Nährstoffe und «ergogene Substanzen» für Sportler – zwischen Erwartung und Wirklichkeit

Vielfältige Untersuchungen zeigen, dass Nahrungsergänzungsmittel und andere Supplemente für einen grossen Teil der Bevölkerung einen wichtigen Stellenwert besitzen. Zunehmend werden Präparate angeboten, die sich an spezielle Personengruppen richten. Eine der klassischen Zielgruppen, bei denen auch eine hohe Bereitschaft zum Konsum der Produkte besteht, sind sportlich aktive Menschen. Sie verwenden Ergänzungspräparate vor allem in der Erwartung, hierdurch die Leistung steigern, die Regeneration verbessern und die Immunfunktion stärken zu können. Bei nüchterner Betrachtung der Datenlage wird jedoch deutlich, dass zwischen diesem Wunsch und der Wirklichkeit häufig eine Diskrepanz besteht. Eine differenzierte Betrachtung erscheint daher notwendig.

Olaf Hülsmann* und Andreas Hahn*

Das Sortiment an Nahrungsergänzungsmitteln und speziellen diätetischen Lebensmitteln für Sportler ist inzwischen breit gefächert und reicht von einzelnen Vitaminen oder Mineralstoffen über unterschiedlichste Kombinationen solcher Stoffe bis hin zu Pflanzenextrakten und anderen Substanzen wie Algen, Grünlippmuschelpulver oder L-Carnitin. Neben sinnvollen Nahrungsergänzungsmitteln und «diätetischen Lebensmitteln für besondere Muskelanstrengungen» finden sich dabei gleichermassen nutzlose Produkte mit weit überzogenen oder wissenschaftlich völlig unhaltbaren Wirkversprechen. Sportler sehen sich dabei einer Vielzahl unterschiedlichster Empfehlungen gegenüber, die von einer völligen Ablehnung aller «künstlichen» Produkte bis zu einem sektenartigen Kult um bestimmte Präparate reichen. In der Praxis wird die seriöse Information durch eine Flut unterschiedlicher Ernährungs- und damit auch Produktempfehlungen erschwert, an denen nicht nur viele Fitnessstudios, Trainer und Gesundheitspublikationen, sondern auch zahlreiche selbst ernannte «Experten» ohne jede naturwissenschaftliche Ausbildung einen unrühmlichen Anteil tragen. Selbst dem interessierten Sportler fällt es deshalb schwer, sich im Dschungel der scheinbar widersprüchlichen Aussagen zu orientieren.

Supplemente im Sport

Wurde die Bedeutung der Ernährung bis vor einigen Jahren praktisch ausschliesslich darin gesehen, den Organismus mit lebensnotwendigen Stoffen und Energie zu versorgen, um Mangelerscheinungen zu verhindern, so hat sich das Bild inzwischen vollkommen gewandelt. Aus heutiger Sicht sollen Lebensmittel nicht nur Energie und Baustoffe oder Vitamine und Mineralstoffe als Co-Faktoren von Stoffwechselprozessen liefern; zunehmend finden Wirkungen von Nahrungsbestandteilen Interesse, die über die reine Erhaltung der Körperfunktionen hinausgehen. Im Zusammenhang mit dieser erweiterten Auffassung von «Ernährung», die teilweise auch die herkömmlichen Zufuhrempfehlungen von Nährstoffen in Frage stellt, greift eine immer grösser werdende Anzahl von Personen zu Supplementen, um sich mögliche positive Effekte einer höheren Nährstoffaufnahme zunutze zu machen. So liegt die Einnahmeprävalenz von Nahrungsergänzungsmitteln in der Allgemeinbevölkerung mittlerweile bei etwa 36 bis 43 Prozent (1, 2). Interessanterweise sind es, entgegen einer weit verbreiteten Fehlauffassung, vor allem besonders gesundheitsbewusste Personen, die Supplemente verwenden; sie versprechen sich von der Einnahme eine Verbesserung von Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit.

Das Interesse von Athleten verschiedenster Disziplinen richtet sich seit je vor allem auf Substanzen, denen eine leistungssteigernde Wirkung zugesprochen wird. So verwenden unter Leistungssportlern mehr als die Hälfte der Befragten Zusatzpräparate. Im Vordergrund stehen hierbei Vitamine und Mineralstoffe, aber auch Aminosäuren, Creatin und diverse pflanzliche Zubereitungen werden meist mit dem Ziel der Leistungssteigerung konsumiert (3, 4).

Sport und Mikronährstoffe

Unstrittig ist, dass bereits eine geringe Unterversorgung mit einem oder mehreren Nährstoffen die Leistungsfähigkeit einschränken kann. Fehlende Trainingsfortschritte oder erhöhte Infektionsanfälligkeit sind mögliche erste Anzeichen für eine Unterversorgung des Athleten. Unsicherheit herrscht jedoch im Hinblick darauf, ob durch körperliche Aktivität generell der Bedarf an Mikronährstoffen wie Vitaminen und Mineralstoffen ansteigt. Zu klären ist auch, ob dieser mögliche Anstieg parallel zum Energieumsatz erfolgt und welche Nährstoffe im Speziellen vermehrt benötigt werden. Häufig diskutiert wird auch die Frage, inwieweit ein Mehrbedarf noch durch eine entsprechende Lebensmittelauswahl gedeckt werden kann oder ob hierbei Supplemente vonnöten sind.

Körperliche Belastungen im Rahmen von Breiten- oder Gesundheitssport verursachen im Allgemeinen keine oder nur eine geringe Erhöhung des Bedarfs an Mikronährstoffen. Mit einer Nahrungszufuhr, die an den er-

* Abteilung Ernährungsphysiologie und Humanernährung, Institut für Lebensmittelwissenschaft, Universität Hannover

höhten Energieverbrauch angepasst ist, kann dieser Mehrbedarf bei entsprechender Lebensmittelauswahl grundsätzlich gedeckt werden (5). Regelmässige leistungssportliche Belastungen können den Nährstoffbedarf allerdings in einem Ausmass erhöhen, das eine Deckung über die Nahrung schwierig werden lässt (5, 6). Nahezu unmöglich wird eine ausreichende Zufuhr an Mikronährstoffen bei Sportlern mit dauerhaft energiereduzierten Diäten, zum Beispiel im Turnen, Ballett oder Langstreckenlauf (7, 8). Verschärfend kommt die bereits in der Gesamtbevölkerung nicht immer optimale Versorgungslage mit Nährstoffen wie beispielsweise Jod, Vitamin E oder Thiamin hinzu, die durch intensive körperliche Aktivität weiter verschlechtert werden kann.

B-Vitamine

Die Gruppe der B-Vitamine steht im Zusammenhang mit sportlicher Aktivität häufig in der Diskussion, da diese coenzymatische und regulatorische Funktionen besonders im Energiestoffwechsel (*Abbildung 1*) sowie bei der Zell- und Gewebsneubildung ausüben, wodurch ihr Bedarf bei höherer Aktivität ansteigt. Für einige Vitamine dieser Gruppe werden deshalb die Zufuhrempfehlungen auf den Energieumsatz bezogen. So ist ein hoher Kohlenhydratumsatz mit einem vermehrten Bedarf an Thiamin (Vitamin B_1) verbunden. Die Zufuhrempfehlung für Thiamin beträgt 0,5 mg pro 1000 kcal umgesetzter Energie (9); diese wird von vielen Sportlern jedoch nicht erreicht (10). Studien zeigen je nach Sportart und verwendetem Indikator bei bis zu 17 Prozent der untersuchten Sportler eine mangelhafte Thiaminversorgung (8). Darüber hinaus erhöht der gesteigerte Umsatz von Hauptnährstoffen den Bedarf an Riboflavin (Vitamin B_2), das nicht nur an der Atmungskette und der ATP-Synthese beteiligt ist, sondern auch als Coenzym im Aminosäuren-, Fett- und Purinstoffwechsel eine Rolle spielt und zudem in die antioxidative Abwehr eingebunden ist. Hieraus folgt die ebenfalls auf den Energieumsatz bezogene Empfehlung von 0,6 mg Riboflavin pro 1000 kcal (9). Diese wird ausser bei Aufnahme von energiereduzierten Diäten üblicherweise erreicht, sodass in den meisten Studien auch bei Sportlern ein ausreichender Versorgungsstatus ermittelt wurde (8). Mit einer hohen Nahrungsproteinzufuhr, die bei vielen Sportlern beobachtet wird, steigt allerdings der Bedarf an Pyridoxin (Vitamin B_6) an. Für jedes Gramm Protein in der Nahrung sollten 0,02 mg Pyridoxin zugeführt werden (9). Diese Aufnahme wird von den meisten Athleten realisiert, anhand von Statusparametern wurde dennoch bei 5–60 Prozent der Sportler eine Unterversorgung festgestellt (8). Auch der Niacin-Bedarf kann aufgrund der höheren Stoffwechselaktivität gesteigert sein, die empfohlene Aufnahme von 6,7 mg pro 1000 kcal wird jedoch in den meisten Fällen erreicht (10).

