

Nieß AM, Striegel H

Ernährung nach dem Training und Spiel – eine Leistungsreserve im Fußball?

Post-Exercise Nutrition in Football – A Performance Benefit?

Abteilung Sportmedizin, Medizinische Klinik, Universitätsklinikum Tübingen

ZUSAMMENFASSUNG

Die gestiegenen konditionellen und metabolischen Anforderungen im Fußball machen es notwendig, auch in einer solchen Sportart eine optimale Nährstoffzufuhr nach dem Training oder Wettkampf zu sichern. Hierbei gilt eine ausreichende Zufuhr von Kohlenhydraten als wesentliches Element einer Ernährungsoptimierung in der Nachbelastungsphase. Bei einem täglichen Energiebedarf im Profifußball von 3000 bis 4000 kcal wird ein prozentualer Anteil der Kohlenhydrate an der Energiezufuhr im Rahmen der normalen Mahlzeiten von 55 bis 65 % empfohlen. Darüber hinaus ist eine zum Trainings- oder Spielende zeitnahe Zufuhr von Kohlenhydraten zur Nutzung der in dieser Phase erhöhten Glykogenresynthese wichtig. Eine hohe muskuläre Resyntheserate für Glykogen kann erreicht werden, wenn 1,0-1,2 g Kohlenhydrate/kg Körpergewicht/Stunde in mehreren Portionen über einen Zeitraum von 3-5 Stunden nach Belastung zugeführt werden. Eine zeitnahe Aufnahme von intakten Proteinen oder Aminosäuren nach Belastung fördert das Erreichen einer positiven Stickstoffbilanz und unterstützt somit die muskuläre Proteinsynthese. Als optimale Zufuhrmenge nach Belastung gelten hierbei 20 g intakter Proteine oder 6 g essentieller Aminosäuren. Oberhalb einer Tageszufuhr von 1,2-1,4 g Proteinen/kg Körpergewicht ist kein zusätzlicher Effekt mehr zu erwarten. Zu beachten ist weiterhin eine adäquate Rehydrierung, wobei im Falle größerer Schweißverluste auf eine ausreichende Kochsalzzufuhr geachtet werden sollte. Bei zwei oder mehr Belastungseinheiten an einem Tag sollte die Wiederauffüllung der verloren gegangenen Flüssigkeit vor der nächsten Trainings- oder Spielbelastung abgeschlossen sein.

Schlüsselwörter: Kohlenhydrate, Proteine, Flüssigkeit, Kochsalz.

EINLEITUNG

Die Wiederherstellung der körperlichen Leistungsfähigkeit nach einer sportlichen Belastung besitzt einen zentralen Stellenwert im Sport. Während dieser Erholungsphase tragen eine Reihe von Faktoren zur Regeneration und Adaptation des Organismus bei. Dazu zählt die Rehydration ebenso wie die Wiederauffüllung verbrauchter Makronährstoffe. Darüber hinaus gibt es Hinweise, dass durch Ernährungsmaßnahmen neben dem alleinigen Effekt einer Wiederauffüllung entleerter Energiespeicher auch eine Wirkung auf die belastungsinduzierte Stressreaktion und die Trainingsanpassung erwartet werden kann (18,53). Beachtung fanden diese Aspekte zunächst vor allem im Training von Ausdauer- und Kraftsportarten. Die komplexeren werdenden konditionellen Anforderungen im Fußball und die teils hohe Dichte von Spielbelastungen machen es auch in einer solchen Sportart notwendig, eine adäquate Ernährung nach dem Training und Wettkampf zu sichern. Wissenschaftliche Untersuchungen zur Ernährung nach

SUMMARY

Post-exercise food and fluid consumption are necessary for optimal and fast regeneration from training and competition. In the light of a growing physical strain in team sports such as football, which includes multiple exercise sessions on the same and/or consecutive days, it has been recognized that not only endurance or strength athletes benefit from optimal nutrition during the post-exercise recovery period. However, evidence also exists that dietary habits and food choice in football players often are far from optimal. One dietary goal in the post-exercise period is to provide an adequate amount of carbohydrates to optimize muscle glycogen recovery. With regard to a daily energy requirement between 3000 and 4000 kcal in elite football, the percentage of ingested carbohydrates should range between 55 and 65 %. In addition, an increased muscle glycogen synthesis rate in the early post-exercise period can be exploited via ingestion of carbohydrates to speed up muscle glycogen resynthesis. Secondly, the ingestion of intact proteins or essential amino acids during the early post-exercise period has been shown to promote net protein synthesis in muscle and may exert beneficial effects on muscle adaptation. Finally, adequate replacement of fluid and, in cases of a greater sweat loss, attention to additional salt intake are important factors in post-exercise nutrition.

