

Clemens von Schacky

Omega-3 Fettsäuren im Sport

Obwohl Sport zweifelsfrei gesund ist, leiden (Leistungs-)Sportler an Muskelkater und fürchten „altersbedingten“ Muskelabbau. Leistungssportler haben eine erhöhte Inzidenz für plötzlichen Herztod, majore Depression und Suizid. Omega-3 Fettsäuren gelten als gesund für Herz und Hirn, wobei klinische Parameter weniger mit der Zufuhr von Eicosapentaensäure (EPA) und Docosahexaensäure (DHA) korrelieren als mit ihren Spiegeln. Diese Spiegel werden am besten mit einer standardisierten Fettsäureanalytik („HS-Omega-3 Index[®]“, EPA+DHA in Erythrozyten) erfasst. Die Diskrepanz von Spiegeln und Zufuhr erklärt auch methodische Probleme und inkonsistente Ergebnisse von Interventionsstudien.

Viele Leistungssportler haben einen niedrigen HS-Omega-3 Index. Ein hoher HS-Omega-3 Index ermöglicht eine kausale, aber nicht unter allen Umständen wirksame Prävention des Muskelkaters, der alle Aspekte der Pathophysiologie umfasst: Muskelschaden, entzündliche Reaktion, Schwellung und Kraftverlust. Der „altersabhängige“ Muskelabbau ist teilweise Symptom des Mangels an EPA und DHA. Zwar werden klassische kar-

diovaskuläre Leistungsparameter wie VO₂max durch die Gabe von EPA+DHA nicht gebessert, wohl aber andere Parameter der kardialen und pulmonalen Leistungsfähigkeit. Das Risiko für den plötzlichen Herztod wird gemindert. Wie bei anderen Personen auch wurden komplexe Hirnleistungen (z. B. perzeptuelle und motorische Fähigkeiten) bei Sportlern durch die Gabe von EPA+DHA gebessert und das Risiko für die majore Depression gemindert. Der Zielbereich für den HS-Omega-3 Index (8–11 %) kann nur durch eine individualisierte Dosis von EPA+DHA erreicht werden, wobei 3–5 g EPA+DHA / Tag sicher sind. Obwohl Muskelkater gemindert und kardiale sowie cerebrale Leistungsparameter verbessert werden, sind EPA+DHA kein Doping.

Alle Sportler kennen Muskelkater und fürchten den altersabhängigen Muskelabbau. Leistungssportler haben langfristig eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für den plötzlichen Herztod, kognitive Einschränkungen, majore Depression und Suizid im Vergleich zur Normalbevölkerung (1). Die genannten Gesundheitsprobleme schränken die Leistungsfähigkeit von Sportlern ein, und wirken

sich langfristig negativ auf Lebenserwartung und Gesundheit von Herz und Hirn von Leistungssportlern aus (1). Die beiden Omega-3 Fettsäuren Eicosapentaensäure (EPA) und Docosahexaensäure (DHA), die in Fisch oder marinen Ölen vorkommen, haben vielfältige Effekte, die für den Erhalt der Gesundheit von Herz und Hirn wesentlich sind. Diese waren Gegenstand einer Übersicht in dieser Zeitschrift im Jahre 2012 (2). In der vorliegenden Arbeit wird nicht über die pflanzliche Omega-3 Fettsäure alpha-Linolensäure berichtet, da eine medline-Suche am 23.09.15 mit „alpha-linolenic“ und „sport“, „training“, „exercise“ nur eine Publikation einer Interventionsstudie am Menschen erbrachte, die ein neutrales Ergebnis hatte (3). Deshalb beschränkt sich der vorliegende Artikel auf die Rolle von EPA und DHA im Sport.

