

Infektprophylaxe durch Ernährung im Sport

Die akute Immunaktivierung durch Sport und ihre Folgen lassen sich durch bestimmte Ernährungsstrategien günstig beeinflussen. Eine gesunde Ernährung mit einer ausgeglichenen Energiebilanz ist die beste Voraussetzung für ein funktionierendes Immunsystem im Sport. Zusätzlich können bestimmte antioxidative Vitamine und Pflanzenpolyphenole, eine ausreichende Vitamin-D-Versorgung und die Verabreichung probiotischer Bakterien die Resistenz gegen Infektionen unterstützen. Aufgrund der aktuellen wissenschaftlichen Evidenz lassen sich keine endgültigen Aussagen treffen, welche Ernährung beziehungsweise welches Supplement zur Infektprophylaxe am besten geeignet ist, aber es lassen sich Empfehlungen ableiten, mit denen Athleten das Infektionsrisiko reduzieren können.



Barbara Prüller-Strasser

Barbara Prüller-Strasser

Immunaktivierung durch Sport

Akute körperliche Belastungen induzieren in Abhängigkeit von der Art, Dauer und Intensität der Beanspruchung eine Unterdrückung des Immunsystems mit einer lokalen und systemischen Reaktion (1). Typische Entzündungszeichen sind eine Erhöhung der Körperkerntemperatur auf bis zu 39 °C, Schmerz, Schwellungen, Rötungen und Funktionseinschränkungen. Diese vorübergehend reduzierte Widerstandsfähigkeit wurde auch als «open window» bezeichnet (2), in dem eine erhöhte virale Infektanfälligkeit insbesondere der oberen Atemwege besteht. Auf das Blutbild bezogen spricht man von einer biphasischen Leukozytose (3). Zunächst kommt es zu einer Immunreaktion während der Belastung. Je intensiver diese ist, desto stärker steigt die Zahl der Leukozyten an, aktiviert durch das sympathische Nervensystem, durch Botenstoffe wie Adrenalin und Kortisol. Aber auch stoffwechselaktive Zytokine des Immunsystems (z.B. IL-1 α , IL-6, IL-10, TNF α) sind an der Akutphasereaktion beteiligt, ebenso aber auch die Freisetzung von Interferon- γ (IFN- γ) von aktivierten T-Zellen. IFN- γ induziert innerhalb der angeborenen und adaptiven Immunantwort das Enzym Indolamin-2,3-Di-

oxygenase in Makrophagen und dendritischen Zellen sowie die Bildung und Freisetzung von reaktiven Sauerstoffspezies. Innerhalb dieser Immunreaktion wird die Aminosäure Tryptophan in das Stoffwechselintermediat Kynurenin umgewandelt (4). Der Tryptophanabbau stellt einen wichtigen Abwehrmechanismus dar. Durch den Entzug dieser Aminosäure aus der Proteinbiosynthese kann das Wachstum von intrazellulären Pathogenen reduziert werden. Allerdings können Abbauprodukte des Tryptophans, zum Beispiel die Quinolinsäure, die Blut-Hirn-Schranke überwinden und die Funktion von Gehirnzellen beeinträchtigen und dabei die Entstehung von kognitiven Störungen und einer Depression fördern (Abbildung). In einer aktuellen Studie konnten wir bei Athleten nach einer erschöpfenden Ausdauerbelastung Veränderungen im Tryptophan-Kynurenin-Metabolismus nachweisen, wobei das Absinken der Tryptophanspiegel wesentlich deutlicher ausgeprägt war als der Anstieg des Kynurens (5). Die zweite Phase der Leukozytose beginnt 30 Minuten bis 1 Stunde nach Belastungsende und ist gekennzeichnet durch einen erneuten Anstieg der zuvor schon abgefallenen Leukozyten, gleichzeitig nehmen die Lymphozyten ab – und damit auch die Abwehrkraft. Durch die T-Zell-Suppression resultiert eine erhöhte Infektanfälligkeit, die bis zu sechs Stunden nach intensiver körperlicher Belastung anhält. Verbunden damit ist eine Abnahme der Immunfunktion: Die Serumimmunglobuline, im Speziellen das Immunglobulin A (IgA) und die Phagozytoseleistung sind reduziert, was wiederum die Abtötungsfähigkeit von Pathogenen vermindert und so die Infektanfälligkeit erhöht (6). Weitere Faktoren, wie Höhenexposition und extreme klimatische Bedingungen (7), mentaler Stress, Schlafmangel oder eine unzureichende Ernährung, können das Immunsystem ebenso schwächen und zu einem erhöhten Risiko für Infektionen führen (8).