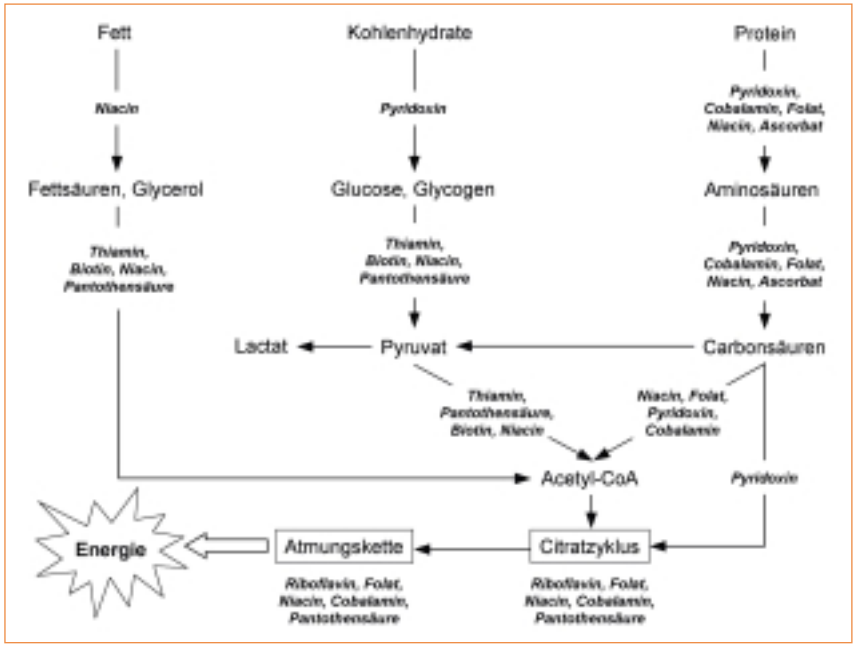

Abbildung 1: Funktionen wasserlöslicher Vitamine im Energiestoffwechsel

Grundsätzlich liegt die Annahme nahe, dass Personen mit höherem Energieumsatz insgesamt mehr Lebensmittel aufnehmen und dadurch ihren Bedarf an Mikronährstoffen leicht decken können. Dies gilt aber offenbar nicht immer, wie Untersuchungen an verschiedenen Sportlergruppen gezeigt haben (8). Einerseits nehmen insbesondere Ausdauersportler häufig weniger Energie auf, als rechnerisch nötig wäre (11), zum anderen wird es mit steigender Energiezufuhr aufgrund des Nahrungsvolumens immer schwieriger, eine vollwertige Lebensmittelauswahl zu realisieren. Hinzu kommt die geringe Speicherfähigkeit des Körpers für wasserlösliche Substanzen, so dass bereits nach kurzer Zeit unzureichender Zufuhr erste unspezifische Mangelerscheinungen auftreten können. Dennoch wird die Bedeutung zusätzlicher Vitamin-Gaben im Allgemeinen weit überbewertet. So ist eine unzureichende Vitamin-Versorgung zwar mit einer eingeschränkten Leistungsfähigkeit verbunden, ihre ergänzende Zufuhr, auch in Megadosierungen, besitzt bei Sportlern mit gutem Versorgungsstatus hingegen keine leistungssteigernden Effekte (7).

Antioxidanzien

Etwa 4–5 Prozent des permanent mit der Atmung umgesetzten Sauerstoffs reagiert nicht zu Kohlendioxid oder Wasser, sondern bildet reaktive Sauerstoffspezies (ROS) (12). Diese können leicht mit organischen Molekülen wie Proteinen, mehrfach ungesättigten Fettsäuren (MUFS) oder DNA reagieren und deren Funktion beeinträchtigen. Neben endogenen Schutzsystemen gegen einen Überschuss an ROS, wie Enzymen (z.B. Superoxiddismutase), Proteinen (z.B. Bilirubin) und Thiolen (z.B. Glutathion) sind auch Stoffe aus der Nahrung antioxidativ wirksam, beispielsweise die Vitamine C und E oder sekundäre Pflanzenstoffe wie Beta-Carotin und Lycopin. Die verschiedenen Substanzen ergänzen sich dabei in ihrer antioxidativen Wirkung. So stellt zum Beispiel Vitamin C das wichtigste Antioxidans in der hydrophilen Phase dar, während Vitamin E in lipophilen Phasen (z.B. Zellmembran, LDL-Cholesterol) seine Wirkung entfaltet. Betacarotin ergänzt die antioxidative Wirkung von Vitamin E, indem es eine Unterbrechung oxidativer Kettenreaktionen herbeiführt.

Aufgrund des erhöhten Sauerstoffumsatzes bei körperlicher Belastung liegt die Vermutung nahe, dass Athleten einem höheren oxidativen Stress ausgesetzt sind als Nichtsportler und deshalb möglicherweise von einer zusätzlichen Zufuhr antioxidativer Stoffe profitieren könnten. Bereits die Daten zu einer möglichen oxidativen Belastung sind jedoch widersprüchlich. So zeigten einige Untersuchungen entsprechende Effekte nach verschiedenen Ausdauerbelastungen (13, 14), in anderen Studien mit vergleichbaren Belastungsformen konnte dagegen keine Auswirkung auf Marker für oxidativen Stress festgestellt werden (15, 16).

Zu den am häufigsten konsumierten Substanzen – nicht nur bei Sportlern – gehört Vitamin C. Die zusätzliche Einnahme steigerte die Leistungsfähigkeit bei Personen, die einen schlechten Versorgungszustand aufwiesen (17), Studien an normal ernährten Probanden zeigten jedoch keinen derartigen Effekt (12, 16). Da Vitamin C die Absorption von anorganisch gebundenem Eisen fördert, kann sich eine höhere Zufuhr jedoch vorteilhaft auf den Eisenstatus auswirken.

Zur Bedeutung von Vitamin E für die körperliche Leistungsfähigkeit liegt eine Vielzahl von Studien vor. Defizite, die eine verschlechterte Sauerstoffversorgung sowie eine herabgesetzte physische Leistungsfähigkeit zur Folge hatten, wurden nur im Tierversuch festgestellt (18). Allerdings weisen einige Studien auf einen verbesserten Schutz vor Muskelschäden durch Belastung nach Vitamin-E-Supplementation hin (14, 19, 20). Andere Untersuchungen mit Dosierungen von 300–1000 mg/Tag Vitamin E konnten allerdings keinen Effekt auf die Muskelschädigung oder Konzentrationen an Oxidationsmarkern zeigen (21, 22, 23). Bei trainierten Triathleten, die vor einem Ironman-Wettkampf zwei Monate lang 800 I.E./Tag Vitamin E eingenommen hatten, zeigten sich nach dem Rennen sogar erheblich höhere Konzentrationen an Oxidationsmarkern als in der Plazebogruppe (24).

Moderate Effekte von Antioxidanzien-Kombinationen auf die oxidative Belastung bei Sportlern konnten nach mehrwöchiger Einnahme von 600 mg/Tag TÄ, 1000 mg Vitamin C und 30 mg Beta-Carotin (13) sowie 400 I.E./Tag Vitamin E und 200 mg/Tag Vitamin C (25) beobachtet werden. Mit einer kombinierten kurzzeitigen Gabe von 500 mg Vitamin C und 400 mg Vitamin E zeigte sich demgegenüber keine hemmende Wirkung auf die Muskelschädigung durch exzentrische Bewegung (26). Im Gegensatz zu den isolierten Nährstoffen scheint eine antioxidanzienreiche Nahrung Effekte auf Oxidationsmarker und subjektive Erschöpfung auszuüben. Bei einer Untersuchung, in der trainierte Probanden zwei Wochen lang nur geringe Mengen an Obst und Gemüse essen durften, zeigten sich am Ende der Studie höhere Konzentrationen an Oxidationsmarkern nach einem Leistungstest auf dem Laufband sowie eine höhere subjektive Erschöpfung (27).