Key Words: Carbohydrate, protein, rehydration, sodium chloride.

Belastung beschäftigen sich in der Mehrzahl mit Ausdauer- oder Kraftbelastungen, bei denen Interventionseffekte im Vergleich zu den komplexeren Sportarten leichter erfasst werden können. Dennoch können zumindest ein Teil dieser Erkenntnisse in eine Sportart wie den Fußball übertragen werden.

MAKRONÄHRSTOFFZUFUHR

Die Substrate Kohlenhydrate und Fette stellen die wesentlichen Energielieferanten bei sportlicher Belastung dar. Dagegen werden Proteine nur zu einem kleinen Anteil bei Belastung genutzt.

accepted: December 2012

published online: January 2013

DOI: 10.5960/dzsm.2012.047

Nieß AM, Striegel H: Ernährung nach dem Training und Spiel – eine Leistungsreserve im Fußball? Dtsch Z Sportmed 64 (2013) 35-39.

Während eines 90-minütigen Fußballspiels oder einer vergleichbaren Trainingsbelastung liegt der Energiebedarf bei einem Feldspieler zwischen 1100 und 1500kcal (Tab. 1) (3, 12). Sowohl im Spiel als auch im zunehmend intervallartig gestalteten Training wird ein Teil der Belastungen in einem höheren Intensitätsbereich absolviert, wobei die durchschnittliche Intensität über 90 Minuten im Bereich der Laktatschwelle liegt (21).

Kohlenhydrate

Kohlenhydrate sind dabei die Hauptenergielieferanten und besitzen einen Anteil an der Energiebereitstellung von etwa 65-70% (12,42). Ähnlich wie bei vergleichbaren Ausdauerbelastungen von über 90min oder intensiveren Belastungen mit Intervallcharakter von über 60min Dauer ist im Fußball somit mit einer relevanten Beanspruchung der muskulären Glykogenspeicher zu rechnen und eine bis zu 70-90%ige Ausschöpfung dieses Energiespeichers beschrieben (4,37,54). Die unter Höhenbedingungen oder in der Hitze zusätzlich vermehrte Utilisation von Kohlenhydraten kann diesen Effekt noch verstärken (11,30). Bedeutsam ist, dass vor allem in den schnellen Muskelfasern Typ II auch 48 Stunden nach einer 90-minütigen Spielbelastung eine vollständige Wiederaufladung der Glykogenspeicher noch nicht wieder erreicht ist (14). Entsprechend muss es das Ziel sein, über eine adäquate Kohlenhydrataufnahme nach einer Belastung Muskelglykogen wieder rasch aufzubauen.

Ermöglicht wird dies zum einen durch eine ausreichende Kohlenhydratzufuhr im Rahmen der normalen Mahlzeiten. Ideale Kohlenhydratlieferanten sind Kartoffeln, Reis, Nudeln, Brot und Vollkornprodukte (20). Bei einem täglichen Energiebedarf im Profifußball von 3000 bis 4000kcal wird ein prozentualer Anteil der Kohlenhydrate an der Energiezufuhr im Rahmen der normalen Mahlzeiten von 55 bis 65% empfohlen. (38). Dies entspricht einer Aufnahme von 6-9g Kohlenhydraten pro kg Körpergewicht und Tag. Im Fußball werden solche Zufuhrmengen häufig nicht erreicht (2,23,36,39). Muskelbiopsische Befunde bestätigen, dass dadurch eine optimale Glykogenaufladung nicht ermöglicht wird (23). Wie Balsom et al. (1999) zeigen konnten (1), führt eine auf einen Energieanteil von 30% reduzierte Kohlenhydratzufuhr in der Normalkost bei Fußballspielern zu einer Abnahme intensiverer Spielanteile in einem simulierten Match und hat somit leistungsrelevante Auswirkungen. Zudem finden sich bei sportlichen Belastungen, die unter einer besseren Kohlenhydratverfügbarkeit absolviert werden, eine abgeschwächte immunologische und hormonelle Stressantwort (13,29,41). Inwieweit dies Einfluss auf die generelle Belastungstoleranz in Training und Wettkampf besitzt, ist allerdings unklar.