Der Tryptophanabbau stellt einen wichtigen Abwehrmechanismus dar.

Prophylaxie des infections par l'alimentation du sportif

Mots-clés: activation immunitaire – cytokines – métabolisme du tryptophane et des kynurénines – suppléments antioxydants – polyphénols d'origine végétale – probiotiques – résilience au stress

L'activation immunitaire aiguë par le sport et ses conséquences peuvent être favorablement influencées par certaines stratégies alimentaires. Une alimentation saine au bilan énergétique équilibré est la principale condition préalable pour un système immunitaire fonctionnel chez le sportif. En outre, certaines vitamines antioxydantes et des polyphénols d'origine végétale, des apports suffisants en vitamine D et l'administration de bactéries probiotiques renforcent la résistance aux infections. Le niveau actuel de preuves scientifiquement fondées ne permet d'affirmer définitivement quelle alimentation respectivement quels suppléments sont les plus appropriés pour la prophylaxie des infections, mais des recommandations peuvent cependant être émises pour permettre aux athlètes de réduire le risque d'infections.

Ernährungsstrategien zur Infektprophylaxe

Diese akute Immunaktivierung und ihre Folgen versucht man durch verschiedene Massnahmen zu redu-

zieren. Eine gesunde Ernährung (ausgeglichene Energiebilanz, gefüllte Glykogenspeicher, Fettsäuren, Protein- und Mikronährstoffaufnahme) ist die beste Infektprophylaxe. Die späte Leukozytose lässt sich durch eine zusätzliche Kohlenhydratsubstitution (30–60 g/h) während der Belastung, zum Beispiel durch die Zufuhr von typischen maltodextrinhaltigen Sportlergetränken, abschwächen (9). Eine erhöhte Kohlenhydratzufuhr während einer hoch intensiven Trainingsphase geht nicht nur mit einer geringeren Ausschüttung der Stresshormone Adrenalin und Kortisol einher, sondern kann auch Übertrainingssymptome, wie Stimmungsstörungen, reduzieren (10). Eine ausreichende Proteinzufuhr (20 g pro Mahlzeit) ist die beste Voraussetzung für ein funktionierendes Immunsystem, während eine ungenügende Proteineinnahme mit gleichzeitiger Energierestriktion das Immunsystem beeinträchtigt (11). Die aktuelle Datenlage deutet klar darauf hin, dass grössere Proteinmengen von über 2 g pro kg Körpergewicht pro Tag die Abwehrkräfte nicht zusätzlich stärken, allerdings gibt es Hinweise, dass eine Proteineinnahme unmittelbar nach einer intensiven Belastung die Immunsuppression verringern kann (12, 13). In einer Studie bei Elite-Radrennfahrern resultierte eine proteinreiche Ernährung in einem reduzierten Risiko für Infektionen der oberen Atemwege (13).