Methodische Probleme von Studien mit Omega-3 Fettsäuren

Die Erkenntnisse, dass EPA und DHA vielfältige Rollen beim Erhalt der Gesundheit von Herz und Hirn spielen, beruhen vor allem auf wissenschaftlichen Publikationen aus der Epidemiologie und auf mechanistischen Studien (4, 5). Diese zeigten recht homogene Ergebnisse (4, 5, 6). Allerdings sind die Ergebnisse der Interventionsstudien mit klinischen Endpunkten weniger homogen und Meta-Analysen der kardiologischen Interventionsstudien zeigten keinen Effekt (5, 7). Meta-Analysen zu kognitiven Fähigkeiten, majorer Depression und ADHS hingegen markierten klarere Wirkungen (6). Viele Interventionsstudien, besonders im kardiologischen Bereich, hatten methodische Probleme, die erst kürzlich erkannt wurden. So wurden Omega-3 Fettsäuren in diesen Interventionsstudien häufig in Kapseln und morgens gegeben – was sich als effektive Strategie zur Minimierung der Bioverfügbarkeit herausgestellt hat (5, 8). Zudem wurden Studienteilnehmer

Foto: © kaiskynet; Fotolia.com





Foto: © cirquedesprit; Fotolia.com

ohne Ansehen der Ausgangsspiegel an EPA und DHA rekrutiert (5). Da in allen Populationen Omega-3 Fettsäurespiegel eine statistische Normalverteilung haben, wurden so immer auch Personen einbezogen, die schon zu Beginn hohe Spiegel hatten, und bei denen kein Effekt einer Gabe von EPA+DHA zu erwarten war. Besonders bei Interventionsstudien zu multifaktoriellen Erkrankungen wie der Atherosklerose wirkt sich dies aus, weniger bei Erkrankungen, die durch niedrige Spiegel von EPA+DHA charakterisiert sind, wie z.B. kognitive Einschränkungen oder majore Depression (4). Nach Gabe von EPA+DHA steigen die Spiegel von EPA+DHA. Allerdings ist der Anstieg der Spiegel von Person zu Person sehr unterschiedlich: wir fanden einen Faktor 13 inter-individuell (9). Gemeinsam mit der statistischen Normalverteilung der Ausgangsspiegel in der Studienpopulation führt diese inter-individuelle Variabilität zu einem Überlappen der Spiegel von EPA+DHA von Verum- und Placebo-(Kontroll-) Gruppen während der Interventionsstudie – eine Garantie dafür, keinen Effekt der Intervention zu erkennen (5, 10). Hohe Dosierungen von EPA+DHA lassen die genannten methodischen Probleme der Interventionsstudien in den Hintergrund treten, lösen sie aber nicht. Intelligenter ist es daher, Studienteilnehmer mit niedrigen Ausgangsspiegeln zu rekrutieren

und die Dosis von EPA+DHA individuell so zu titrieren, dass die Zielspiegel erreicht werden (5). Erste Interventionsstudien mit entsprechendem Design sind im Gange (z. B. NTR4082).

HS-Omega-3 Index

Spiegel von EPA+DHA und wohl auch von anderen Fettsäuren werden zuverlässig durch die Analyse der Erythrozyten-Fettsäuren mit der Methode des HS-Omega-3 Index erfasst (11). Erythrozyten haben eine niedrige biologische Variabilität in ihrer Fettsäurezusammensetzung, und das analytische Verfahren hat eine niedrige analytische Variabilität (11). Dies gilt nicht für Analysen in Plasma, Serum oder anderen Blutzellen, und auch nicht für andere Verfahren der Fettsäureanalytik (11). Zudem reflektieren die Erythrozyten die Fettsäurezusammensetzung aller bisher untersuchten Gewebe, inklusive der Muskulatur (11, 12, 13, unpubliziert). Deshalb kann man mit dem HS-Omega-3 Index den Status einer Person an Omega-3 Fettsäuren und wohl auch an anderen Fettsäuren erfassen. Auf der Methode beruhen derzeit 165 Publikationen in internationalen Journalen; mehr als 50 Forschungsprojekte sind im Gange. So hat die Methode der Messung des HS-Omega-3 Index die größte wissenschaftliche Datenbasis von allen Verfahren der Fettsäureanalytik.