Die in Humanstudien beobachteten unterschiedlichen Effekte sind möglicherweise durch unterschiedlich gute Anpassung der Probanden an die

Tabelle 1:
Mineralstoffe im Schweiss (9, 30)

Mineralstoff	Absorptionsrate [%]	Konzentration im Schweiss [mg/l]
Natrium	100	700–1500
Kalium	90–95	200–430
Kalzium	20–40	20–40
Magnesium	20–30	2–10
Eisen	10–15	0,3–0,6
Zink	20–30	0,5–1,0
Kupfer	35–70	0,5–0,8

jeweilige Belastung zu erklären; dauerhaftes Training führt offenbar zu einer Erhöhung der körpereigenen antioxidativen Kapazität (28, 29). Die ergänzende Gabe von Antioxidanzien scheint somit bestenfalls bei Untrainierten, die mit sportlicher Aktivität beginnen, oder in Phasen einer deutlichen Erhöhung von Trainingsumfängen beziehungsweise -intensitäten sinnvoll zu sein. Die Verabreichung von Einzelstoffen ist dabei im Gegensatz zu Antioxidanzienkombinationen offensichtlich ohne positive Effekte. Die beobachteten prooxidativen Effekte von hochdosiertem Vitamin E bei Extrembelastung (24) mahnen zur Vorsicht. In jedem Fall positiv zu bewerten ist die reichliche Zufuhr von Obst und Gemüse (27); hierbei kommen vermutlich Synergismen der genannten Antioxdanzien mit weiteren antioxidativ wirksamen Inhaltsstoffen der Lebensmittel zum Tragen.

Mineralstoffe

Der Bedarf an Mineralstoffen wird im Zusammenhang mit körperlicher Aktvität vor allem durch Verluste über den Schweiss beeinflusst (siehe *Tabelle 1*). Abhängig von Umgebungstemperatur, Trainingszustand, Art und Intensität der sportlichen Belastung kann es zu einer Schweissproduktion von bis zu 2,5 l/h kommen (5). Nach intensiven Belastungen kann zusätzlich die Ausscheidung einiger Mineralien mit dem Urin erhöht sein, insbesondere bei Eisen, Zink und Chrom (31, 32). Aus diesen Verlusten resultiert ein teilweise deutlich erhöhter Mineralstoffbedarf bei körperlicher Belastung.

Magnesium-Supplemente gehören nicht nur unter Sportlern zu den am meisten konsumierten Präparaten. Der Griff zu entsprechenden Produkten erfolgt vor allem aufgrund einer Neigung zu Krämpfen, wegen vermuteter Verluste über den Schweiss oder der Bedeutung des Mineralstoffs im Energiewechsel. Tatsächlich enthält Schweiss jedoch vor allem Natrium und Chlorid, die beide in erheblichen Mengen mit der Nahrung zugeführt werden. Wie die Werte in *Tabelle 1* zeigen, sind die Verluste an Magnesium hingegen gering; zumindest im Breitensport ist der Ausgleich deshalb problemlos ohne Supplemente möglich. Vor allem bei leistungsorientiertem Training scheint die Bedarfsdeckung jedoch nicht immer gegeben zu sein, da in einigen Untersuchungen bei 20–50 Prozent der untersuchten Sportler eine unzureichende Magnesium-Versorgung festgestellt wurde (33). Ein möglicher Einsatzbereich zeigt sich auch daran, dass viele Athleten mit einer Neigung zu Muskelkrämpfen durch die Einnahme eine Besserung verspüren. Weitergehende Effekte sind allerdings in Frage zu stellen. So ergaben Studien zur Wirkung von Magnesium auf die Leistungsfähigkeit widersprüchliche Resultate; teilweise konnte bei Ausdauersportlern und im Krafttraining die Leistung gesteigert werden, vielfach aber auch nicht (31).

Vollkommen anders ist die Situation bei Spurenelementen zu beurteilen. Schon Belastungen geringer Intensität mit Schweissverlusten von etwa 1 l/h führen zu erheblichen Verlusten an Eisen, Zink und Kupfer (*Tabelle 1*). Eisen ist als Bestandteil von Hämoglobin, Myoglobin und Enzymen der Atmungskette von zentraler Bedeutung im Energiestoffwechsel, deshalb kann eine suboptimale Versorgung vor allem die Ausdauerleistung vermindern. Eine erhöhte Häufigkeit verringerter Eisenparameter wurde vor allem bei weiblichen Ausdauersportlern vielfach festgestellt (34). Die häufig beobachteten niedrigen Hämoglobinwerte von Athleten («Sportler-Anämie») sind jedoch nicht immer auf einen Eisenmangel zurückzuführen, sondern zumindest zum Teil auf eine trainingsbedingte Erhöhung des Plasmavolumens und eine daraus resultierende «Verdünnung» der Erythrozyten (32). Zink spielt als Cofaktor zahlreicher Enzyme im Kohlenhydrat-, Fett- und Proteinstoffwechsel eine wichtige Rolle in vielen Reaktionswegen. Darüber hinaus ist es für die Aktivität des Immunsystems von entscheidender Bedeutung. Vor allem im Ausdauersport treten relevante Verluste über den Schweiss auf (*Tabelle 1*), die in Verbindung mit einer kohlenhydratbetonten – oft zinkarmen – Ernährung (31) und einer niedrigen Bioverfügbarkeit aus pflanzlichen Lebensmitteln zu einer unzureichenden Versorgung führen können. Angesichts der insgesamt allgemeinen Versorgungslage sind auch die Jod-Verluste über den Schweiss (30–40 µg/l) kritisch zu beurteilen (35); diese sind bei leistungssportlichen Aktivitäten auch mit Verwendung von jodiertem Speisesalz nicht mehr über die Nahrung auszugleichen.

Empfehlungen für die Praxis

Wie dargestellt weisen einige Sportler einen erhöhten Bedarf an bestimmten Nährstoffen auf, der nicht immer über die Nahrung abgedeckt wird. Deshalb kann die prophylaktische Gabe von B-Vitaminen sowie Vitamin C und E in Höhe der Zufuhrempfehlung sinnvoll sein, um die Versorgung zu sichern. Eine Ergänzung mit diesen Mengen ist in toxikologischer Hinsicht unbedenklich, sodass sich auf diese Weise einfach und effektiv Mangelerscheinungen und Leistungsverluste vermeiden lassen.

Eine prophylaktische Einnahme von Eisen wurde dagegen bisweilen kritisch gesehen, da eine hohe Eisenzufuhr mit einem erhöhten Risiko für Herzinfarkte in Verbindung gebracht wurde (36). Dieses Ergebnis wurde jedoch durch neuere Daten widerlegt, weshalb zu vermuten ist, dass die damaligen Ergebnisse auf einem weniger gesundheitsbewussten Lebensstil mit höherem Fleischkonsum beruhen (37). Aufgrund schlechter Verträglichkeit, negativen Effekten auf die Absorption von Zink und Kupfer sowie einer möglichen Förderung oxidativer Prozesse sollte Eisen dennoch nicht ohne Notwendigkeit in hohen Dosen eingenommen werden. Dagegen ist eine niedrig dosierte Eisengabe bei weiblichen Ausdauersportlern oder vegetarischer Ernährung wegen des verminderten Eisenstatus dieser Personen in Betracht zu ziehen. Allerdings scheint die in der Praxis zu beobachtende hoch dosierte Therapie nicht immer sinnvoll und nötig zu sein, da bereits mit einer Dosierung von 15 mg/Tag eine manifeste Anämie therapiert werden konnte (38).

Die Einnahme von Magnesium und Zink kann vielfach empfehlenswert sein. Athleten mit Neigung zu Krämpfen profitieren oft von einer Magnesium-Gabe trotz normaler Aufnahme mit der Nahrung. Da vor allem Ausdauersportler oft wenig Zink mit der

Nahrung zuführen und die Verluste über den Schweiss erheblich sein können, ist dies möglicherweise auch im Hinblick auf die Rolle des Elementes im Immunsystem von Vorteil.

Grundsätzlich ist eine Leistungssteigerung durch die Einnahme von Nährstoffen dann zu erwarten, wenn ein Mangel vorliegt, der durch die zusätzliche Zufuhr beseitigt wird. Megadosierungen von Vitaminen oder Mineralstoffen, die sich teilweise in frei verkäuflichen Arzneimitteln und Präparaten aus dem Ausland finden, haben dagegen keine leistungssteigernden Effekte und können unter Umständen zu gesundheitlichen Schäden führen; von ihrer Einnahme ist deshalb abzuraten.