Antioxidative Vitamine

Die Erkenntnis, dass Muskeln freie Radikale (ROS) bilden können, hat viele Athleten und Breitensportler dazu bewegt, antioxidative Supplemente einzunehmen, in der Hoffnung, dadurch das Auftreten von oxidativem Stress zu verhindern. Tatsächlich zeigt die wissenschaftliche Datenlage, dass Vitaminsupplemente in den meisten Fällen nicht notwendig sind und sich sogar negativ auf den Trainingseffekt auswirken können (14, 15). Insbesondere hohe Dosierungen von Vitamin C und E interagieren mit der Bildung freier Radikale und stören so den natürlichen Anpassungsprozess des Körpers auf das Training (16). Um oxidativen Schäden entgegenzuwirken, haben wir ein sehr effizientes, vorwiegend enzymbasiertes endogenes Abwehrsystem, das durch die Zufuhr von Antioxidanzien aus der Nahrung optimiert wird. Die Daten der letzten Jahre zeigen zudem, dass gerade die Zufuhr der Nahrungsantioxidanzien gestiegen ist (vor allem durch die Anreicherung von Lebensmitteln) und zum Beispiel bei Vitamin C weit höher ist, als die Empfehlungen sagen. Antioxidative Supplemente lassen sich jedoch nicht generell verurteilen, da diese unter bestimmten Umständen durchaus einen Sinn haben können, wie beispielsweise bei Höhentrainings (erhöhte ROS-Bildung durch Höhenstrahlung) oder bei extremen Ausdauerbelastungen (Ultramarathon). So gibt es Hinweise, dass die regelmässige Einnahme relativ hoher Dosen von Vitamin C und E die Kortisolantwort bei längeren Belastungen reduzieren kann (17). Die prophylaktische Einnahme von Vitamin C in einer Dosis von > 200 mg/Tag hat zwar in

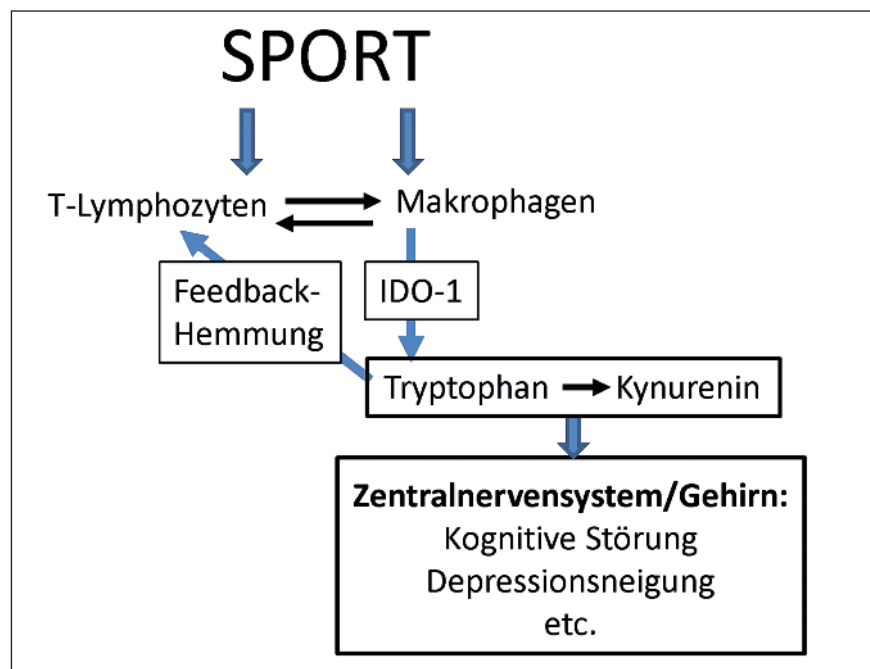


Abbildung: Immunaktivierung durch Sport und ihre Folgen

Intensive sportliche Aktivität stimuliert die Freisetzung von IFN- γ von aktivierten T-Zellen, und über seine Wirkung wird die Aminosäure Tryptophan zu Kynurenin oder dem Neurotransmitter Serotonin umgewandelt und dabei verbraucht. IFN- γ induziert innerhalb der angeborenen und adaptiven Immunantwort das Enzym Indolamin-2,3-Dioxygenase (IDO-1) in Makrophagen und dendritischen Zellen sowie die Bildung und Freisetzung von reaktiven Sauerstoffspezies. Etwa 3 Prozent des nicht proteingebundenen Tryptophans werden zur Synthese von Serotonin verwendet; der Grossteil des Tryptophans wird hingegen in das Stoffwechselintermediat Kynurenin abgebaut. Abbauprodukte des Tryptophans können die Blut-Hirn-Schranke überwinden und durch ihre neurotoxische Wirkung die Funktion von Gehirnzellen beeinträchtigen. Zusätzlich aktivieren Abbauprodukte die Erzeugung regulatorischer T-Zellen, die letztlich durch eine Feedbackhemmung für die Immunsuppression verantwortlich sind.