Neben der täglich aufgenommenen Menge spielt bei der Wiederauffüllung der körpereigenen Glykogenspeicher jedoch auch der Zeitpunkt der Zufuhr eine wichtige Rolle. Da in der ersten Stunde nach Belastung die Rate der muskulären Glykogenresynthese am höchsten ist, kann durch den Konsum schnell resorbierbarer Kohlenhydrate der Wiederaufbau von Muskelglykogen beschleunigt werden (25). Insbesondere in Phasen einer hohen Trainingsbelastung in der Vorbereitung mit zwei oder mehr Trainingseinheiten am Tag und einem engen Spielkalender während der Saison sollte dies genutzt werden. Eine hohe muskuläre Resyntheserate für Glykogen kann erreicht werden (Abb.1), wenn 1,0-1,2g Kohlenhydrate/kg Körpergewicht und Stunde in mehreren Portionen über einen Zeitraum von 3-5 Stunden nach der letzten Trainings- oder Spielbelastung Belastung zugeführt werden (25). Für die Praxis

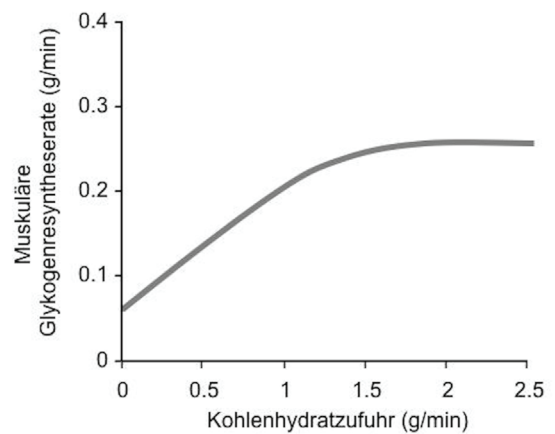


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen der Zufuhrate an Kohlenhydraten und der muskulären Glykogenresyntheserate in der Nachbelastungsphase (25,35).

Tabelle 1: Energie- und Kohlenhydratverbrauch sowie Schwitzmenge und Kochsalzverluste männlicher Fußballspieler während einer Spiel- oder entsprechenden Trainingsbelastung über 90Minuten. Angabe der zu erwartenden Minimum- und Maximumwerte.

	min	max	Referenz
Energiebedarf (kcal)	1050	1750	2, 12
Kohlenhydratverbrauch			
(kcal)	680	1230	12 .
(g)	165	300	12 .
Schwitzmenge (l)	1,1	3,5	43, 44
Kochsalzverlust (g)	1,5	8	43, 44

kann empfohlen werden, in der ersten halben Stunde nach Belastung zunächst 1,0-1,5g/kg Körpergewicht schnell resorbierbarer Kohlenhydrate zuzuführen (38). Dabei ist es unwesentlich, ob die Gabe in fester oder flüssiger Form erfolgt. In Sportgetränken hat sich ein Kohlenhydratanteil von etwa 8% entsprechend 80g pro Liter als günstig erwiesen. Je nach individueller Vorliebe kann die Zufuhr auch in Form fester Nahrung wie z.b. Bananen, Energieriegel oder Knäckebrot erfolgen (20). Komplexe Kohlenhydrate wie Maltodextrine haben den Vorteil, dass sie im Vergleich zu Monosacchariden bei gleicher Energiedichte eine geringere osmotische Aktivität aufweisen und somit nicht mit der gleichzeitige Flüssigkeitsresorption interferieren. In der weiteren Nachbelastungsphase können die oben empfohlenen Zufuhrmengen wie bereits beschrieben über die Mahlzeiten gedeckt werden (20,38). Obwohl bei Frauen im Vergleich zu Männern bei Ausdauerbelastungen der Anteil an Fettutilisation deutlicher ausgeprägt ist (16,48), zeigt sich in der Nachbelastungsphase kein Geschlechtsunterschied in der Glykogen-Syntheserate unter Gabe von Kohlenhydraten (47).

Die erhöhte Glykogenresynthese nach muskulärer Belastung wird auf eine kontraktionsbedingte Stimulation der Translokation des Glukosetransporters-4 (GLUT-4) und eine Stimulation der Glykogensynthetase durch eine erhöhte Verfügbarkeit von Glukose-6-Phosphat zurückgeführt (24). Bei einem durch eine exzentrische Belastung induzierten Muskelschaden wird allerdings die Glykogenresynthese beeinträchtigt, was durch eine verringerte Expressi-

on von GLUT-4 und eine passager herabgesetzte Insulinsensitivität verursacht wird (31). Auch die teils praktizierte lokale Kühlung der Muskulatur scheint die Resynthese von Glykogen im Muskel zu verlangsamen (52) und die Wiederaufladung der Speicher möglicherweise zu verzögern. Die kombinierte Zufuhr von Kohlenhydraten mit Proteinen oder Aminosäuren nach Belastungsende mit der Zielsetzung einer zusätzlichen Beschleunigung der muskulären Glykogenresynthese ergibt keinen Benefit, wenn die alleinige Kohlenhydratgabe bei einer Zufuhrate von 1,2g/kg Körpergewicht und Stunde liegt. Bei Zufuhraten unter 1,0g/kg KG und Stunde kann die Glykogenresynthese durch eine zusätzliche Eiweiß- oder Aminosäurezufuhr günstig beeinflusst werden (5).