HS-Omega-3 Index bei Leistungssportlern

Bei einer Querschnittsuntersuchung von 106 deutschen Leistungssportlern, die sich für eine Olympia-Teilnahme qualifiziert hatten, fanden wir einen mittleren HS-Omega-3 Index von $4,97 \pm 1,19$ %, wobei EPA $0,63 \pm 0,23$ % und DHA $4,34 \pm 1,07$ % betragen (1). Auch hier folgte die Verteilung der Messwerte einer statistischen Normalverteilung. Mit dem Mittelwert von $4,97 \pm 1,19$ % lagen die Leistungssportler deutlich unter dem Mittelwert unserer sonstigen Messungen im gleichen Zeitraum von $6,72 \pm 2,12$ % (11). Im Zielbereich für den HS-Omega-3 Index von 8–11 % lag nur ein Leistungssportler. Nach eigenen unveröffentlichten Daten

HIGHLY BIOAVAILABLE CURCUMIN HAS A NEW NAME: CAVACURMIN®



With CAVACURMIN®, WACKER offers a highly bioavailable curcumin powder. It is ideal for the use in dietary supplement applications, since it has many advantages:

- Vegetarian oligosaccharide as a safe hydrophilic carrier
- More than 40 times better bioavailability
- Clinically proven
- Easily dispersible in beverages
- Easy to form into tablets and capsules
- Ready to use

For more information visit www.wacker.com/cavacurmin

Wacker Chemie AG
Tel. +49 89 6279-1346
info.biosolutions@wacker.com
www.wacker.com/socialmedia

Formerly marketed as
CAVAMAX® W8 Curcumin

	untersucht	positiver Effekt	kein Effekt	negativer Effekt
Muskelkater	8	5	3	0
CK-Anstieg	7	5	2	0
Cytokin-Anstieg				
CrP	1	1	0	0
IL-6	3	2	1	0
TNF α	3	2	1	0
Schwellung	4	2	2	0
Kraftverlust	4	2	2	0

Tabelle 1: Zusammenfassung der Effekte der Gabe von EPA und DHA in der Vorbeugung von Muskelkater, wie sie in 9 randomisierten Interventionsstudien gesehen wurden (14, 16, 17, unpubliziert). CK: Creatinkinase; CrP: C-reaktives Protein; IL-6: Interleukin-6; TNF α : Tumor Nekrose Faktor α .

war der Mittelwert bei Spielern eines Vereins einer Hafenstadt in der spanischen Primera Division deutlich höher und nur knapp unter dem Zielbereich von 8–11 %. Bei den deutschen Leistungssportlern lag demnach ein Defizit an Omega-3 Fettsäuren vor (1).

Omega-3 Fettsäuren und Muskelkater

Die Pathophysiologie des Muskelkaters wird gegenwärtig folgendermaßen beschrieben (14): Krafttraining, insbesondere exzentrisches Training, bei dem die Muskulatur bei Belastung nicht verkürzt sondern gedehnt wird, führt zu einem Muskelschaden, der sich als Anstieg der Creatinkinase im Serum fassen lässt (14). Dieser Muskelschaden zieht dann eine entzündliche Reaktion nach sich, die zu einer Schwellung der betroffenen Muskulatur führt, was mit einem Anstieg des intramuskulären Druckes verbunden ist (14). Im Blut steigen pro-entzündliche Cytokine wie C-reaktives Protein (CrP), Interleukin-6 (IL-6) und Tumor Nekrose Faktor α (TNF α) an (14). Dazu kommen weitere messbare Veränderungen im Eicosanoidprofil, des Bradykinins, des Nerve Growth Factor und der Sensitivität afferenter Fasern (14). In der Regel ist Muskelkater mit einer vorübergehenden Schwäche der betroffenen Muskulatur verbunden (14).