Ergogene Substanzen

Neben Mikronährstoffen konsumieren viele Sportler auch Substanzen, die einen positiven Einfluss auf die sportliche Leistung haben sollen. Häufig beruht die Anwendung jedoch eher auf einer Mischung aus Aberglauben und geschickter Vermarktung der Hersteller als auf einer tatsächlich nachgewiesenen leistungsfördernden Wirkung. Einige dieser Stoffe sind in *Tabelle 2* aufgeführt. Zu den populärsten gehören seit Jahren die beiden Substanzen L-Carnitin und Creatin sowie die auch unter Nichtsportlern gerne konsumierte «Alltagsdroge» Koffein, die im Folgenden exemplarisch beschrieben und bewertet werden sollen.

L-Carnitin

Vor allem im Fitnessbereich und zunehmend auch im Ausdauersport verwenden viele Sportler Präparate oder angereicherte Nahrungsmittel mit L-Carnitin, einer körpereigenen Substanz, die im Stoffwechsel des Menschen selbst in ausreichender Menge produziert wird. Dennoch gehört die Hydroxycarbonsäure mittlerweile zu den am häufigsten konsumierten und dabei am meisten überschätzten Substanzen im Sport. Grundlage für die postulierten Wirkungen ist die bekannte physiologische Rolle von L-Carnitin im Fettstoffwechsel. Dort dient die Substanz als Carrier für den Transport langkettiger Fettsäuren durch die innere Mitochondrienmembran (*Abbildung 2*). Durch eine Erhöhung der Fettsäureaufnahme in die Mitochondrien soll eine erhöhte Energiebereitstellung aus Fettsäuren und damit eine Einsparung der körpereigenen Kohlenhydratreserven erfolgen, sodass Leistungsminderungen im Verlauf langer Belastungen hinausgezögert werden. Noch dazu wird bisweilen im pseudowissenschaftlichen Umfeld behauptet, der Mensch habe sich im Laufe seiner Entwicklung als Jäger und Sammler an einen reichlichen Verzehr der Substanz mit Fleisch «angepasst». Die heutige Ernährung sei deshalb im Hinblick auf L-Carnitin nicht «artgerecht» und ein Mangel deshalb zwangsläufig; besonders dramatisch sei die Situation gar bei Vegetariern. Diese reisserischen und scheinbar plausiblen Auffassungen im Umfeld der Vermarktung von L-Carnitin beruhen auf einer völligen Unkenntnis oder Fehlinterpretation von Evolutionsprozessen und einer falschen Auslegung des Begriffes «Anpassung» (39).

Betrachtet man die Ergebnisse hochwertiger kontrollierter Humanstudien, so stellt sich entsprechende Ernüchterung ein. Dosierungen von 2–6 g L-Carnitin pro Tag zeigten weder eine leistungssteigernde Wirkung von L-Carnitin bei Sportlern noch einen Einfluss auf den Anteil von Fettsäuren an der Energiebereitstellung (40). Auch in Bezug auf die Gewichtsabnahme zeigte sich die Substanz als wirkungslos. Selbst eine Dosierung von 4 g L-Carnitin pro Tag bewirkte bei übergewichtigen Frauen in Verbindung mit regelmässigem Sport keine Steigerung der Gewichtsabnahme oder Fettutilisation verglichen mit Plazebo (41).

Die fehlende Wirkung einer zusätzlichen Carnitin-Gabe ist wenig überraschend, da die Fettoxidation vorwiegend in den Mitochondrien des Muskelgewebes stattfindet, also zuerst der Gehalt an L-Carnitin in der Muskulatur ansteigen müsste, um eine Wirkung zu erzielen. Dieser Anstieg konnte jedoch selbst mit Dosierungen von bis zu 6 g/Tag nicht erzielt werden (40, 42). Der Grund hierfür liegt in der Anpassung des Organismus, der

Tabelle 2:
Übersicht zu weiteren angeblich leistungssteigernden Substanzen

Substanz	Beschreibung	Bewertung	Literatur
Chrom	essenzielles Spurenelement, wichtig für Insulinwirkung	Erhöhte Ausscheidung durch Belastung, jedoch durch Anpassung der Absorption ausgeglichen. Keine Wirkung auf die körperliche Leistung	73, 74
Taurin	Aminosäurederivat, endogene Synthese	Funktion im Kalziumstoffwechsel der Nervenzellen, antioxidative Wirkung. Minimale Effekte auf Ausdauerleistung durch 6 g/Tag	75, 76
HMB (β-Hydroxy-Methylbutyrat)	Metabolit von Leucin, Substrat für Cholesterolsynthese	Bei Untrainierten geringe positive Effekte auf trainingsbedingte Muskelschäden und Kraftzuwachs durch 3 g/Tag HMB über 3 Wochen. Keine Wirkung bei Trainierten	77, 78
Tribulus terrestris	Extrakt aus den Beeren eines Dornengewächses der Familie Tribulus	Kaum kontrollierte Studien zur Wirksamkeit oder Sicherheit. Bei 3,2 mg/kg Körpergewicht und Tag kein Effekt auf Kraftleistung von gesunden Probanden	79
Lecithin (Phosphatidylcholin)	Phospholipid, Bestandteil von Zellmembranen	Bei Langzeitbelastungen z.T. Abfall der Cholin-Konzentration im Plasma. Kein Effekt der Supplementation auf Leistung trotz Erhöhung der Plasmaspiegel	80, 81

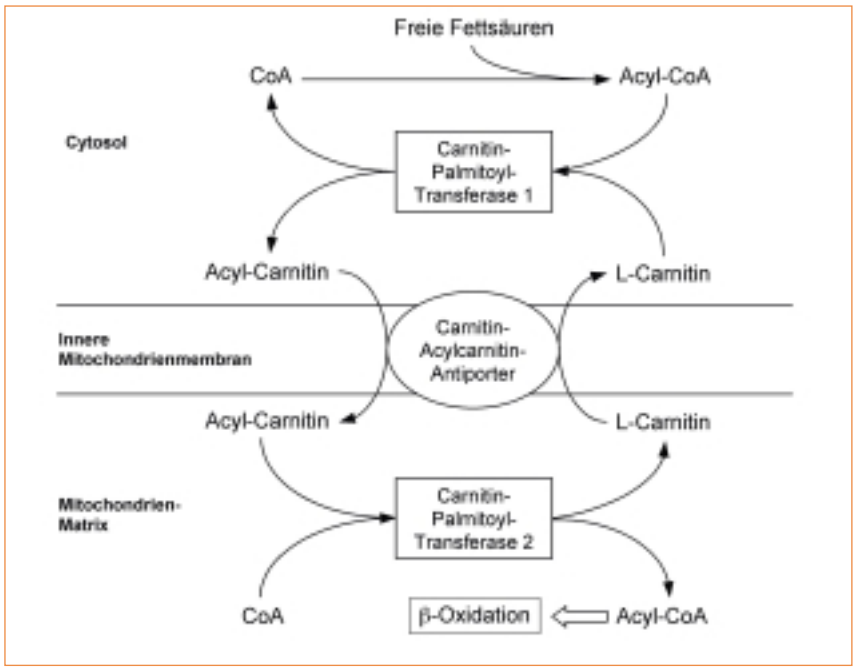

Abbildung 2: Rolle von L-Carnitin beim Fettsäuretransport in das Mitochondrium

auf eine hohe Zufuhr mit einer sinkenden intestinalen Absorptionsrate und verminderter Reabsorption in der Niere reagiert. So werden aus einer oralen 6-g-Dosis lediglich 5 Prozent absorbiert (42). Zudem liegt die Nierenschwelle, ab der die renale Ausscheidung von L-Carnitin ansteigt, nur minimal über der physiologischen Plasmakonzentration, sodass mit steigenden Spiegeln lediglich die Verluste über den Urin ansteigen (42). Auch kommt es beim Sport nicht zu grösseren Verlusten an L-Carnitin, deren Ausgleich einen positiven Effekt haben könnte. Die Ausscheidung mit dem Urin steigt nur minimal an, der Gehalt im Muskel sinkt selbst bei extremen Langzeitbelastungen nicht ab (40). Von einer Supplementierung mit L-Carnitin ist bei Gesunden daher kein Effekt zu erwarten.