Fette

Zwar gibt es keine verfügbaren Daten aus dem Fußball zur Inanspruchnahme myozellulärer Triglyceride (IMTG), doch kann vermutet werden, dass neben Ausdauer- und Kraftbelastungen (8,26) auch ein Fußballspiel über 90min oder eine dem nahe kommende Trainingsbelastung zumindest teilweise zu einer Verringerung der IMTG-Speicher führt. Im Gegensatz zu den Glykogenspeichern ist nicht endgültig geklärt, inwieweit eine optimale Ausprägung der muskulären IMTG-Speicher eine leistungsrelevante Bedeutung besitzt (28). Da eine fettarme Diät mit weniger als 10% Energieanteil die Wiederaufladung der muskulären IMTG-Speicher deutlich verzögern kann (26), sollte in der späteren Nachbelastungsphase auch die Zufuhr von Fetten im Rahmen der normalen Mahlzeiten nicht außer Acht gelassen werden. Dabei sollten 20-25% der oben genannten Gesamtenergiezufuhr durch Fette abgedeckt werden, was 65-105g pro Tag entspricht. Für die Anteile der Fettsäuren bezogen auf den Gesamtanteil der Fettzufuhr gelten auch bei Sportlern die allgemein gültigen Empfehlungen: Maximal ein Drittel an gesättigten Fettsäuren (bis 10% der Gesamtenergieaufnahme) sowie jeweils ein Drittel an einfach ungesättigten Fettsäuren und mehrfach ungesättigte (Omega 6- und Omega 3-) Fettsäuren (38).

Proteine

Neben der Wiederauffüllung muskulärer Kohlenhydrat- und Fettspeicher besitzt in der einem wirksamen Wettkampf- oder Trainingsreiz folgenden Regenerationsphase auch die die Einleitung adaptativer Prozesse einen zentralen Stellenwert. Voraussetzung für eine Anpassung des Muskels ist das Vorliegen einer positiven Stickstoffbilanz, was bedeutet, dass die muskuläre Proteinsynthese das Ausmaß der durch Belastung induzierten Proteindegradation übersteigt (5). Bei einer zu diesem Zeitpunkt nicht ausreichenden Verfügbarkeit von Proteinen oder Aminosäuren kann die Stickstoffbilanz negativ ausfallen. Die alleinige Zufuhr von Kohlenhydraten in der Nachbelastungsphase kann das Ausmaß der belastungsinduzierten Proteindegradation im Muskel zwar reduzieren, nicht jedoch gleichzeitig die muskuläre Proteinsynthese stimulieren (7).

Anders sieht es aus, wenn zeitnah in den beiden ersten Stunden nach Belastung intakte Proteine oder Aminosäuren zugeführt werden (5,18). Dadurch kann die Zunahme der muskulären Proteinsynthese nach Belastung gesteigert und eine positive Stickstoffbilanz erreicht werden. Dies konnte sowohl für kraft- (50) als auch für ausdauerartige Belastungen (5,22) gezeigt werden. Allerdings scheint bei einem intensiven Belastungsreiz in erster Linie die myofibrilläre und weniger die mitochondriale Proteinsynthese davon zu profitieren (9).

Für Spielsportarten wie Fußball gibt es bisher keine vorliegenden Studiendaten, welche einen die Trainingsantwort fördernden Effekt durch eine zusätzliche Proteinzufuhr nach dem Training dokumentiert. Gleichwohl sind günstige Effekte auf den muskulären Proteinaufbau wie sie bei einer Kombination von Schwimm- und Krafttraining gezeigt werden konnten (49) auch beim Fußball denkbar. Zurückgeführt werden können die Wirkungen einer zeitnahen Proteinzufuhr auf eine erhöhte Verfügbarkeit von Aminosäuren und einen Insulinanstieg, die beide der Proteindegradation entgegenwirken. Dieser Effekt wird durch eine parallele Zufuhr von Kohlenhydraten infolge deren insulinotropen Wirkung unterstützt (5), was für eine kombinierte Gabe von Eiweiß und Kohlenhydraten spricht.

Daneben finden sich Hinweise, dass es unter einer zeitnahen Zufuhr von intakten Proteinen oder Aminosäuren nach einem Krafttraining zu einer zusätzlichen Aktivierung von Signalprozessen im Muskel, wie z.B. einer vermehrten Phosphorylierung des mTOR-Signalweges (10,33) kommt, die an der Regulation von Proteinsynthese und -degradation im Muskel beteiligt sind.

