



Foto: © iStock.com/microgen

Vitamin D – ein unterschätzter Mikronährstoff

DR. ALEXANDRA SCHEK

Das fettlösliche Vitamin D₃ nimmt unter den essenziellen Mikronährstoffen insofern eine Sonderstellung ein, als es durch UVB-Strahlung in der Haut gebildet werden kann. Da die Sonnenexposition in den Wintermonaten in unseren Breiten für eine ausreichende Versorgung in der Regel nicht ausreicht, ist eine Substitution grundsätzlich empfehlenswert.

Synthese und Wirkung

In der Haut von Mensch und Tier entsteht aus dem Provitamin 7-Dehydrocholesterin durch Sonnenexposition (fotochemische Spaltung des B-Rings des Sterangerüsts) Vitamin D₃ (Cholecalciferol). Dieses dermal gebildete ebenso wie das mit der Nahrung zugeführte Vitamin D₃ (Cholecalciferol) wird in der Leber in 25-Hydroxy-Cholecalciferol (Calcidiol) und anschließend in den Nieren in alpha-1,25-Dihydroxy-Cholecalciferol (Calcitriol) umgewandelt (**Abb. 1**).

Letzteres ist die Wirkform, das Vitamin-D-Hormon, das wesentlich an der Regulation der Calcium- und Phosphathomöostase beteiligt ist: Es fördert die intestinale Calcium- und Phosphat-Absorption, erhöht die renale Calcium-Reabsorption und beeinflusst – in einer

konzentrierten Aktion mit Parathormon – sowohl die Mobilisation von Calcium und Phosphat aus den Knochen als auch deren Einbau in die Knochen. Vitamin-D-Hormon ist an den ständigen Umbauprozessen der Knochensubstanz (Remodellierung) beteiligt, indem es sowohl knochenab- als auch -aufbauende Zellen aktiviert. Daneben fördert es in den knochenaufbauenden Zellen die Synthese von Osteocalcin. Das trägt vitamin-K-abhängig zur Knochenhärtung (Mineralisierung) bei. Da sich Vitamin D außerdem positiv auf das Muskelwachstum und die muskuläre Koordination auswirkt, ergibt sich daraus im Endeffekt ein geringeres Sturz- und Frakturrisiko (*Schek 2017*). Eine langfristige Unterversorgung mit Vitamin D führt zu Osteomalazie und begünstigt Osteoporose.

Versorgung und Zufuhrempfehlungen

Der Versorgungsstatus lässt sich mithilfe einer Blutuntersuchung ermitteln. Eine Serum-Konzentration an 25-Hydroxy-Cholecalciferol – kurz 25(OH)D – von weniger als 50 nmol/l (= 20 ng/ml) gilt als unzureichend. Wünschenswert ist ein 25(OH)D-Spiegel von mindestens 75 nmol/l (= 30 ng/ml).

Vitamin-D-Bildung – „Fotosynthese“ der besonderen Art (Ströhle 2011)

Die Bildung von Calcitriol erfolgt beim Menschen in mehreren Reaktionsschritten:

- 1. Bildung von Cholecalciferol in der Haut:** Als Ausgangssubstrat dient das bereits erwähnte 7-Dehydrocholesterol, dessen B-Ring in der Haut unter Einfluss von UV-B-Strahlung (Wellenlänge 290–315 nm) gespalten wird. Dabei entstehen unter Einfluss von Wärme Cholecalciferol sowie – bei starker UV-B-Exposition – Sekundärmetabolite wie Lumisterol und Tachysterol, die allerdings keine Vitamin-D-Wirksamkeit besitzen. Eine UV-B-induzierte Vitamin-D-Intoxikation ist deshalb nicht möglich. Das in der Haut gebildete Cholecalciferol gelangt in die Blutbahn, wo es an ein spezifisches Eiweißmolekül, das Vitamin-D-bindende Protein (DBP), gekoppelt wird und über den Blutkreislauf zur Leber gelangt.
- 2. Bildung von Calcidiol in der Leber:** Das von der Leber aufgenommene Cholecalciferol unterliegt in den Parenchymzellen einer einfachen Hydroxylierung an Position 25 des C-Skeletts; als Produkt entsteht Calcidiol. Die Vitamin-D-Synthese ist auf dieser Stufe nur unzureichend reguliert (einfache Produkthemmung), sodass sich der Serumwert an Calcidiol nahezu proportional zur Vitamin-D-Aufnahme über die Nahrung/zur UV-B-Exposition verhält. Aus diesem Grund gilt die Menge an Calcidiol im Serum als zuverlässigster Indikator der Vitamin-D-Versorgung.
- 3. Bildung von Calcitriol in der Niere:** Der letzte Schritt der Bioaktivierung von Vitamin D erfolgt in den Epithelzellen des proximalen Nierentubuli, wohin der über den Blutstrom herantransportierte Komplex aus Calcidiol und DBP über Rezeptoren gelangt. Das intrazellulär freigesetzte Calcidiol unterliegt hier einer weiteren Hydroxylierung an Position 1 seines C-Skeletts, wobei das eigentlich biologisch aktive Calcitriol entsteht. Das hierfür verantwortliche Enzym (1-alpha-Hydroxylase) unterliegt einer genauen Kontrolle: Calcium und Phosphat stellen die wichtigsten Repressoren, Parathormon den wichtigsten Induktor dar. Entsprechend ist die Calcitriolsynthese bei unzureichendem Angebot an Calcium und Phosphat gesteigert, bei ausreichender Versorgung dagegen gehemmt.

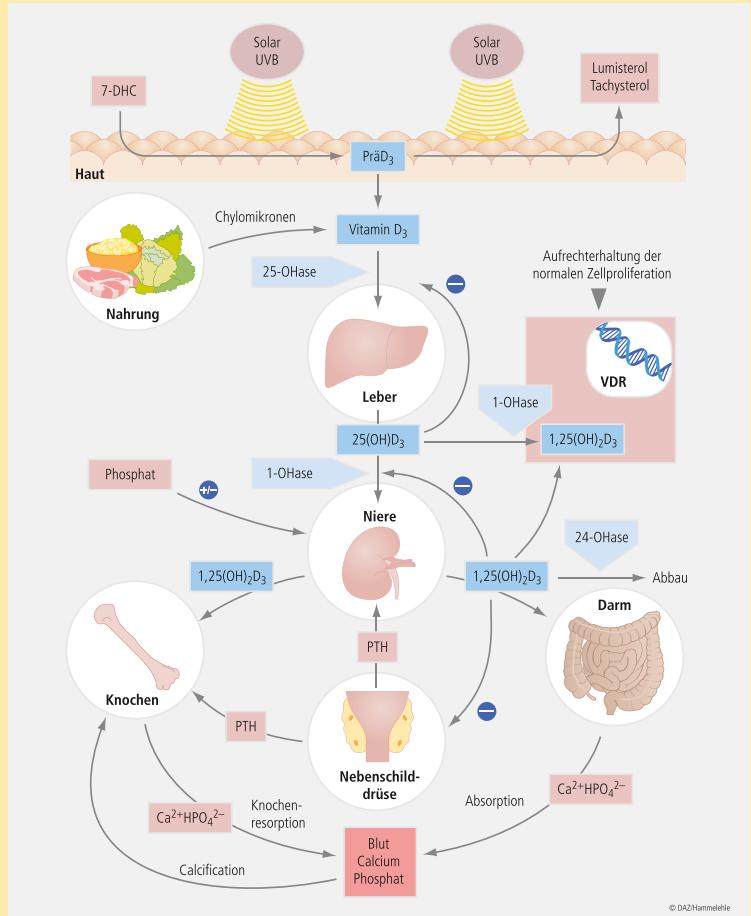


Abbildung 1: Übersicht zum Vitamin-D-Stoffwechsel des Menschen (Ströhle et al. 2011)

Wie hoch die tägliche Zufuhr an Vitamin D sein muss, um einen zufriedenstellenden 25(OH)D-Spiegel zu erreichen und aufrechtzuerhalten, ist von verschiedenen Faktoren abhängig, zum Beispiel der Jahreszeit, dem Breitengrad, der Hautfarbe, dem Alter, der Verwendung von Sonnenschutzmitteln.

Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung e. V. (DGE) empfiehlt Erwachsenen eine tägliche Zufuhr von 20 Mikrogramm Vitamin D (DGE et al. 2015), die US-amerikanische Endocrine Society dagegen eine von 35 bis 50 Mikrogramm (Holick et al. 2011). Nachweislich reicht eine sechsmonatige (Oktober bis April) Supplementation gesunder Erwachsener mit täglich 25 Mikrogramm (= 1.000 Internationale Einheiten, I. E.) Cholecalciferol nicht aus, um ein Absinken des 25(OH)D-Spiegels von 80 auf 72 nmol/l zu verhindern (Logan et al. 2013). Vitamin-D-Mangel ist pandemisch: 6,7 Prozent der Weltbevölkerung haben einen 25(OH)D-Spiegel unter 25 nmol/l, 37,3 Prozent unter 50 nmol/l und weitere 54,1 Prozent unter 75 nmol/l (Bendik et al. 2014) (Abb. 2).

Für Deutschland vermeldet das Robert Koch-Institut (RKI 2015), dass in bevölkerungsrepräsentativen Stichproben von 4.030 Erwachsenen im Alter von 18 bis 79 Jahren und 10.015 Kindern und Jugendlichen im Alter von ein bis 17 Jahren 57 Prozent der Männer, 58 Prozent der Frauen, 62 Prozent der Jungen und 64 Prozent der Mädchen einen Blutspiegel unter 50 nmol/l aufwiesen.

Sogar im Sommer hatten 75 Prozent der 65- bis 79-jährigen Frauen und 65 Prozent der drei- bis 17-jährigen Migranten unzureichende Vitamin-D-Werte.

Sportler weisen gemäß einer 23 Studien umfassenden Meta-Analyse (n = 2.313) zu 56 Prozent einen 25(OH)D-Spiegel unter 80 nmol/l auf, wobei die geografische Lage (> 40 °N), die Jahreszeit (Wintermonate) und die Sportart (Halle) als Einflussfaktoren eine Rolle spielen (Farrokhyyar et al. 2015).

Bedarfsdeckung in Deutschland

Nahrung

Die tägliche Zufuhr an Vitamin D über die Nahrung beträgt in Deutschland zwei bis vier Mikrogramm.

Gute Quellen für Cholecalciferol sind Fettfische wie Lachs, Makrele, Aal und Hering (5–25 µg/100 g), Hühnerierei (2,9 µg/100 g), Rinderleber (1,4 µg/100 g), Hart- und Schnittkäse (0,3–1,3 µg/100 g), Butter (0,5–1,2 µg/100 g) und angereicherte Margarine (2,5–7,5 µg/100 g). Das weniger gut bioverfügbare Ergocalciferol (Vitamin D₂) liefern besonders Avocados (3,4 µg/100 g), Shiitakepilze (2,1 µg/100 g) und Champignons (2,0 µg/100 g) (Deutsches Ernährungsberatungs- und -informationsnetzwerk 2015).

Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) bewertet eine tägliche Vitamin-D-Zufuhr von bis zu 100 Mikrogramm als unbedenklich (EFSA 2012). Die US-amerikanische Endocrine Society dagegen definiert eine Tagesdosis von 250 Mikrogramm (= 10.000 I. E.) als tolerierbare Obergrenze (Holick et al. 2011). Die obere tolerierbare Dosis soll vor Hypervitaminose D schützen, die bei einem 25(OH)D-Spiegel, der ständig über 140 nmol/l (= 56 ng/ml)

beträgt, in Erscheinung tritt und mit Polyurie, Durst, Übelkeit, Erbrechen, reduziertem Muskeltonus, Knochenabbau, Calciumablagerungen in den Gefäßen und Nierensteinen einhergehen kann. Zum Vergleich: Eine 15-minütige UVB-Exposition (Wellenlänge 290–315 nm) im Hochsommer bei ausschließlicher Bekleidung mit einem Badeanzug bewirkt eine endogene Vitamin-D₃-Synthese von 250 bis 500 Mikrogramm (= 10.000–20.000 I. E.).