Creatin

Die nichtproteinogene Aminosäure Creatin hat in den letzten Jahren erheblich an Popularität gewonnen. So gaben zwischen 28 und 44 Prozent der Athleten von High-School- und College-Mannschaften in einer Befragung an, Creatin zu verwenden (43). Üblicherweise erfolgt die Einnahme in Form von Creatinmonohydrat, das als Pulver, Kapseln oder Tabletten in vielen Fitnessstudios, Sportgeschäften und Internetshops angeboten wird.

Creatin liegt physiologischerweise in grösseren Mengen im Organismus vor. Der körpereigene Bestand beträgt etwa 120 g (44). Beim Gesunden ist ein Mangel unbekannt, da neben der Zufuhr mit Lebensmitteln tierischer Herkunft die körpereigene Synthese zur Deckung des Bedarfs beiträgt. Die Verwendung als «ergogene Substanz» erfolgt aufgrund der physiologischen Funktion als Energiespeicher im Muskelgewebe. In Form von Creatinphosphat dient Creatin der Resynthese von ATP durch Übertragung eines Phosphatrestes auf ADP. Die aus dem ATP-Creatinphosphat-System resultierende Energie wird sehr schnell zur Verfügung gestellt, allerdings nur für eine Dauer bis zu etwa 30 Sekunden. Eine Vergrösserung des Creatin-Pools in der Muskulatur hätte dementsprechend eine verstärkte ATP-Synthese und damit verbesserte Leistungsfähigkeit bei kurzen, intensiven Belastungen zur Folge. Dieser Effekt einer Supplementation auf die Energiebereitstellung ist jedoch abhängig vom Anstieg des Creatin-Gehaltes im Muskel durch orale Aufnahme von Creatin. Tatsächlich zeigen verschiedene Studien eine Erhöhung der Gewebekonzentrationen im Muskel um 10–20 Prozent bei Aufnahme von 20–30 g der Aminosäure pro Tag über einen Zeitraum von zwei bis sieben Tagen. Die höchste Speicherrate wurde dabei innerhalb der ersten zwei Tage der Supplementierung erreicht (44, 45, 46). Die Veränderung der Konzentration im Muskel durch hohe Creatin-Zufuhr unterliegt jedoch erheblichen Schwankungen, sodass nicht immer eine Leistungssteigerung erzielt wird. Die höchsten Konzentrationsanstiege werden dabei von den Personen erreicht, die vor der Supplementation die niedrigsten Ausgangswerte aufweisen (44, 45). So finden sich bei Vegetariern niedrigere Gewebekonzentrationen an Creatin als bei Mischköstlern; der Anstieg nach Creatin-Gabe war entsprechend signifikant höher (46). Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang auch die Aufnahme des verabreichten Creatins in die Muskelzelle. Diese kann durch Insulingabe beziehungsweise Aufnahme von Kohlenhydraten und/oder Protein erhöht werden (47, 48). Eine Erhöhung der Creatinspeicherung wurde auch nach erschöpfender Belastung festgestellt (49). Der obere Grenzwert für den Creatin-Gehalt im Muskel liegt bei etwa 160 mmol/kg Trockenmasse; dieser lässt sich offensichtlich auch nicht durch Supplementierung mit hohen Dosierungen an Creatin weiter erhöhen. Dies wird als ein Grund für die uneinheitliche Reaktion auf Creatin-Gaben gesehen, da einige Sportler bereits vor der Einnahme Gewebekonzentrationen in dieser Grössenordnung aufweisen (44).

Der Effekt einer Creatin-Supplementierung ist abhängig von der jeweiligen sportlichen Aktivität. So kam es zu Leistungssteigerungen überwiegend bei wiederholten Einsätzen kurzer Dauer und hoher Intensität, wenn die Belastungen durch Ruhepausen unterbrochen waren (*Tabelle 3*). Da Creatinphosphat die eigentliche Wirkform der Substanz darstellt und dieses erst durch Phosphorylierung von Creatin im Muskelgewebe generiert wird, tritt eine Steigerung der Leistungsfähigkeit nur bei ausreichender Dauer der Pausen ein. Eine erhöhte Resynthese von Creatinphosphat nach erschöpfender Belastung tritt erst in der zweiten Minute der Erholungsphase auf (44), sodass wiederholte Belastungen mit kürzeren Pausen häufig nicht durch Creatingabe beeinflusst wurden (50, 51, 52). Bei submaximaler Belastung oder Ausdaueraktivitäten konnten ebenfalls keine leistungssteigernden Wirkungen beobachtet werden. Da ein erheblicher Teil des Trainings in vielen Kraft-, Schnellkraft- und Spielsportarten in Form wiederholter intensiver Belastungen absolviert wird, ist eine leistungssteigernde Wirkung grundsätzlich auch in diesen Disziplinen zu erwarten, wenn durch die Creatin-Einnahme höhere Trainingsintensitäten

Tabelle 3:
Ergebnisse ausgewählter Humanstudien zur Leistungssteigerung durch Creatin-Gabe (doppelblind, nicht crossover)

Supplementation	Kollektiv	Ergebnis	Quelle
1. Woche 0,3 g Crea pro kg Körpergewicht, 2.–4. Woche 0,05 g/kg oder Plazebo	17 trainierte Männer	Leistungsabfall zu Beginn durch hohen Trainingsumfang nur in P, nicht in Cr. Höhere Maximalleistungen in Cr	55
20 g/Tag Crea über 5 Tage oder Maltodextrin	12 gesunde Männer	Kein Effekt auf wiederholte 6-s-Fahrradsprints mit je 30 s Pause	50
0,35 g Crea pro kg fettfreie Masse über 3 Tage	10 männliche, 10 weibliche Kraftsportler	Geringer (n.s.) Effekt auf wiederholte 10-s-Fahrradsprints mit je 60 s Pause	52
20 g Crea + 30 g Glucose täglich über 7 Tage	36 trainierte Erwachsene (20 Männer, 16 Frauen)	Steigerung der Maximalleistung bei Fahrrad-Stufentest, VO_2 und Herzfrequenz niedriger	56
9 g Crea + 4 g Maltodextrin täglich über 6 Tage	13 Kraftsportler (11 Männer, 2 Frauen)	Steigerung der Kraftausdauerleistung der Beinstreckers und der Maximalleistung im Kreuzheben	57
20 g Crea + 80 g Glucose täglich über 5 Tage	15 trainierte Frauen	Steigerung der Leistung bei Fahrrad-Stufentest bis zur neuromuskulären Ermüdung	58
30 g Crea + 30 g Glucose täglich über 5 Tage	6 Frauen, 8 Männer	Kein Effekt auf wiederholte 10-s-Fahrradsprints	51
20 g/Tag Crea über 5 Tage, dann 10 Wochen 5 g/Tag	19 untrainierte Frauen	0–25% Steigerung der Maximalkraft bei Beinübungen und Erhöhung der LBM verglichen mit Plazebo	59
25 g/Tag Crea über 6 Tage	14 männliche Kraftsportler	Steigerung der Wiederholungszahl im Bankdrücken und bei dynamischen Kniebeugen	53
20 g/Tag Crea über 5 Tage	9 Männer	4% Steigerung bei 30-s-Fahrradsprint	60

möglich sind. Hierbei ist allerdings die in verschiedenen Untersuchungen unter Creatin-Gabe beobachtete Gewichtszunahme von 1–3 kg zu berücksichtigen, die unter anderem aus Wassereinlagerungen resultiert (7, 53). Diese könnte sich in einigen Sportarten wie Hoch- und Weitsprung oder auch bei Einteilung nach Gewichtsklassen negativ auswirken. Nicht geklärt sind mögliche direkte Wirkungen von Creatin auf die Erhöhung der Muskelmasse. Zwar konnte nach Einnahme von 21 g/Tag für fünf Tage bei gesunden Probanden eine Steigerung der IGF-I- und IGF-II-mRNA-Expression beobachtet werden; eine erschöpfende Belastung führte jedoch in Creatin- und Plazebogruppe zu vergleichbaren Anstiegen (54). Belege für eine eigenständige anabole Wirkung von Creatin liegen bis jetzt nicht vor.