Nicht abgeschlossen ist die Diskussion hinsichtlich der optimalen Dosierung und Form von in der frühen Nachbelastungsphase zugeführten Proteinen oder Aminosäuren. Milcheiweiß und dessen Bestandteilen Molke und Kasein werden eine stärkere Wirkung auf die Muskelanpassung zugerechnet als Sojaproteinen (46). Dabei wird ein besonders förderlicher Effekt von Leucin diskutiert, welches sich bevorzugt in Milch findet (5,32). Zudem führt die schnellere Resorption aus Sojaprotein freigesetzter Aminosäuren zu deren rascheren Verstoffwechslung in der Leber und somit vermutlich zu einer geringeren Verteilung in der Peripherie. Nach wie vor gibt es keine gesicherten Erkenntnisse, dass eine Zufuhr intakter Proteine, z.B. über Milchprodukte der Anwendung isolierter Proteine bzw. Aminosäurenpräparaten unterlegen wäre (5). Als optimale Zufuhrmenge bei der Aufnahme kurz nach einer Trainingsbelastung gelten nach derzeitigen Erkenntnissen 20g an intakten Proteinen oder 6g an essentiellen Aminosäuren (32,33). Oberhalb dieser Mengen ist in der Nachbelastungsphase nach bisherigen Erkenntnissen kein zusätzlicher Effekt zu erwarten. Bei einer Sportart wie Fußball liegt die empfohlene Tageszufuhr für Proteine in Anlehnung an Ausdauersportarten in einem Bereich von 1,2-1,4g/kg Körpergewicht (38).

Flüssigkeitszufuhr

In Abhängigkeit der Belastungsintensität, -form und -dauer sowie dem zusätzlichen Einfluss von Umgebungsbedingungen kommt es bei sportlichen Belastungen zu einer mehr oder weniger deutlich ausgeprägten Dehydratation. Bei männlichen Fußballern liegt bei einer typischen Spielbelastung der durchschnittliche Verlust an Schweiß bei etwa 1,5l pro Stunde, bei Frauen verringert sich dieser Wert auch bei Bezug auf das Körpergewicht etwa um ein Drittel (43). Dabei zeigt sich allerdings eine sehr hohe individuelle Variabilität der Schweißmenge. Bisher ging man davon aus, dass bis zu einem Flüssigkeitsverlust von 2% des Körpergewichts nicht von einer Beeinträchtigung der körperlichen Leistungsfähigkeit auszugehen ist (38,40). Eine aktuelle Metaanalyse kommt zu dem Schluss, dass unter Feldbedingungen die Ausdauerleistungsfähigkeit sogar bis zu einem Flüssigkeitsverlust von 4% nicht leidet (14). Daher ist es nicht notwendig während Belastung die über den Schweiß verloren gegangene Flüssigkeit vollständig zu ersetzen. Dadurch vermeidet der Sportler das Risiko, dass durch eine übermäßige

Flüssigkeitszufuhr während Belastung eine Hyponatriämie induziert wird. Demgegenüber sollte in der Nachbelastungsphase pro kg Gewichtsverlust zwischen 1,0 und 1,5 Liter rehydriert werden, um die Flüssigkeitsverluste auszugleichen. In der Regel kann ein größerer Teil der nach Belastung notwendigen Flüssigkeitszufuhr über den Konsum von Getränken während der anschließenden Mahlzeit realisiert werden (32). Vor der folgenden sportlichen Belastung sollte eine hinreichende Rehydrierung abgeschlossen sein. Zu beachten ist eine ausreichende Zufuhr von Kochsalz, insbesondere wenn höhere Schweißverluste vorliegen. Auch die Kochsalzverluste zeigen eine ausgeprägte individuelle Schwankungsbreite, wie dies auch für 90-minütige Spiel- und Trainingsbelastungen beim Fußball gezeigt werden konnte (44). Eine Zufuhr zusätzlicher Mineralstoffe ist in der Regel nicht notwendig, da diese in ausreichender Menge über eine ausgewogene Mischkost zugeführt werden können (32). Speziell in Phasen erhöhter Umgebungstemperaturen sollte der Sportler seinen Hydrationsstatus kontrollieren, was durch tägliches Wiegen unter standardisierten Bedingungen leicht möglich ist (15). Ein innerhalb kurzer Zeit auftretender Gewichtsverlust oder ein stark konzentrierter Urin deuten dabei auf eine unzureichende Hydratation hin.