der Normalbevölkerung keinen Einfluss auf die Inzidenz von Erkältungen, könnte aber bei Athleten hinsichtlich Schweregrad und Dauer eine leicht positive Wirkung haben (18).

Vitamin-D₃-Supplemente

Das fettlösliche Vitamin D nimmt unter den Vitaminen eine besondere Stellung ein. Es muss nicht ausschliesslich mit der Nahrung zugeführt werden, sondern kann vom Menschen selbst in der Haut durch Sonnenbestrahlung gebildet werden. Vitamin D ist nicht nur für den Kalziumstoffwechsel und somit für die Knochengesundheit von zentraler Bedeutung, sondern auch für die Zelldifferenzierung und Aufrechterhaltung eines wirksamen Immunsystems (19). Eine Vitamin-D-Unterversorgung ist im Sport sehr häufig vorhanden. Etwa 60 Prozent aller Sportler weisen einen Vitamin-D-Mangel auf, wobei das Risiko einer ungenügenden Versorgung im Winter und bei Hallensportarten höher ist als im Sommer (20, 21). Ein Mangel kann mit einer Abnahme der Leistungsfähigkeit, chronischer Ermüdung und erhöhter Verletzungsgefahr einhergehen. Vitamin-D-Defizite sind auch mit einer beeinträchtigten Muskel- und Immunfunktion und einem erhöhten Risiko für Infektionen der oberen Atemwege assoziiert (22, 23). Mittlerweile ist der Einfluss einer Vitamin-D-Supplementierung auf die sportliche Leistungsfähigkeit gut untersucht. Der mögliche Nutzen einer Vitamin-D-Gabe ist je-

doch vom Ausgangswert abhängig: Nur bei niedrigen 25-Hydroxyvitamin-D-Werten im Blut (< 50 nmol/l) hat eine Vitamin-D-Supplementierung auch eine Verbesserung der Ausdauer und Muskelkraft zur Folge (24). Allerdings gibt es Hinweise, dass Werte über 75 nmol/l im Sport zu einer besseren Muskelregeneration nach Verletzungen führen und mit einer besseren Immungesundheit, reduzierten Entzündungswerten nach intensiver Belastung sowie erhöhter sekretorischer IgA-Konzentrationen in Zusammenhang stehen (20, 22, 25). Daher wird in der Praxis für eine ausreichende Versorgung im Sport ein Zielwert von 75 nmol/l anvisiert.

Pflanzenpolyphenole

Pflanzenpolyphenole, wie Quercetin, werden physiologisch positive Eigenschaften zugesprochen. Sie wirken antioxidativ, entzündungshemmend, antipathogen und antikarzinogen und sind mit einem hohen Gehalt in Zwiebeln, Äpfeln, Zitrusfrüchten, grünem Gemüse und in Tee und Wein vorhanden. Ein aktueller systematischer Review deutet darauf hin, dass eine Supplementierung mit Flavonoiden zwar keinen Einfluss auf Immunbiomarker gesunder Erwachsener hat, aber das Risiko für Infektionen der oberen Atemwege um mehr als 30 Prozent reduzieren kann (26). Die Autoren schliessen daraus, dass sekundäre Pflanzenstoffe direkte antivirale Effekte aufweisen könnten. Eine plazebokontrollierte Doppelblindstudie bei Radfahrern konnte zeigen, dass 1000 mg Quercetin pro Tag, über 3 Wochen eingenommen, die Plasmaquercetinspiegel signifikant erhöhen und das Auftreten von Infektionen der oberen Atemwege in den 2 Wochen nach einer 3-tägigen erschöpfenden körperlichen Belastung deutlich reduzieren kann (27). Nur 5 Prozent der Quercetinprobanden bekamen eine Infektion, bei den Plazeboprobanden waren es 45 Prozent. Eine kombinierte Einnahme von Quercetin mit Epigallocatechingallat (EGCG) – der Wirkstoff in grünem Tee – kann den bioaktiven Effekt sogar noch verstärken (28). In einer plazebokontrollierten Doppelblindstudie bei 277 Marathonläufern, die täglich 1 bis 1,5 Liter polyphenolhaltiges, alkoholfreies Bier in den letzten 3 Wochen vor und für weitere 2 Wochen nach einem Marathon konsumierten, konnten die Autoren günstige Effekte auf proinflammatorische Zytokine (z.B. reduzierte IL-6-Werte) unmittelbar nach der Belastung und eine Reduktion von Infekten der oberen Atemwege um mehr als das Dreifache in den 2 Wochen nach dem Marathon feststellen (29).