Bekanntermaßen haben Omega-3 Fettsäuren anti-entzündliche Effekte, die mehrere der gerade genannten Eicosanoide und Cytokine betreffen (15). Deshalb wurde in randomisierten Interventions-

studien untersucht, ob die Gabe von EPA und DHA der Entwicklung von Muskelkater vorbeugen kann. In einer Übersicht wurde über die Ergebnisse von 6 dieser Studien berichtet (14). Laut einer medline Suche am 24.09.15 („omega-3“, „eicosapentaen*“, „docosahexaen*“ AND „delayed onset muscle soreness“) wurden seitdem zwei weitere Studien publiziert (16,17). Dem Autor sind die unveröffentlichten Ergebnisse einer weiteren Studie bekannt. Alle Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Aus keiner Studie wurden negative Effekte berichtet. In mehr Studien fanden sich positive Effekte von EPA+DHA, als dass kein Effekt gesehen worden wäre. Neutrale Ergebnisse könnten durch eine zu starke Überlastung der geprüften Muskulatur bedingt sein. Für neutrale Ergebnisse dürften aber auch die oben diskutierten methodischen Probleme verantwortlich sein.

Diese Sicht wird dadurch unterstützt, dass höhere Dosierungen von EPA und DHA (1,8–3,0 g/Tag) wirksam waren, und dass das Auftreten des Muskelkaters von der Höhe des Omega-3 Index abhing (14,18). Interessanterweise besserten EPA+DHA in den Interventionsstudien häufig alle Aspekte der oben diskutierten Pathophysiologie des Muskelkaters: Muskelschaden, entzündliche Reaktion mit Muskelschwellung und den daraus resultierenden Kraftverlust. Zusammenfassend unterstützen die hier berichteten Daten die Ansicht, dass ein hoher HS-Omega-3 Index eine kausale, aber nicht unter allen Umständen wirksame Prävention des Muskelkaters ermöglicht.

„Altersabhängiger“ Muskelabbau

Kontraintuitiv bedeutet ein „altersabhängiger“ Muskelabbau eher keine Abnahme der Muskelmasse, sondern eine weniger effiziente Muskularbeit, die sich in weniger Grundkraft („basic strength“), weniger Geschwindigkeits-abhängiger Kraft („velocity-dependent strength“) und weniger Stärke („power“) äußert (19,20). „Altersabhängiger“ Muskelabbau hat erhebliche Bedeutung für Morbidität und Mortalität (19,20). In vivo am Menschen wurde nachgewiesen, dass Omega-3 Fettsäuren die Proteinsynthese des Muskels erhöhen (21). Im Rahmen einer doppel-blinden, randomisierten Interventionsstudie an insgesamt 60 untrainierten gesunden Personen, die im Mittel 69 Jahre alt waren, wurde der Effekt von 1,86 g EPA + 1,50 g DHA/Tag für 6 Monate mit einem Maisöl-Placebo verglichen (22). Während der Studie trainierten die Teilnehmer nicht. Erwartungsgemäß verschlechterte sich die Kraft in Unterarm und Oberschenkel bei den Teilnehmern der Placebogruppe, während sie sich bei den Teilnehmern der Verumgruppe im Mittel deutlich verbesserte (22). Die Autoren schlossen aus ihren Daten, dass „Omega-3 Fettsäuren als therapeutischer Ansatz zur Vermeidung der Sarkopenie und zum Erhalt der körperlichen Unabhängigkeit bei Älteren betrachtet werden sollten“ (22). Das Studienergebnis wirft auch die Frage auf, ob der „altersabhängige“ Muskelabbau nicht eher ein Zeichen des Mangels an Omega-3 Fettsäuren ist, ähnlich wie

beim „altersabhängigen“ Verlust an grauer Hirnsubstanz (23). In Anbetracht der obigen methodischen Diskussion überrascht es kaum, dass eine 12-wöchige Studie mit ähnlichen Teilnehmern mit 1,1 g EPA+DHA/Tag nicht erfolgreich war (24). Das positive Studienergebnis wird gestützt durch die Ergebnisse mehrerer Interventionsstudien an Carcinompatienten, bei denen der Verlust körperlicher und geistiger Fähigkeiten häufig verlangsamt werden konnte (25). EPA+DHA wirken sich übrigens positiv auf den „altersabhängigen“ Knochenabbau, die Osteoporose, aus (Übersicht bei 26), wobei sich die Effekte auf die Muskelsubstanz und auf die Knochensubstanz gegenseitig verstärken dürften. Zusammenfassend gibt es deutliche Hinweise, dass ein Mangel von EPA+DHA „altersabhängige“ Immobilität und Gebrechlichkeit mit verursacht, und dass eine Erhöhung der Zufuhr von EPA+DHA diesen „Alterserscheinungen“ begegnet (22,26).