Koffein

Der Konsum von Koffein ist weltweit stark verbreitet; vermutlich gilt es deshalb zu Recht als die am meisten konsumierte Droge überhaupt. Auch unter Sportlern ist Koffein populär – neben der alltäglichen Aufnahme in Form von Kaffee, Tee und Cola-Getränken allerdings häufig mit dem Ziel der Leistungssteigerung. Um eine exzessive Zufuhr mit möglichen nachteiligen Wirkungen auf die Gesundheit zu verhindern, existierte viele Jahre ein Grenzwert für die Koffeinkonzentration im Urin von 12 µg/ml. Bei Überschreitung galt der Dopingtest als positiv mit den entsprechenden Konsequenzen. Dieser war so hoch angesetzt, dass selbst hoher Kaffeekonsum kaum zu einer Überschreitung führen konnte. Im Jahr 2004 wurde Koffein jedoch von der Dopingliste der WADA gestrichen, sodass zurzeit prinzipiell eine uneingeschränkte Aufnahme erlaubt ist (61).

Untersuchungen zum Effekt von Koffein auf die Ausdauerleistung zeigten in den meisten Fällen positive Ergebnisse. So konnten Costill et al. (62) bereits vor fast 30 Jahren einen ergogenen Effekt von Koffein zeigen. Nach Aufnahme von 330 mg in Form von Kaffee konnten die trainierten Probanden signifikant länger bei konstanter Belastung auf einem Fahrradergometer fahren als nach der gleichen Menge koffeinfreiem Kaffee. Dabei war die Fettoxidation unter Koffein signifikant höher und das subjektive Belastungsempfinden geringer. Ähnliche Ergebnisse erzielten Ivy et al. (63) mit 2 x 250 mg Koffein während einer zweistündigen Belastung. Leistung und Fettoxidation waren gegenüber dem Kontrollversuch signifikant erhöht, allerdings zeigte sich keine Auswirkung auf das subjektive Belastungsempfinden. Dieses wurde gezielt in einer Studie an weiblichen Probanden untersucht. Dabei zeigten sich geringere Muskelschmerzen bei Belastung, nachdem die Probandinnen 5 oder 10 mg Koffein pro kg Körpergewicht aufgenommen hatten (64).

Zur Ermittlung einer optimalen Dosis absolvierten trainierte Probanden einen etwa einstündigen Leistungstest auf dem Fahrradergometer. Gegenüber Plazebo waren sie signifikant schneller, wenn sie vor und während der Belastung insgesamt 2,1, 3,2 oder 4,5 mg Koffein pro kg Körpergewicht in einem Kohlenhydratgetränk aufgenommen hatten, wobei die beiden höheren Dosierungen einen deutlicheren, jedoch gleich hohen Effekt zeigten (65). Höhere Dosierungen von 5, 9 oder 13 mg Koffein pro kg Körper-

gewicht steigerten bei trainierten Radfahrern ebenfalls die Leistung gegenüber Plazebo, jedoch ohne Dosisabhängigkeit (66).

Zur Wirkung von Koffein-Gaben auf andere Belastungsformen liegen nur wenige Daten vor, doch auch für kürzere, intensive Beanspruchungen konnte bereits ein Effekt gezeigt werden. So steigerte die Aufnahme von 6 mg/kg Koffein die Leistung auf dem Fahrradergometer bei wiederholten 4-sekündigen Sprints (67) oder intensiver wiederholter Belastung über wenige Minuten (68). Auch die Anzahl isometrischer Kontraktionen der Beinstrecker-Muskulatur konnte durch die gleiche Dosis Koffein gesteigert werden. Wieder zeigte sich hierbei ein reduziertes Belastungsempfinden im Vergleich zu Plazebo (69).

Verschiedene Studien ergaben jedoch auch negative Ergebnisse im Sinne fehlender Effekte einer Koffeingabe. Keine Leistungssteigerung wurde nach Einnahme von 0, 5 oder 9 mg Koffein pro kg Körpergewicht und einem darauf folgenden Radrennen über 21 km in heisser und feuchter Umgebung beobachtet (70). Nach Aufnahme von 9 mg/kg mit einem Sportgetränk während einer dreistündigen Belastung bei nur 60 Prozent VO_2 max mit anschliessendem Test bei 85 Prozent VO_2max wurde ebenfalls kein Unterschied zu Plazebo festgestellt (71).

Die meisten der vorliegenden Studien zeigen einen leistungssteigernden Effekt von Koffein, vor allem bei Ausdauerbelastungen. Eine optimale Dosierung scheint im Bereich von etwa 3–3,5 mg Koffein pro kg Körpergewicht zu liegen, wobei höhere Mengen vermutlich keinen Zusatznutzen bewirken. Zu beachten ist auch, dass die getesteten Personen entweder wenig an Koffein gewöhnt waren oder einige Tage vor den Untersuchungen kein Koffein zu sich nehmen durften, sodass zum Zeitpunkt der Messung von einer leichten Entwöhnung auszugehen ist. Generell ist nicht auszuschliessen, dass eine leistungsfördernde Wirkung durch langfristige Gewöhnung verloren geht.

Tabelle 4: Koffein-Gehalt verschiedener Lebensmittel

Lebensmittel	Portionsgrösse	Koffein-Gehalt
Kaffee	150 ml	50–120 mg
Tee	150 ml	15–50 mg
Kakaogetränke	200 ml	5–20 mg
Milchschokolade	100 g	3–30 mg
Halbbitterschokolade	100 g	50–100 mg
Cola-Getränke	330 ml	30–50 mg
Energy Drinks	250 ml	80 mg

Als mögliche negative Wirkung einer Koffeineinnahme wird häufig die diuretische Wirkung genannt, die bei körperlicher Belastung, insbesondere bei Ausdauerdisziplinen und hohen Umgebungstemperaturen, eine ausreichende Hydrierung erschweren könnte. Ein verstärkender Effekt von Koffein auf die Diurese wurde jedoch nur in Ruhe festgestellt, nicht bei einer Ausdauerbelastung (71). Nach Gewöhnung an eine geringe Zufuhr von 3 mg/kg und Tag zeigten sich diesbezüglich auch in Ruhe keine Unterschiede zwischen täglichen Dosierungen von 0, 3 oder 6 mg/kg (72).

Zusammenfassung und Empfehlungen

Nahrungsergänzungsmittel und diätetische Lebensmittel für Sportler sind keineswegs für jeden erforderlich, der sich in irgendeiner Form sportlich betätigt. In bestimmten Fällen kann die ergänzende Gabe von Nährstoffen notwendig werden, insbesondere bei Sportarten, bei denen die Energiezufuhr sehr restriktiv gehandhabt wird. Allerdings hat sich umgekehrt gezeigt, dass auch eine hohe Energiezufuhr nicht zwangsweise mit einer guten Nährstoffversorgung einhergeht. Eine Ernährungsanamnese, also die Analyse der Ernährungsgewohnheiten, ist deshalb empfehlenswert. Während die Zufuhr zusätzlicher Nährstoffe bei einer mangelhaften Aufnahme über die Nahrung sinnvoll und bisweilen notwendig ist, zeigt eine Supplementation bei gut versorgten Athleten keine positiven Effekte und steigert auch nicht die Leistung.

Als «ergogen», also leistungssteigernd, angebotene Substanzen wie L-Carnitin, Tribulus terrestris oder Hydroxy-Methylbutyrat (HMB) besitzen meist nicht die versprochenen Wirkungen. Die vermeintlichen Effekte zeigten sich, sofern überhaupt Studien vorliegen, vorwiegend in Untersuchungen mit auffälligen methodischen Fehlern. Gut kontrollierte, hochwertige Humanstudien mit derartigen Stoffen konnten nur in Ausnahmefällen einen Effekt belegen, so zum Beispiel bei Creatin im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit bei hochintensiven Muskelbelastungen, wie sie vor allem im Kraftsport auftreten. ■

Korrespondenzadresse:
Prof. Dr. Andreas Hahn
Abteilung für Ernährungsphysiologie und Humanernährung
Institut für Lebensmittelwissenschaft
Universität Hannover
Wunstorfer Str. 14
30453 Hannover
Tel. 0511-762 50 93, Fax 0511-762 5729
E-Mail: andreas.hahn@lw.uni-hannover.de

Literatur:

1. Beitz R, Mensink GB, Rams S et al.: Vitamin- und Mineralstoffsupplementierung in Deutschland. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz 2004; 47: 1057–1065.
2. Wolters M, Hahn A: Nährstoffsupplemente aus Sicht des Konsumenten. Ernährungs-Umschau 2001; 48: 136–141.
3. Offer AM, Steuer M, Völker K et al.: Einsatz von Nahrungsergänzungsmitteln bei 10- bis 19-jährigen Leistungssportlern/innen. Dt Z Sportmed 2005; 56: 266.
4. Herbold N, Visconti B, Frates S et al.: Traditional and nontraditional supplement use by collegiate female varsity athletes. Int J Sport Nutr Exerc Metab 2004; 14: 586–593.
5. Schek A: Top-Leistung im Sport durch bedürfnisgerechte Ernährung. Philippka-Sportverlag, Münster 2002.
6. Filiberti R, Giacosa A, Brignoli O: High-risk subjects for vitamin deficiency. Eur J Cancer Prevent 1997; 6 (Suppl 1): 37–42.
7. Hultman E, Harris RC, Spriet LL: Diet in work and exercise performance. In: Shils ME, Olson JA, Shike M et al. (eds.): Modern nutrition in health and disease. Williams & Wilkins, Baltimore 1999. 761–782.
8. Manore MM: B vitamins and exercise. Am J Clin Nutr 2000; 72: 598–606.
9. DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung), ÖGE (Österreichische Gesellschaft für Ernährung), SGE (Schweizerische Gesellschaft für Ernährungsforschung), SVE (Schweizerische Vereinigung für Ernährung) (Hrsg.): Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Umschau/Braus, Frankfurt a. M. 2000.
10. Clarkson PM: Exercise and the B vitamins. In: Wolinsky I (ed.): Nutrition in exercise and sport. CRC Press, Boca Raton 1997. 179–195.
11. Vogt S, Heinrich L, Schumacher YO et al.: Energy intake and energy expenditure of elite cyclists during preseason training. Int J Sports Med 2005; 26: 701–706.
12. Clarkson PM, Thompson HS: Antioxidants: what role do they play in physical activity and health? Am J Clin Nutr 2000; 72: 637–646.
13. Kanter MM, Nolte LA, Holloscy JO: Effects of an antioxidant vitamin mixture on lipid peroxidation at rest and postexercise. J Appl Physiol 1993; 74: 965–969.
14. Meydani M, Evans WJ, Handelman G et al.: Protective effect of vitamin E on exercise-induced oxidative damage in young and older adults. Am J Physiol 1993; 264: 992–998.
15. Duthie GG, Robertson JD, Maughan RJ et al.: Blood antioxidant status and erythrocyte lipid peroxidation following distance running. Arch Biochem Biophys 1990; 282: 78–83.
16. Maxwell SRJ, Jakeman P, Thomason H et al.: Changes in plasma antioxidant status during eccentric exercise and the effect of vitamin supplementation. Free Rad Res Commun 1993; 19: 191–202.
17. Buzina K, Buzina R, Brubacker G et al.: Vitamin C status and physical working capacity in adolescents. Int J Vitamin Nutr Res 1984; 54: 55–60.
18. Evans WJ: Vitamin E, vitamin C, and exercise. Am J Clin Nutr 2000; 72: 647–652.
19. Itoh H, Ohkuwa T, Yamazaki Y et al.: Vitamin E supplementation attenuates leakage of enzymes following 6 successive days of running training. Int J Sports Med 2000; 21: 369–374.
20. Sachek JM, Milbury PE, Cannon JG et al.: Effect of vitamin E and eccentric exercise on selected biomarkers of oxidative stress in young and elderly men. Free Rad Biol Med 2003; 34: 1575–1588.
21. Buchman AL, Killip D, Ou CN et al.: Short-term vitamin E supplementation before marathon running: a placebo-controlled trial. Nutrition 1999; 15: 278–283.
22. Dawson B, Henry GJ, Goodman C et al.: Effect of vitamin C and E supplementation on biochemical and ultrastructural indices of muscle damage after a 21 km run. Int J Sports Med 2002; 23: 10–15.
23. McBride J, Kraemer W, Triplett-McBride T et al.: Effect of resistance exercise on free radical production. Med Sci Sports Exerc 1997; 30: 67–72.

Glosse

Ich würde sagen, ich bewege mich genug. An einem normalen Tag bewege ich mich morgens erst mal aus dem Bett unter die Dusche, und das ist manchmal echt hart, mich aus dem Bett zu bewegen, aber da bin ich eisern, denn ich weiss, dass Bewegung gesund ist, da muss man hart sein, da muss man sich auch mal zwingen. Von der Dusche bewege ich mich dann in die Küche und mache einen Kaffee in dieser italienischen Espressomaschine zum Zusammenschrauben, die man auf den Herd stellt und von der irgendwie niemand den Namen kennt, und weil das Heisswasser bei mir in der Küche wirklich sehr, sehr heiss ist, verbrenne ich mir in schöner Regelmässigkeit die Finger, und dann bewege ich mich sehr schnell und hüpfend und fluchend durch die Küche und komme sogar manchmal schon ein erstes Mal ins Schwitzen vor lauter Bewegung. Ich bin dann auch innerlich bewegt, weil ich mich so aufrege, dass mir das in so schöner Regelmässigkeit passiert, saublöd, so was. Dann lese ich die Zeitung, und da stehen manchmal auch bewegende Sachen drin. Wenn ich dann so Zeitung lese und Kaffee trinke, denke ich auch oft darüber nach, dass ich eigentlich frühstücken sollte, denn ich weiss schon, dass das Frühstück die wichtigste Mahlzeit des Tages ist, und dann bewegt sich mein Magen und sagt: Bitte nicht, ich möchte noch ein bissel weiterschlafen, ich möchte jetzt noch nicht arbeiten, ich bin noch nicht so weit, der Kaffee wird mir helfen, lass mir noch ein bisschen Zeit, ja? Danke. Und der Kopf sagt dann: Komm schon, du kriegst auch etwas richtig Gesundes, ein Müsli vielleicht, ich könnte kurz in den Supermarkt. Und dann sagen die Beine: Och, nee, wir sind auch noch müde, niemand will, ausser dir, Kopf, zwei gegen einen, du bist überstimmt. Dann bewege ich mich an den Schreibtisch und bleibe da eigentlich den Rest des Tages, ab und zu bewege ich mich ins Bad oder in die Küche. Ach ja, und die Finger bewege ich an solchen normalen Tagen auch, und wie, aber ich weiss schon, das zählt nicht.