Probiotika

Erste Evidenz für die Effektivität von probiotischen Bakterien im Sport lieferte eine australische Gruppe bei Athleten mit Symptomen des Übertrainings, die weniger IFN- γ produzierten als gesunde Athleten (30). Nach einer 4-wöchigen Verabreichung eines probiotischen Milchsäurebakteriums (*Lactobacillus acidophilus*) war sowohl bei den übertrainierten als

auch bei den gesunden Athleten eine erhöhte Ausschüttung von IFN- γ durch die T-Zellen nachweisbar. Die Autoren sprachen vom ersten Beweis eines T-Zellen-Defekts bei erschöpften Athleten und der Wiederherstellung der T-Zellen-Funktion durch die Gabe von Probiotika. In den letzten Jahren vermehren sich die Hinweise für die Wirksamkeit von Probiotika auf die Infektprophylaxe im Sport. So können probiotische Supplemente, die üblicherweise 10^{10} koloniebildende Einheiten enthalten, die Inzidenz, Schwere und Dauer von Infektionen der oberen Atemweg und des Gastrointestinaltrakts reduzieren (31–36). Das Ziel einer eigenen Studie war es, den Einfluss einer probiotischen Nahrungsergänzung auf Biomarker der Immunaktivierung nach einer intensiven Ausdauerbelastung bei trainierten Athleten zu überprüfen (37). In dieser doppelblinden Interventionsstudie erhielten 33 Probanden täglich über 12 Wochen entweder ein Multispeziesprobiotikum oder ein Plazebo. Nach 12 Wochen zeigte die Interventionsgruppe, verglichen mit der Kontrollgruppe, eine signifikant geringere Tryptophanabbaurate nach einer standardisierten Dauerbelastung. Der höhere Tryptophanspiegel nach der Belastung könnte auf eine verminderte Immunaktivierung in der Probiotikagruppe hinweisen. Der Anteil an Sportlern mit einer ein- oder mehrwöchigen Atemwegsinfektion war in der Plazebogruppe mehr als doppelt so hoch wie in der Probiotikagruppe. Für den protektiven Effekt von Probiotika zur Infektprophylaxe werden verschiedene Mechanismen diskutiert: Probiotika, vorwiegend Laktobazillen und Bifidobakterien, wirken direkt am Darm, dem grössten Immunorgan des menschlichen Körpers, und können so die Immunantwort beeinflussen. Probiotika wirken direkt auf Pathogene und reduzieren die intestinale Permeabilität, das heisst, die Integrität der Darmbarriere wird verbessert. In der Folge ist die Verweildauer der Keime in der gastrointestinalen Epithelschicht verkürzt, was wiederum die Infektanfälligkeit und gastrointestinale Beschwerden, aber auch allergische Symptome, insbesondere bei Sportlern, reduzieren kann (36). Offenbar wirken Probiotika auch auf die Phagozytoseaktivität, die Abwehrfunktion und die Zahl der T-Zellen, und sie können die IgA-Konzentration erhöhen sowie verschiedenste antiinflammatorische Enzyme im Darm lokal vermehren (38). Eine intakte Mikrobiota ist essenziell für das Immunsystem, und es gibt Hinweise, dass Sport Einfluss auf die Mikrobiota und das Immunsystem nimmt (39).