Zusammenfassend können als wesentliche Elemente einer Ernährungsoptimierung in der Nachbelastungsphase im Fußball die Zufuhr von Kohlenhydraten zur Nutzung der in dieser Phase erhöhten Glykogenresyntheserate und die Aufnahme von Proteinen zur Unterstützung der muskulären Proteinsynthese empfohlen werden. Wichtig ist eine adäquate Rehydrierung, wobei im Falle größerer Schweißverluste auf eine ausreichende Kochsalzzufuhr geachtet werden sollte.

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

LITERATUR

- BALSOM PD, WOOD K, OLSSON P, EKBLÖM B: Carbohydrate intake and multiple sprint sports: with special reference to football (soccer). *Int J Sports Med* 20 (1999) 48-52. doi:10.1055/s-2007-971091.
- BANGSBO J, NØRREGAARD L, THORSØE F: The effect of carbohydrate diet on intermittent exercise performance. *Int J Sports Med* 13 (1992) 152-157. doi:10.1055/s-2007-1021247.
- BANGSBO J: Energy demands in competitive soccer. *J Sports Sci* 12 (1994) S5-S12.
- BANGSBO J, IAIA FM, KRUSTRUP P: Metabolic response and fatigue in soccer. *Int J Sports Physiol Perform* 2 (2007) 111-127.
- BEELEN M, BURKE LM, GIBALA MJ, VAN LOON LJ: Nutritional strategies to promote postexercise recovery. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 20 (2010) 515-532.
- BETTS J, WILLIAMS C, DUFFY K, GUNNER F: The influence of carbohydrate and protein ingestion during recovery from prolonged exercise on subsequent endurance performance. *J Sports Sci* 25 (2007) 1449-1460. doi:10.1080/02640410701213459.
- BØRSHEIM E, CREE MG, TIPTON KD, ELLIOTT TA, AARSLAND A, WOLFE RR: Effect of carbohydrate intake on net muscle protein synthesis during recovery from resistance exercise. *J Appl Physiol* 96 (2004) 674-678. doi:10.1152/jappphysiol.00333.2003.
- BRECHTEL K, NIESS A, MACHANN J, RETT K, SCHICK F, CLAUSSEN CD, DICKHUTH H-H, HAERING HU, JACOB S: Utilisation of intramyocellular lipids (IMCL) during exercise as assessed by proton magnetic resonance spectroscopy (1H-MRS). *Horm Metab Res* 33 (2001) 63-66. doi:10.1055/s-2001-12407.
- COFFEY VG, MOORE DR, BURD NA, RERECICH T, STELLINGWERFF T, GARNHAM AP, PHILLIPS SM, HAWLEY JA: Nutrient provision increases signalling and protein synthesis in human skeletal muscle after repeated sprints. *Eur J Appl Physiol* 111 (2011) 1473-1483. doi:10.1007/s00421-010-1768-0.
- FARNFIELD MM, BREEN L, CAREY KA, GARNHAM A, CAMERON-SMITH D: Activation of mTOR signalling in young and old human skeletal muscle in response to combined resistance exercise and whey protein ingestion. *Appl Physiol Nutr Metab* 37 (2012) 21-30. doi:10.1139/h11-132.
- FEBBRAIO MA, SNOW RJ, STATHIS CG, HARGREAVES M, CAREY MF: Effect of heat stress on muscle energy metabolism during exercise. *J Appl Physiol* 77 (1994) 2827-2831.
- FERRAUTI A, GIESEN HT, MERHEIM G, WEBER K: Indirekte Kalorimetrie im Fußballspiel. *Dtsch Z Sportmed* 57 (2006) 142-146.
- FREIDENREICH DJ, VOLEK JS: Immune responses to resistance exercise. *Exerc Immunol Rev* 18 (2012) 8-41.
- GOULET ED: Effect of exercise-induced dehydration on time-trial exercise performance: a meta analysis. *Br J Sports Med* 45 (2011) 1149-1156.