Andere Effekte auf die Muskelfunktion

In einer randomisierten Interventionsstudie verbesserten EPA+DHA die periphere neuromuskuläre Funktion und Aspekte der Ermüdung (27). steigern

Kardiovaskuläre Aspekte

In randomisierten Interventionsstudien mit EPA+DHA an Sportlern wurden verschiedene Aspekte der kardiovaskulären und pulmonalen Leistungsfähigkeit untersucht. EPA+DHA hatten weder eine Wirkung auf die anaerobe Schwelle, noch auf die maximale Sauerstoffaufnahme (VO₂max, Lit. 28,29,30). Allerdings sank die Herzfrequenz bei submaximaler Belastung mit gleichzeitiger Erhöhung des Schlagvolumens und des Cardiac Output (28). Die Erholungszeit der Herzfrequenz nach maximaler Belastung wurde kürzer, der Sauerstoffverbrauch effizienter, und die Endothelfunktion wurde verbessert (28,29,30).

Bestimmte Parameter der Lungenfunktion wurden ebenfalls gesteigert (28). Epidemiologisch war bei Patienten mit koronarer Herzerkrankung die Erholungszeit der Herzfrequenz umso kürzer, die Belastbarkeit höher und die Dauer der Belastbarkeit umso länger, je höher der HS-Omega-3 Index war (31). Zusammenfassend verbessern EPA+DHA einzelne Aspekte der kardiovaskulären und pulmonalen Leistungsfähigkeit, aber nicht die klassischen Leistungsparameter der Leistungssportler.

Wie oben erwähnt, haben Leistungssportler häufig einen niedrigen HS-Omega-3 Index und eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für den plötzlichen Herztod. Da klassische kardiovaskuläre Risikofaktoren wie Alter, Nikotinkonsum und Hypertonie bei vielen Leistungssportlern nicht zum Tragen kommen, sind Myokardinfarkte bei Leistungssportlern selten. Allerdings ist eine Erhöhung des HS-Omega-3 Index verbunden mit einer Minderung des Risikos für den plötzlichen Herztod (2,5). Gleichzeitig verschlechtern sich die klassischen kardiovaskulären Leistungsparameter nicht, und einzelne Aspekte der kardio-pulmonalen Leistungsfähigkeit werden verbessert.

Activate your mind!

Neuravena[®]

EFLA[®] 955 

- Supports cognitive performance under pressure
- Improves mental fitness
- Supported by five clinical studies
- Extract of proprietary variety of oat herb selected for its superior biological activity profile



www.neuravena.com

neuravena@frutarom.com

 **FRUTAROM**
FOUNDED 1933

Hirnfunktion

DHA ist die wesentliche Strukturfettsäure des menschlichen Gehirns (2,4). Die Durchblutung des Gehirns wird von EPA, weniger von DHA moduliert (2,4). Bestimmte Erkrankungen, wie die majore Depression, sind durch temporäre inflammatorische Prozesse im Gehirn charakterisiert (32). EPA und besonders DHA haben im Gehirn anti-inflammatorische Wirkungen und tragen zu einer raschen Auflösung eines entzündlichen Prozesses bei (15).