Sonnenexposition

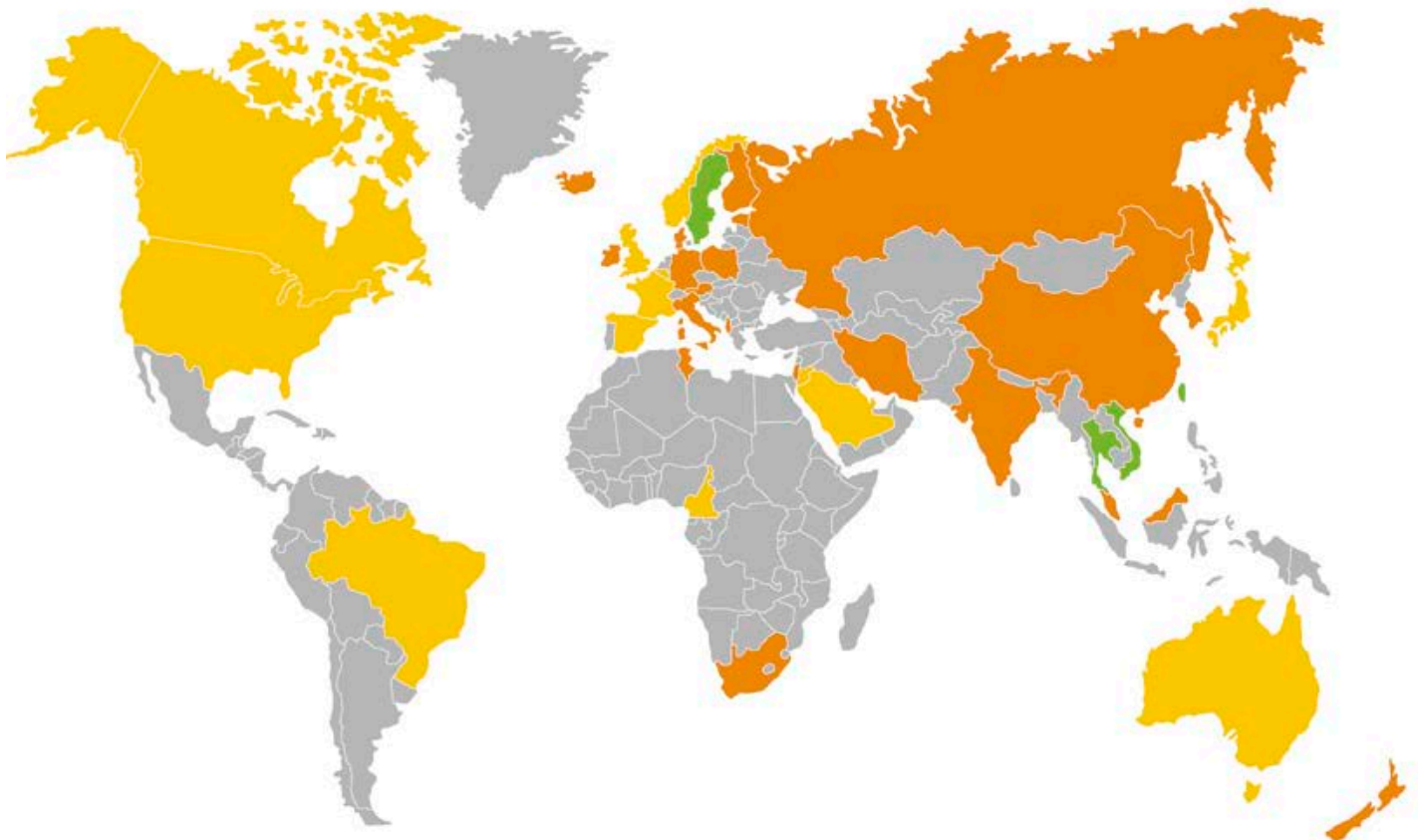
In unseren Breiten ist es im Sommer durchaus möglich, den Vitamin-D-Bedarf durch Eigensynthese zu decken und Reserven in der Leber und den Skelettmuskeln anzulegen. Es genügt, wenn jeden zweiten Tag ein Hautareal von etwa einem Viertel der Körperoberfläche von Juni bis August für zehn Minuten und von März bis Mai und September bis Oktober für 40 Minuten von der Sonne bestrahlt wird. Im Winterhalbjahr ist es dagegen in Deutschland nicht möglich, ausreichend Cholecalciferol in der Haut zu bilden, weil der hierfür erforderliche UV-Index von mindestens drei nicht erreicht wird. Der UV-Index ist ein international festgelegtes Maß für die höchste sonnenbrandwirksame Bestrahlungsstärke, die die Sonne während des Tages auf einer horizontalen Fläche hervorruft. Ein UV-Index von null bis zwei stellt eine niedrige, einer von drei bis fünf eine mittlere Bestrahlungsstärke dar. Im Sommer ist in Deutschland ein UV-Index von sieben bis acht erreichbar, am Äquator bei unbedecktem Himmel auf Meereshöhe einer von elf und mehr (*Bundesamt für Strahlenschutz 2015*).