- GUNNARSSON TP, BENDIKSEN M, BISCHOFF R, CHRISTENSEN PM, LE-SVIG B, MADSEN K, STEPHENS F, GREENHAFF P, KRUSTRUP P, BANGSBO J: Effect of whey protein- and carbohydrate-enriched diet on glycogen resynthesis during the first 48 h after a soccer game. *Scand J Med Sci Sports* (2011) 23 Nov. Epub ahead of print.
- HARVEY G, MEIR R, BROOKS L, HOLLOWAY K: The use of body mass changes as a practical measure of dehydration in team sports. *J Sci Med Sport* 11 (2008) 600-603. doi:10.1016/j.jsams.2007.05.012.
- HAUSSWIRTH C, LE MEUR Y: Physiological and nutritional aspects of post-exercise recovery: specific recommendations for female athletes. *Sports Med* 41 (2011) 861-882. doi:10.2165/11593180-000000000-00000.
- HAWLEY JA, BURKE LM, PHILLIPS SM, SPRIET LL: Nutritional modulation of training-induced skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol* 110 (2011) 834-845. doi:10.1152/jappphysiol.00949.2010.
- HENDERSON GC, FATTOR JA, HORNING MA, FAGHIHIA N, JOHNSON ML, LUKE-ZEITOUN M, BROOKS GA: Glucoregulation is more precise in women than in men during postexercise recovery. *Am J Clin Nutr* 87 (2008) 1686-1694.
- HIPP A, NIESS A: Sport und Ernährung, in: Biesalski H-K, Bischoff SC, Puchstein C. (Hrsg): Ernährungsmedizin. Thieme Verlag, Stuttgart, 2010, 374-387.
- HOFF J, KÄHLER N, HELGERUD J: Training sowie Ausdauer- und Krafttests von professionellen Fußballspielern. *Dtsch Z Sportmed* 57 (2006) 116-124.
- HOWARTH KR, MOREAU NA, PHILLIPS SM, GIBALA MJ: Coingestion of protein with carbohydrate during recovery from endurance exercise stimulates skeletal muscle protein synthesis in humans. *J Appl Physiol* 106 (2009) 1394-1402. doi:10.1152/jappphysiol.90333.2008.
- JACOBS I, WESTLIN N, KARLSSON J, RASMUSSEN M, HOUGHTON B: Muscle glycogen and diet in elite soccer players. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 48 (1982) 297-302. doi:10.1007/BF00430219.
- JENSEN TE, RICHTER EA: Regulation of glucose and glycogen metabolism during and after exercise. *J Physiol* 590 (2012) 1069-1076.
- JENTJENS R, JEUKENDRUP A: Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery. *Sports Med* 33 (2003) 117-144. doi:10.2165/00007256-200333020-00004.
- KOOPMAN R, MANDERS RJ, JONKERS RA, HUL GB, KUIPERS H, VAN LOON LJ: Intramyocellular lipid and glycogen content are reduced following resistance exercise in untrained healthy males. *Eur J Appl Physiol* 96 (2006) 525-534. doi:10.1007/s00421-005-0118-0.
- LARSON-MEYER DE, NEWCOMER BR, HUNTER GR: Influence of endurance running and recovery diet on intramyocellular lipid content in women: a 1H NMR study. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 282 (2002) E95-E106.
- LARSON-MEYER DE, BORKHSENIUS ON, GULLETT JC, DEVRIES MC, SMITH SR, RAVUSSIN E: Effect of dietary fat on serum and intramyocellular lipids and running performance. *Med Sci Sports Exerc* 40 (2008) 892-902. doi:10.1249/MSS.0b013e318164cb33.
- LI TL, GLEESON M: The effects of carbohydrate supplementation during the second of two prolonged cycling bouts on immunoendocrine responses. *Eur J Appl Physiol* 95 (2005) 391-399. doi:10.1007/s00421-005-0024-5.