Bovine Colostrum

Das Kolostrum von Kühen, auch als Biestmilch bezeichnet, enthält Antikörper, Wachstumsfaktoren und Zytokine und unterstützt dabei die Immunität der Darmschleimhaut sowie die Resistenz gegen Infektionen. Ein paar wenige Studien konnten zeigen, dass eine Kolostrumsupplementierung über mehrere Wochen die Speichel-IgA-Konzentration bei Ausdauerläufern anheben und die Regeneration der neutrophilen Funktion nach intensiver Belastung verbessern

kann (40, 41). Auch zeigt sich eine Tendenz, dass dadurch das Risiko für Infektionen der oberen Atemwege vermindert ist (40, 42–44).

Resümee und Ausblick

Aufgrund der aktuellen wissenschaftlichen Evidenz lassen sich keine endgültigen Aussagen treffen, welche Ernährung beziehungsweise welches Supplement zur Infektophylaxe am besten geeignet ist, aber es lassen sich aufgrund der Datenlage Ernährungsstrategien und Empfehlungen ableiten, mit denen Athleten das Infektionsrisiko reduzieren können (45):

- Erzielen einer ausgeglichenen Energiebilanz mit einem Kohlenhydratanteil von > 50 Prozent
- zusätzliche Kohlenhydratsubstitution (30–60 g/h) während intensiver Belastungen
- adäquate Zufuhr von Mikronährstoffen aus Obst und grünem Gemüse
- prophylaktische Einnahme von Vitamin C (> 200 mg/Tag) bei extremen Belastungen
- Vitamin-D₃-Supplementierung (1000 IU) in den Herbst- und Wintermonaten
- Kurmässige Probiotikasupplementierung (10¹⁰ koloniebildenden Einheiten).

Ergebnisse zukünftiger Studien sollten die Effektivität von Supplementen und deren Nutzen für den Sportler weiter hervorheben, insbesondere jener immunmodulierender Substanzen, die in erster Linie auf die angeborene Immunantwort abzielen. Die therapeutischen Effekte von Probiotika in der Behandlung von Stressresilienz könnten zu neuen Therapieansätzen gegen belastungsbedingte Immuneinträchtigungen führen. Zukünftige Studien sollen daher noch offene Fragen klären, wie beispielsweise jene der Dosis-Wirkungs-Beziehung, dem Effekt von unterschiedlichen Belastungsarten, die Frage nach der optimalen Dauer der Intervention sowie zentrale Wirkmechanismen hinsichtlich klinischen und leistungsphysiologischen Outcomes.

Korrespondenzadresse:

PD Dr. Dr. Barbara Prüller-Strasser, MPH
Medizinische Universität Innsbruck (CCB)
E-Mail: Barbara.Strasser@i-med.ac.at
www.barbara-strasser.at

Interessenkonflikte:

Forschungsförderung vom Institut Allergosan, Graz (A).

Literaturverzeichnis:

- Walsh NP, Gleeson M, Shephard RJ et al.: Position statement. Part one: Immune function and exercise. *Exerc Immunol Rev* 2011; 17: 6–63.
- Nieman DC: Immune response to heavy exertion. *J Appl Physiol* 1997; 82: 1385–1394.
- Gleeson M: Immune function in sport and exercise. *J Appl Physiol* 2007; 103: 693–699.
- Strasser B, Becker K, Fuchs D et al.: Kynurenine pathway metabolism and immune activation: Peripheral measurements in psychiatric and comorbid conditions. *Neuropharmacology* 2017; 112(Pt B): 286–296.
- Strasser B, Geiger D, Schauer M et al.: Effects of Exhaustive Aerobic Exercise on Tryptophan-Kynurenine Metabolism in Trained Athletes. *PLoS One* 2016; 11(4): e0153617.
- Neville V, Gleeson M, Folland JP: Salivary IgA as a risk factor for upper respiratory infections in elite professional athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2008; 40: 1228–1236.
- Walsh NP, Oliver SJ: Exercise, immune function and respiratory in-

fection: An update on the influence of training and environmental stress. *Immunol Cell Biol* 2016; 94: 132–139.