Substitution

Da die Aufnahme von Vitamin D mit der Nahrung nicht ausreicht, um die von Oktober bis April in unseren Breiten unzureichende Eigensynthese auszugleichen und einen adäquaten 25(OH)D-Spiegel aufrechtzuerhalten, ist es empfehlenswert, das „Sonnenvitamin“ in diesem Zeitraum zu substituieren. Die Spannweite der Empfehlungen reicht von 25 Mikrogramm (= 1.000 I. E.) Vitamin D₃ pro Tag für Kinder, Jugendliche und Erwachsene, die sich dauerhaft in einem Gebiet zwischen 50 und 75 Grad nördlicher Breite aufhalten, bis zu 125 Mikrogramm (= 5.000 I. E.) Vitamin D₃ pro Tag in Kombination mit 50 bis 1.000 Mikrogramm Vitamin K₂ und K₁ für Leistungssportler mit dunkler Hautfarbe. Vitamin K trägt wesentlich zur Bindung von Calcium an Osteocalcin in der Knochenmatrix bei und wirkt einem potenziellen Anstieg des Calciumspiegels im Blut durch supraphysiologische Cholecalciferol-Dosierungen entgegen. Für Leistungssportler gilt ein 25(OH)D-Spiegel zwischen 75 und 100 nmol/l als optimal (*Dahlquist et al. 2015*).

Vitamin D und sportliche Leistungsfähigkeit

Studien zum Einfluss von Vitamin D auf die sportliche Leistung sind selten und nicht eindeutig im Ergebnis (*Dahlquist et al. 2015; Schek 2013*). Bei 25(OH)D-Spiegeln unter 50 nmol/l ließen sich jedoch positive Effekte einer Vitamin-D-Substitution auf die Muskelfunktion nachweisen (*von Hurst, Beck 2014*). Es wird spekuliert, dass die



■ >75 nmol/l
 ■ >50–74 nmol/l
 ■ >25–49 nmol/l
 ■ <25 nmol/l
 Basis der Durchschnittswerte: Vitamin-D-Status in den Wintermonaten

Abbildung 2: Durchschnittlicher Vitamin-D₃-Status von Erwachsenen (>18 Jahre) weltweit (www.vitaminwiki.com)



Im Sommer kann die Sonneneinstrahlung eine ausreichende Vitamin-D-Versorgung sicherstellen. Im Winter empfiehlt sich eine Substitution.

Adaptation an Trainingsreize zumindest teilweise über eine gesteigerte Testosteronbildung erfolgt. Denn an übergewichtigen Männern mit Vitamin-D-Mangel, die an einem Gewichtsreduktionsprogramm teilnahmen, konnten Pilz und Mitarbeiter (2011) zeigen, dass eine tägliche Gabe von 83 Mikrogramm (= 3.332 I. E.) Vitamin D₃ über ein Jahr nicht nur den 25(OH)D-Spiegel normalisierte, sondern auch die Konzentrationen am gesamten, bioaktiven und freien Testosteron erhöhte.

An Fußballspielern konnten Koundourakis et al. (2014) eine lineare Beziehung zwischen 25(OH)D-Spiegel und Muskelkraft – gemessen an Squat Jump, Counter-Movement-Jump, Zehn- und Zwanzig-Meter-Sprint – sowie maximaler Sauerstoffaufnahme bestimmen. An Eishockeyspielern dagegen war keine Korrelation zwischen 25(OH)D-Spiegel und maximaler Sauerstoffaufnahme feststellbar (Fitzgerald et al. 2014). Bei britischen Athleten, die zu 62 Prozent einen unzureichenden 25(OH)D-Spiegel (< 50 nmol/l) aufwiesen, bewirkte eine achtwöchige Substitution mit 125 Mikrogramm (= 5.000 I. E.) Vitamin D₃ pro Tag nicht nur einen Anstieg der 25(OH)D-Konzentration von 29 auf 103 nmol/l, sondern auch eine Verbesserung der Zehn-Meter-Sprintzeit und der vertikalen Sprunghöhe (Close et al. 2013). Bei Leichtgewichstrudern mit einem 25(OH)D-Spiegel von rund 75 nmol/l resultierte eine tägliche Cholecalciferol-Supplementation in Höhe von 150 Mikrogramm (= 6.000 I. E.) über acht Wochen bei gleichzeitigem Training im Freien in einer Vervierfachung des 25(OH)D-Spiegels und einer Erhöhung der maximalen Sauerstoffaufnahme um 12,1 Prozent in der Verumgruppe und in einer Verdoppelung des 25(OH)D-Spiegels und einem Anstieg der maximalen Sauerstoffaufnahme um 10,3 Prozent in der Placebogruppe (Jastrzębski 2014).

