210-1224. doi:10.1519/JSC.0b013e318212db21
- (7) **GREEN MS, CORONA BT, DOYLE JA, INGALLS CP.** Carbohydrate-protein drinks do not enhance recovery from exercise-induced muscle injury. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2008; 18: 1-18.
- (8) **GREER BK, WOODARD JL, WHITE JP, ARGUELLO EM, HAYMES EM.** Branched-chain amino acid supplementation and indicators of muscle damage after endurance exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2007; 17: 595-607.
- (9) **HOFFMAN JR, RATAMESS NA, TRANCHINA CP, RASHTI SL, KANG J, FAIGENBAUM AD.** Effect of a proprietary protein supplement on recovery indices following resistance exercise in strength/power athletes. *Amino Acids.* 2010; 38: 771-778. doi:10.1007/s00726-009-0283-2
- (10) **JACKMAN SR, WITARD OC, JEUKENDRUP AE, TIPTON KD.** Branched-chain amino acid ingestion can ameliorate soreness from eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2010; 42: 962-970. doi:10.1249/MSS.0b013e3181c1b798
- (11) **MILLARD-STAFFORD M, WARREN GL, THOMAS LM, DOYLE JA, SNOW T, HITCHCOCK K.** Recovery from run training: efficacy of a carbohydrate-protein beverage? *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2005; 15: 610-624.
- (12) **NOSAKA K, SACCO P, MAWATARI K.** Effects of amino acid supplementation on muscle soreness and damage. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2006; 16: 620-635.
- (13) **PASIAKOS SM, LIEBERMAN HR, MCLELLAN TM.** Effects of protein supplements on muscle damage, soreness and recovery of muscle function and physical performance: a systematic review. *Sports Med.* 2014; 44: 655-670. doi:10.1007/s40279-013-0137-7
- (14) **ROMANO-ELY BC, TODD MK, SAUNDERS MJ, LAURENT TS.** Effect of an isocaloric carbohydrate-protein-antioxidant drink on cycling performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2006; 38: 1608-1616. doi:10.1249/01.mss.0000229458.11452.e9
- (15) **ROWLANDS DS, THORP RM, ROSSLER K, GRAHAM DF, ROCKELL MJ.** Effect of protein-rich feeding on recovery after intense exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2007; 17: 521-543.
- (16) **SAUNDERS MJ, KANE MD, TODD MK.** Effects of a carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and muscle damage. *Med Sci Sports Exerc.* 2004; 36: 1233-1238. doi:10.1249/01.MSS.0000132377.66177.9F
- (17) **SKILLEN RA, TESTA M, APPLGATE EA, HEIDEN EA, FASCETTI AJ, CASAZZA GA.** Effects of an amino acid carbohydrate drink on exercise performance after consecutive-day exercise bouts. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2008; 18: 473-492.
- (18) **WHITE JP, WILSON JM, AUSTIN KG, GREER BK, ST JOHN N, PANTON LB.** Effect of carbohydrate-protein supplement timing on acute exercise-induced muscle damage. *J Int Soc Sports Nutr.* 2008; 5: 5. doi:10.1186/1550-2783-5-5
- (19) **WOJCIK JR, WALBER-RANKIN J, SMITH LL, GWAZDAUSKAS FC.** Comparison of carbohydrate and milk-based beverages on muscle damage and glycogen following exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2001; 11: 406-419.