- Walsh NP, Gleeson M, Pyne DB et al.: Position statement. Part two: Maintaining immune health. *Exerc Immunol Rev* 2011; 17: 64–103.
- Scharhag J, Meyer T, Gabriel HH et al.: Mobilization and oxidative burst of neutrophils are influenced by carbohydrate supplementation during prolonged cycling in humans. *Eur J Appl Physiol* 2002; 87: 584–587.
- Halson SL, Lancaster GI, Achten J et al.: Effects of carbohydrate supplementation on performance and carbohydrate oxidation after intensified cycling training. *J Appl Physiol* 2004; 97: 1245–1253.
- Yaegaki M, Umeda T, Takahashi I et al.: Change in the capability of reactive oxygen species production by neutrophils following weight reduction in female judoists. *Br J Sports Med* 2007; 41: 322–327.
- Papacosta E, Nassis GP, Gleeson M: Effects of acute postexercise chocolate milk consumption during intensive judo training on the recovery of salivary hormones, salivary SIgA, mood state, muscle soreness, and judo-related performance. *Appl Physiol Nutr Metab* 2015; 40: 1116–1122.
- Witard OC, Turner JE, Jackman SR et al.: High dietary protein restores overreaching induced impairments in leukocyte trafficking and reduces the incidence of upper respiratory tract infection in elite cyclists. *Brain Behav Immun* 2014; 39: 211–219.
- Yfanti C, Akerström T, Nielsen S et al.: Antioxidant supplementation does not alter endurance training adaptation. *Med Sci Sports Exerc* 2010; 42: 1388–1395.
- Ristow M, Zarse K, Oberbach A et al.: Antioxidants prevent health-promoting effects of physical exercise in humans. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2009; 106: 8665–8670.
- Paulsen G, Cumming KT, Holden G et al.: Vitamin C and E supplementation hampers cellular adaptation to endurance training in humans: a double-blind, randomised, controlled trial. *J Physiol* 2014; 592: 1887–1901.
- Fischer CP, Hiscock NJ, Penkowa M et al.: Supplementation with vitamins C and E inhibits the release of interleukin-6 from contracting human skeletal muscle. *J Physiol* 2004; 558: 633–645.
- Douglas RM, Hemilä H, Chalker E et al.: Vitamin C for preventing and treating the common cold. *Cochrane Database Syst Rev* 2007; 3: CD000980.
- Kamen DL, Tangpricha V: Vitamin D and molecular actions on the immune system: modulation of innate and autoimmunity. *J Mol Med* 2010; 88: 441–450.
- Owens DJ, Fraser WD, Close GL: Vitamin D and the athlete: emerging insights. *Eur J Sport Sci* 2015; 15: 73–84.
- Farrokhfar F, Tabasinejad R, Dao D et al.: Prevalence of vitamin D inadequacy in athletes: a systematic-review and meta-analysis. *Sports Med* 2015; 45: 365–378.
- He CS, Aw Yong XH, Walsh NP et al.: Is there an optimal vitamin D status for immunity in athletes and military personnel? *Exerc Immunol Rev* 2016; 22: 42–64.
- He CS, Handzlik M, Fraser WD et al.: Influence of vitamin D status on respiratory infection incidence and immune function during 4 months of winter training in endurance sport athletes. *Exerc Immunol Rev* 2013; 19: 86–101.
- von Hurst PR, Beck KL: Vitamin D and skeletal muscle function in athletes. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2014; 17: 539–545.
- He CS, Fraser WD, Tang J et al.: The effect of 14 weeks of vitamin D₃ supplementation on antimicrobial peptides and proteins in athletes. *J Sports Sci* 2016; 34: 67–74.
- Somerville VS, Braakhuis AJ, Hopkins WG: Effect of Flavonoids on Upper Respiratory Tract Infections and Immune Function: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Adv Nutr* 2016; 7: 488–497.
- Nieman DC, Henson DA, Gross SJ et al.: Quercetin reduces illness but not immune perturbations after intensive exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39: 1561–1569.
- Nieman DC, Henson DA, Maxwell KR et al.: Effects of quercetin and EGCG on mitochondrial biogenesis and immunity. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41: 1467–1475.
- Scherr J, Nieman DC, Schuster T et al.: Nonalcoholic beer reduces inflammation and incidence of respiratory tract illness. *Med Sci Sports Exerc* 2012; 44: 18–26.
- Clancy RL, Gleeson M, Cox A et al.: Reversal in fatigued athletes of a defect in interferon gamma secretion after administration of *Lactobacillus acidophilus*. *Br J Sports Med* 2006; 40: 351–354.
- Cox AJ, Pyne DB, Saunders PU et al.: Oral administration of the probiotic *Lactobacillus fermentum* VRI-003 and mucosal immunity in endurance athletes. *Br J Sports Med* 2010; 44: 222–226.
- Gleeson M, Bishop NC, Oliveira M et al.: Daily probiotic's (*Lactobacillus casei* Shirota) reduction of infection incidence in athletes. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2011; 21: 55–64.
- West NP, Pyne DB, Cripps AW et al.: *Lactobacillus fermentum* (PCC®) supplementation and gastrointestinal and respiratory-tract illness symptoms: a randomised control trial in athletes. *Nutr J* 2011; 10: 30.