Michèle Roten
E-Mail: verlag@toaster.ch

24. McAnulty SR, McAnulty LS, Nieman DC et al.: Effect of alpha-tocopherol supplementation on plasma homocysteine and oxidative stress in highly trained athletes before and after exhaustive exercise. J Nutr Biochem 2005; 16: 530–537.
25. Rokitzki L, Logemann E, Sagredos AN et al.: Lipid peroxidation and antioxidative vitamins under extreme endurance stress. Acta Physiol Scand 1994; 151: 149–158.
26. Petersen EW, Ostrowski K, Ibfelt T et al.: Effect of vitamin supplementation on cytokine response and on muscle damage after strenuous exercise. Am J Physiol 2001; 280: 1570–1575.
27. Watson TA, Callister R, Taylor RD et al.: Antioxidant restriction and oxidative stress in short-duration exhaustive exercise. Med Sci Sports Exerc 2005; 37: 63–71.
28. Robertson JD, Maughan RJ, Duthie GG et al.: Increased blood antioxidant systems of runners in response to training load. Clin Sci 1991; 80: 611–618.
29. Toskulkao C, Glinsukon T: Endurance exercise and muscle damage: relationship to lipid peroxidation and scavenging enzymes in short and long distance runners. Jpn J Phys Fitness Sports Med 1996; 45: 63–70.
30. Baron DK, Berg A: Optimale Ernährung des Sportlers. S. Hirzel Verlag, Leipzig 2005.
31. Lukaski HC: Magnesium, zinc, and chromium nutriture and physical activity. Am J Clin Nutr 2000; 72: 585–593.
32. Weaver CM, Rajaram S: Exercise and iron status. J Nutr 1992; 122: 782–787.
33. Saur P: Magnesium und Sport. Dtsch Z Sportmed 2004; 55: 23–24.
34. Akabas SR, Dolins KR: Micronutrient requirements of physically active women: what can we learn from iron? Am J Clin Nutr 2005; 81: 1246–1251.
35. Mao IF, Chen ML, Ko YC: Electrolyte loss in sweat and iodine deficiency in a hot environment. Arch Environ Health 2001; 56: 271–277.
36. Salonen JT, Nygssönen K, Korpela H: High scored iron levels are associated with excess risk of myocardial infarction in eastern Finish men. Circulation 1992; 86: 803–811.
37. Hülsmann O, Ströhle A, Wolters M et al.: Mineralstoffe – ist eine Supplementierung immer sinnvoll? Dt Apothek Z 2005; 145: 964–974.
38. Rimon E, Kagansky N, Kagansky M et al.: Are we giving too much iron? Low-dose iron therapy is effective in octogenarians. Am J Med 2005; 118: 1142–1147.
39. Ströhle A, Hahn A: Evolutionäre Ernährungswissenschaft und «steinzeitliche» Ernährungsempfehlungen – Stein der alimentären Weisheit oder Stein des Anstosses? Ernährungs-Umschau 2006; 53: 10–16.
40. Brass EP: Supplemental carnitine and exercise. Am J Clin Nutr 2000; 72: 618–623.
41. Villani RG, Gannon J, Self M et al.: L-carnitine supplementation combined with aerobic training does not promote weight loss in moderately obese women. Int J Sport Nutr Exerc Metab 2000; 10: 199–207.
42. Evans AM, Fornasini G: Pharmacokinetics of L-carnitine. Clin Pharmacokinet 2003; 42: 941–967.
43. Metzl JD, Small E, Levine SR et al.: Creatine use among young athletes. Pediatrics 2001; 108: 421–425.
44. Casey A, Greenhaff PL: Does dietary creatine supplementation play a role in skeletal muscle metabolism and performance? Am J Clin Nutr 2000; 72: 607–617.
45. Rawson ES, Clarkson PM, Price TB et al.: Differential response of muscle phosphocreatine to creatine supplementation in young and old subjects. Acta Physiol Scand 2002; 174: 57–65.
46. Watt K, Granham AP, Snow R: Skeletal muscle total creatine content and creatine transporter gene expression in vegetarians prior to and following creatine supplementation. Int J Sport Nutr Exerc Metab 2004; 14: 517–531.
47. Steenge GR, Lambourne J, Casey A et al.: Stimulatory effect of insulin on creatine accumulation in human skeletal muscle. Am J Physiol 1998; 275: 974–979.
48. Steenge GR, Simpson EJ, Greenhaff PL: Protein- and carbohydrate-induced augmentation of whole body creatine retention in humans. J Appl Physiol 2000; 89: 1165–1171.
49. Robinson TM, Sewell DA, Hultman E et al.: Role of submaximal exercise in promoting creatine and glycogen accumulation in human skeletal muscle. J Appl Physiol 1999; 87: 598–604.
50. Kinugasa R, Akima H, Ota A et al.: Short-term creatine supplementation does not improve muscle activation or sprint performance in humans. Eur J Appl Physiol 2004; 91: 230–237.
51. McKenna MJ, Morton J, Selig SE et al.: Creatine supplementation increases muscle total creatine but not maximal intermittent exercise performance. J Appl Physiol 1999; 87: 2244–2252.
52. Ziegenfuss TN, Rogers M, Lowery L et al.: Effect of creatine loading on anaerobic performance and skeletal muscle volume in NCAA division I athletes. Nutrition 2002; 18: 397–402.
53. Volek JS, Kraemer WJ, Bush JA et al.: Creatine supplementation enhances muscular performance during high-intensity resistance exercise. J Am Diet Assoc 1997; 97: 765–770.
54. Deldicque L, Louis M, Theisen D et al.: Increased IGF mRNA in human skeletal muscle after creatine supplementation. Med Sci Sports Exerc 2005; 37: 731–736.
55. Volek JS, Ratamess NA, Rubin MR et al.: The effects of creatine supplementation on muscular performance and body composition responses to short-term resistance training overreaching. Eur J Appl Physiol 2004; 91: 628–637.
56. Nelson AG, Day R, Glickman-Weiss E et al.: Creatine supplementation alters the response to a graded cycle ergometer test. Eur J Appl Physiol 2000; 83: 89–94.
57. Rossouw F, Krüger PE, Rossouw J: The effect of creatine monohydrate loading on maximal intermittent exercise and sport-specific strength in well trained power-lifters. Nutr Res 2000; 20: 505–514.
58. Stout J, Eckerson J, Ebersole K: Effect of creatine loading on neuromuscular fatigue threshold. J Appl Physiol 2000; 88: 109–112.
59. Vandenberghe K, Goris M, Van Hecke P et al.: Long-term creatine intake is beneficial to muscle performance during resistance training. J Appl Physiol 1997; 83: 2055–2063.
60. Casey A, Constantin-Teodosiu D, Howell S et al.: Creatine ingestion favorably affects performance and muscle metabolism during maximal exercise in humans. Am J Physiol 1996; 271: 31–37.
61. Kindermann W: Dopingproblematik und aktuelle Dopingliste. Dtsch Z Sportmed 2004; 55: 90–95.
62. Costill DL, Dalsky GP, Fink WJ: Effects of caffeine ingestion on metabolism and exercise performance. Med Sci Sports 1978; 10: 155–158.
63. Ivy JL, Costill DL, Fink WJ et al.: Influence of caffeine and carbohydrate feedings on endurance performance. Med Sci Sports 1979; 11: 6–11.
64. Motl RW, O'Connor PJ, Tubandt L et al.: Effect of caffeine on leg muscle pain during cycling exercise among females. Med Sci Sports Exerc 2006; 38: 598–604.
65. Kovacs EMR, Stegen JHCH, Brouns F: Effect of caffeinated drinks on substrate metabolism, caffeine excretion, and performance. J Appl Physiol 1998; 85: 709–715.
66. Pasman WJ, van Baak MA, Jeukendrup AE et al.: The effects of different dosages of caffeine on endurance performance time. Int J Sports Med 1995; 16: 225–230.
67. Schneiker KT, Bishop D, Dawson B et al.: Effects of caffeine on prolonged intermittent-sprint ability in team-sport athletes. Med Sci Sports Exerc 2006; 38: 578–585.
68. Jackman M, Wendling P, Friars D et al.: Metabolic, catecholamine, and endurance responses to caffeine during intense exercise. J Appl Physiol 1996; 81: 1658–1663.
69. Plaskett CJ, Cafarelli E: Caffeine increases endurance and attenuates force sensation during submaximal isometric contractions. J Appl Physiol 2001; 91: 1535–1544.
70. Cohen BS, Nelson AG, Prevost MC et al.: Effects of caffeine ingestion on endurance racing in heat and humidity. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1996; 73: 358–363.
71. Wemple RD, Lamb DR, McKeever KH: Caffeine vs caffeine-free sports drinks: effects on urine production at rest and during prolonged exercise. Int J Sports Med 1997; 18: 40–46.
72. Armstrong LE, Pumerantz AC, Roti MW et al.: Fluid, Electrolyte, and renal indices of hydration during 11 days of controlled caffeine consumption. Int J Sport Nutr Exerc Metab 2005; 15: 252–265.
73. Livolsi JM, Adams GM, Laguna PL: The effect of chromium picolinate on muscular strength and body composition in women athletes. J Strength Cond Res 2001; 15: 161–166.
74. Volpe SL, Huang HW, Larpadisorn K et al.: Effect of chromium supplementation and exercise on body composition, resting metabolic rate and selected biochemical parameters in moderately obese women following an exercise program. J Am Coll Nutr 2001; 20: 293–306.
75. Oudit GY, Trivieri MG, Khaper N et al.: Taurine supplementation reduces oxidative stress and improves cardiovascular function in an iron-overload murine model. Circulation 2004; 109: 1877–1885.
76. Zhang M, Izumi I, Kagamimori S et al.: Role of taurine supplementation to prevent exercise-induced oxidative stress in healthy young men. Amino Acids 2004; 26: 203–207.
77. Nissen S, Sharp R, Ray M et al.: Effect of leucine metabolite beta-hydroxy-beta-methylbutyrate on muscle metabolism during resistance-exercise training. J Appl Physiol 1996; 81: 2095–2104.
78. Van Someren KA, Edwards AJ, Howatson G: Supplementation with β-Hydroxy-β-Methylbutyrate (HMB) and a-Ketoisocaproic Acid (KIC) reduces signs and symptoms of exercise-induced muscle damage in man. Int J Sports Nutr Exerc Metab 2005; 15: 413–424.
79. Antonio J, Uelmen J, Rodriguez R et al.: The effects of Tribulus terrestris on body composition and exercise performance in resistance-trained males. Int J Sports Nutr Exerc Metab 2000; 10: 208–215.
80. Buchman AL, Awal M, Jenden D: The effect of lecithin supplementation on plasma choline concentrations during a marathon. J Am Coll Nutr 2000; 19: 768–770.
81. Warber JP, Patton JF, Tharion WJ et al.: The effects of choline supplementation on physical performance. Int J Sport Nutr Exerc Metab 2000; 10: 170–181.