30. LUNDBY C, VAN HALL G: Substrate utilization in sea level residents during exercise in acute hypoxia and after 4 weeks of acclimatization to 4100 m. *Acta Physiol Scand* 176 (2002) 195-201. doi:10.1046/j.1365-201X.2002.01030.x.
31. MAARBJERG SJ, SYLOW L, RICHTER EA: Current understanding of increased insulin sensitivity after exercise - emerging candidates. *Acta Physiol (Oxf)* 202 (2011) 323-335. doi:10.1111/j.1748-1716.2011.02267.x.
32. MAUGHAN RJ, SHIRREFFS SM: Nutrition for sports performance: issues and opportunities. *Proc Nutr Soc* 71 (2012) 112-119. doi:10.1017/S0029665111003211.
33. MOORE DR, ROBINSON MJ, FRY JL, TANG JE, GLOVER EI, WILKINSON SB, PRIOR T, TARNOPOLSKY MA, PHILLIPS SM: Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men. *Am J Clin Nutr* 89 (2009) 161-168. doi:10.3945/ajcn.2008.26401.
34. NEWSOM SA, SCHENK S, LI M, EVERETT AC, HOROWITZ JF: High fatty acid availability after exercise alters the regulation of muscle lipid metabolism. *Metabolism* 60 (2011) 852-859. doi:10.1016/j.metabol.2010.08.004.
35. NIESS AM, STRIEGEL H: Standards der Sportmedizin: Sportgetränke. *Dtsch Z Sportmed* 57 (2006) 27-28.
36. ONO M, KENNEDY E, REEVES S, CRONIN L: Nutrition and culture in professional football. A mixed method approach. *Appetite* 58 (2012) 98-104. doi:10.1016/j.appet.2011.10.007.
37. RICO-SANZ J, ZEHNDER M, BUCHLI R, DAMBACH M, BOUTELLIER U: Muscle glycogen degradation during simulation of a fatiguing soccer match in elite soccer players examined noninvasively by ¹³C-MRS. *Med Sci Sports Exerc* 31 (1999) 1587-1593. doi:10.1097/00005768-199911000-00014.
38. RODRIGUEZ NR, DI MARCO NM, LANGLEY S: American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 41 (2009) 709-731.
39. RUIZ F, IRAZUSTA A, GIL S, IRAZUSTA J, CASIS L, GIL J: Nutritional intake in soccer players of different ages. *J Sports Sci* 23 (2005) 235-242. doi:10.1080/02640410410001730160.
40. SAWKA MN, MONTAIN SJ: Fluid and electrolyte supplementation for exercise heat stress. *Am J Clin Nutr* 72 (2000) 564S-572S.
41. SCHARHAG J, MEYER T, AURACHER M, GABRIEL HH, KINDERMANN W: Effects of graded carbohydrate supplementation on the immune response in cycling. *Med Sci Sports Exerc* 38 (2006) 286-292. doi:10.1249/01.mss.0000191437.69493.d4.
42. SHEPHARD RJ: Meeting carbohydrate and fluid needs in soccer. *Can J Sport Sci* 15 (1990) 165-171.
43. SHIRREFFS SM, SAWKA MN, STONE M: Water and electrolyte needs for football training and match-play. *J Sports Sci* 24 (2006) 699-707. doi:10.1080/02640410500482677.
44. SHIRREFFS SM: Hydration: special issues for playing football in warm and hot environments. *Scand J Med Sci Sports* 20 (2010) 90-94. doi:10.1111/j.1600-0838.2010.01213.x.
45. SLIVKA D, TUCKER T, CUDDY J, HAILES W, RUBY B: Local heat application enhances glycogenesis. *Appl Physiol Nutr Metab* 37 (2012) 247-251. doi:10.1139/h11-157.
46. TANG JE, PHILLIPS SM: Maximizing muscle protein anabolism: the role of protein quality. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 12 (2009) 66-71. doi:10.1097/MCO.0b013e32831cef75.
47. TARNOPOLSKY MA, BOSMAN M, MACDONALD JR, VANDEPUTTE D, MARTIN J, ROY BD: Postexercise protein-carbohydrate and carbohydrate supplements increase muscle glycogen in men and women. *J Appl Physiol* 83 (1997) 1877-1883.
48. TARNOPOLSKY MA: Sex differences in exercise metabolism and the role of 17-beta estradiol. *Med Sci Sports Exerc* 40 (2008) 648-654. doi:10.1249/MSS.0b013e31816212ff.
49. TIPTON KD, FERRANDO AA, WILLIAMS BD, WOLFE RR: Muscle protein metabolism in female swimmers after a combination of resistance and endurance exercise. *J Appl Physiol* 81 (1996) 2034-2038.
50. TIPTON KD, ELLIOTT TA, CREE MG, WOLF SE, SANFORD AP, WOLFE RR: Ingestion of casein and whey proteins result in muscle anabolism after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 36 (2004) 2073-2081. doi:10.1249/01.MSS.0000147582.99810.C5.
51. TIPTON KD, ELLIOTT TA, CREE MG, AARSLAND AA, SANFORD AP, WOLFE RR: Stimulation of net muscle protein synthesis by whey protein ingestion before and after exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 292 (2007) E71-E76. doi:10.1152/ajpendo.00166.2006.
52. TUCKER TJ, SLIVKA DR, CUDDY JS, HAILES WS, RUBY BC: Effect of local cold application on glycogen recovery. *J Sports Med Phys Fitness* 52 (2012) 158-164.
53. WALSH NP, GLEESON M, PYNE DB, NIEMAN DC, DHABHAR FS, SHEPHARD RJ, OLIVER SJ, BERMON S, KAJENIENE A: Position statement. Part two: Maintaining immune health. *Exerc Immunol Rev* 17 (2011) 64-103.
54. ZEHNDER M, RICO-SANZ J, KÜHNE G, BOUTELLIER U: Resynthesis of muscle glycogen after soccer specific performance examined by ¹³C-magnetic resonance spectroscopy in elite players. *Eur J Appl Physiol* 84 (2001) 443-447. doi:10.1007/s004210100389.

Korrespondenzadresse:**Prof. Dr. Andreas M. Nieß****Abteilung Sportmedizin****Medizinische Klinik****Universitätsklinikum Tübingen****Hoppe Seyler Str. 6****72076 Tübingen****E-Mail: andreas.niess@med.uni-tuebingen.de**