An moderat aktiven Erwachsenen mit einem 25(OH)D-Spiegel von rund 75 nmol/l wurde der Einfluss von Vitamin D auf die Erholung untersucht: Die Probanden erhielten über fünf Wochen täglich 100 Mikrogramm (= 4.000 I. E.) Cholecalciferol oder ein Placebo. An Tag

28 wurden zehn Sätze à zehn Wiederholungen exzentrisch-konzentrische Sprünge auf einem Bein durchgeführt. Bei den Probanden in der Verumgruppe, deren 25(OH)D-Konzentration sich um 70 Prozent erhöht hatte, wurde sowohl direkt im Anschluss an die Belastung als auch nach 48, 72 und 168 Stunden ein geringerer Anstieg an Biomarkern für Muskelschäden (ALT, AST) gefunden. Außerdem fiel die Maximalkraft nach der muskelschädigenden Belastung in der Verumgruppe nur um sechs Prozent niedriger aus im Vergleich zu 32 Prozent bei der Placebogruppe (Barker et al. 2013).

In zukünftigen Studien sollten die Auswirkungen supraphysiologischer Vitamin-D₃-Gaben (bis 250 µg/d) in Kombination mit variierenden Dosierungen an Vitamin K₂ und K₁ auf den 25(OH)D-Spiegel, die Calcium-Konzentration im Blut und die sportliche Leistung von wettkampfmäßig trainierenden Athleten untersucht werden.

Fazit

Zur Prävention von Rachitis im Kindesalter wird Vitamin D schon seit den 1930er-Jahren eingesetzt. Weniger gut erforscht als die Wirkung auf das Skelettsystem ist die Rolle, die Vitamin D bei Muskelschwäche, Autoimmunerkrankungen (z. B. Rheuma, Morbus Crohn), Infektionen, Bluthochdruck oder Krebs spielt. Voll entfalten kann Vitamin D seine vielfältigen Funktionen im Organismus jedenfalls nur, wenn es in ausreichender Menge vorhanden ist. Hierfür ist eine Serumkonzentration an 25-Hydroxy-Cholecalciferol von 75 nmol/l anzustreben. Diese ist in unseren Breiten im Winterhalbjahr ohne Substitution nicht erreichbar. In Abhängigkeit vom Ausgangsblutwert und in Absprache mit dem Arzt sollten Kinder, Jugendliche und Erwachsene aller Altersgruppen daher Cholecalciferol zwischen Oktober und April in einer Dosis von 25 bis 50 Mikrogramm (= 1.000–2.000 I. E.) pro Tag als Tabletten oder Tropfen einnehmen. Menschen, die sich auch im Sommer selten im Freien aufhalten, Seniorinnen, Kinder und Jugendliche mit Migrationshintergrund, Leistungssportler und Patienten mit insulinpflichtigem Diabetes mellitus oder Herz-Kreislaufkrankheiten können auch ganzjährig höhere Dosierungen benötigen.



DIE AUTORIN

Dr. Alexandra Schek, Diplom-Oecotrophologin und Heilpraktikerin, arbeitet freiberuflich als Autorin von Fachbüchern und -artikeln für verschiedene Verlage, in der Redaktion der Fachzeitschrift Leistungssport sowie in eigener Naturheilpraxis mit Schwerpunkt Traditionelle Chinesische Medizin.