34. Haywood BA, Black KE, Baker D et al.: Probiotic supplementation reduces the duration and incidence of infections but not severity in elite rugby union players. *J Sci Med Sport* 2014; 17: 356–360.
35. West NP, Horn PL, Pyne DB et al.: Probiotic supplementation for respiratory and gastrointestinal illness symptoms in healthy physically active individuals. *Clin Nutr* 2014; 33: 581–587.
36. Pyne DB, West NP, Cox AJ et al.: Probiotics supplementation for athletes – clinical and physiological effects. *Eur J Sport Sci* 2015; 15: 63–72.
37. Strasser B, Geiger D, Schauer M et al.: Probiotic Supplements Beneficially Affect Tryptophan-Kynurenine Metabolism and Reduce the Incidence of Upper Respiratory Tract Infections in Trained Athletes: A Randomized, Double-Blinded, Placebo-Controlled Trial. *Nutrients* 2016; 8(11): pii: E752.
38. Bischoff S, Köchling K: Pro- und Präbiotika. *Aktuell Ernährungsmed* 2012; 37: 287–306.
39. Bermon S, Petriz B, Kaj nien A et al.: The microbiota: an exercise immunology perspective. *Exerc Immunol Rev* 2015; 21: 70–79.
40. Crooks CV, Wall CR, Cross ML et al.: The effect of bovine colostrum supplementation on salivary IgA in distance runners. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2006; 16: 47–64.
41. Davison G, Diment BC: Bovine colostrum supplementation attenuates the decrease of salivary lysozyme and enhances the recovery of neutrophil function after prolonged exercise. *Br J Nutr* 2010; 103: 1425–1432.
42. Jones AW, Cameron SJ, Thatcher R et al.: Effects of bovine colostrum supplementation on upper respiratory illness in active males. *Brain Behav Immun* 2014; 39: 194–203.
43. Crooks C, Cross ML, Wall C et al: Effect of bovine colostrum supplementation on respiratory tract mucosal defenses in swimmers. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2010; 20: 224–235.
44. Shing CM, Peake J, Suzuki K et al.: Effects of bovine colostrum supplementation on immune variables in highly trained cyclists. *J Appl Physiol* 2007; 102: 1113–1122.
45. Gleeson M: Immunological aspects of sport nutrition. *Immunol Cell Biol* 2016; 94: 117–123.