Dr. Alexandra Schek
Naturheilpraxis für TCM
Kleine Mühlgasse 2, 35390 Gießen
kontakt@praxis-schek.de

Literatur

- Barker T, Schneider ED, Dixon BM, Henriksen VT, Weaver LK: Supplemental vitamin D enhances the recovery in peak isometric force shortly after intense exercise. *Nutr Metab (Lond)* 10, 69 (2013)
- Bendik I, Friedel A, Roos FF, Weber P, Eggersdorfer M: Vitamin D: a critical and essential micronutrient for human health. *Front Physiol* 5, 248 (2014)
- Bundesamt für Strahlenschutz: Was ist der UV-Index? (2015); <http://www.bfs.de/DE/themen/opt/uv/uv-index/einfuehrung/einfuehrung.html>; aufgerufen am 17.09.2015
- Close GL, Russell J, Cobley JN, Owens DJ et al.: Assessment of vitamin D concentration in non-supplemented professional athletes and healthy adults during the winter months in the UK: implications for skeletal muscle function. *J Sports Sci* 31 (4), 344–353 (2013)
- Dahlquist DT, Dieter B, Koehle MS: Plausible ergogenic effects of vitamin D on athletic performance and recovery. *J Int Soc Sports Nutr* 12, 33 (2015)
- Deutsches Ernährungsberatungs- und -informationsnetzwerk: Lebensmittel (2015); <http://www.ernaehrung.de/lebensmittel/>; aufgerufen am 17.09.2015
- DGE, ÖGE & SVE: D-A-CH-Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. 2. Aufl., Neuer Umschau Buchverlag, Neustadt an der Weinstraße (2015)
- EFSA: Scientific opinion on the tolerable upper intake level of vitamin D. *EFSA J* 10 (7), 2813 (2012); http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/scientific_output/files/main_documents/2813.pdf; aufgerufen am 17.09.2015
- Farrokhyar F, Tabasinejad R, Dao D, Peterson D et al.: Prevalence of vitamin D inadequacy in athletes: a systematic-review and meta-analysis. *Sports Med* 45 (3), 365–378 (2015)
- Fitzgerald J, Peterson B, Warpeha J, Wilson P et al.: Vitamin D status and VO₂peak during a skate treadmill graded exercise test in competitive ice hockey players. *J Strength Cond Res* 28 (11), 3200–3205 (2014)
- Holick MF, Binkley NC, Bischoff-Ferrari AH, Gordon CM et al.: Evaluation, treatment and prevention of vitamin D deficiency: an Endocrine Society clinical practice guideline. *J Clin Endocrinol Metab* 96 (7), 1911–1930 (2011)
- Jastrzębski Z: Effect of vitamin D supplementation on the level of physical fitness and blood parameters of rowers during the 8-week high intensity training. *Analele Universităţii din Oradea Facicula Educaţie Fizică şi Sport* 2, 57–67 (2014)
- Koundourakis NE, Androulakis NE, Malliaraki N & Margioris AN: Vitamin D and exercise performance in professional soccer players. *PLoS ONE* 9 (7), e101659 (2014)
- Logan VF, Gray AR, Peddie μ, Harper MJ, Houghton LA: Long-term vitamin D3 supplementation is more effective than vitamin D2 in maintaining serum 25-hydroxyvitamin D status over the winter months. *Br J Nutr* 109 (6), 1082–1088 (2013)
- Pilz S, Frisch S, Koertke H, Kuhn J et al.: Effect of vitamin D supplementation on testosterone levels in men. *Horm Metab Res* 43 (3), 223–225 (2011)
- RKI: Vitamin-D-Status in der deutschen Wohnbevölkerung. (2012); http://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GesundAZ/Content/V/Vitamine/Inhalt/vitamind3_inhalt.html, aufgerufen am 31.10.2015
- Schek A: Ernährungslehre kompakt. Kompendium der Ernährungslehre für Studierende der Ernährungswissenschaft, Medizin und Naturwissenschaften und zur Ausbildung von Ernährungsfachkräften. Umschau Zeitschriftenverlag, Wiesbaden (2017)
- Schek A: Ernährung im Top-Sport. Aktuelle Richtlinien für Bestleistungen. Umschau Zeitschriftenverlag, Wiesbaden (2013)
- Von Hurst PR, Beck KL: Vitamin D and skeletal muscle function in athletes. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 17 (6), 539–545 (2014)