Ein niedriger HS-Omega-3 Index oder niedrige Spiegel von EPA+DHA sind mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für die Entwicklung einer majoren Depression und eines Suizids vergesellschaftet (33,34,35,36). Meta-Analysen von Interventionsstudien zeigen die Wirksamkeit der Behandlung der majoren Depression mit EPA+DHA (37). Ähnlich ist die Datenlage beim Aufmerksamkeits-Defizit-Hyperaktivitäts-Syndrom (ADHS): Ein niedriger HS-Omega-3 Index oder niedrige Spiegel von EPA+DHA sind mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für die ADHS verbunden (38,39). Meta-Analysen zeigen die Wirksamkeit der Behandlung von ADHS mit EPA+DHA, auch bei den Aspekten emotionale Labilität und Dauer der Aufmerksamkeit (38,39). Auch andere höhere kognitive Fähigkeiten wie Erinnerungsvermögen oder abstraktes Denken korrelieren mit der Höhe des HS-Omega-3 Index (40). In Interventionsstudien wurden diese und weitere kognitive Fähigkeiten verbessert, bei Personen mit niedrigen Ausgangsspiegeln und/oder wenn ausreichend hohe Dosierungen von EPA+DHA eingesetzt

wurden, um die oben diskutierten methodischen Probleme zu überwinden (6,41). Wenn gemessen, korrelierte die Verbesserung kognitiver Fähigkeiten mit dem Anstieg der Omega-3 Fettsäuren in den Erythrozyten (23). Es ist daher wenig verwunderlich, dass im Rahmen einer randomisierten Interventionsstudie auch bei Fußballerinnen der spanischen Superliga perzeptuelle und motorische Fähigkeiten nach 4 Wochen 3,5 g DHA/Tag im Vergleich mit Placebo signifikant besser waren (42).

Manche Sportarten sind mit Hirntraumata verbunden. In Tierexperimenten, aber nicht beim Menschen, minderte die Gabe von EPA+DHA Konsequenzen experimenteller Hirntraumata (43). Ob sich bei Sportlern die Folgen von Hirntraumata durch einen hohen HS-Omega-3 Index verhindern oder mindern lassen, ist noch unklar.

Nutzen-Risiko, Sicherheit

Als Zielbereich für den HS-Omega-3 Index wurden 8–11 % vorgeschlagen, weil unter 8 % mit niedrigeren Werten das kardiovaskuläre Risiko steigt. Bei Werten über 11 % sinkt das Risiko nicht mehr. Gesunde Populationen in Japan und Korea weisen Werte zwischen 8 und 11 % auf (4,11). Um bei chronisch entzündlichen Erkrankungen einen Effekt zu erzielen, könnte ein höherer Zielbereich anzustreben sein (ca. 15 %). Die genannten Zielbereiche sind bei den meisten Personen mit Dosierungen von EPA+DHA unter 5 g/Tag zu erreichen. Laut EFSA, der Europäischen Food Safety Authority, ist diese maximale Dosierung sicher, während die US-amerikanische Food and Drug Administration

bis 3 g EPA+DHA/Tag für sicher hält (44,45).

Vom Bundesamt für Risikobewertung wird eine Gefahr einer Blutungsneigung durch die Gabe von EPA+DHA in einer Dosierung von >1,5 g/Tag gesehen, wobei die Begründung auch die genannten Regulierungsbehörden nicht überzeugte (46). In den großen kardiologischen Interventionsstudien mit EPA+DHA waren Sicherheit und Verträglichkeit auf dem Niveau von Placebo (5). Zudem korrelierte die Blutungsneigung bei der Akutbehandlung des Myokardinfarktes, die einen maximalen Einsatz Gerinnungs- und Thrombozyten-hemmender Pharmaka einschließt, nicht mit dem HS-Omega-3 Index (47). Es gibt daher keinen Anlass, an der Sicherheit der von Regulierungsbehörden genannten Dosierungen zu zweifeln.

Obwohl im Zusammenhang mit EPA+DHA der Begriff „natürliches Doping“ gebraucht wurde (48), finden sich Omega-3 Fettsäuren nicht auf der Liste der verbotenen Substanzen der World Anti-Doping Agency für das Jahr 2015 (<http://www.usada.org/substances/prohibited-list/>).

Zusammenfassung

Methodische Probleme von Interventionsstudien haben für viel Verwirrung in der Bewertung der Omega-3 Fettsäuren EPA und DHA gesorgt. Ein klareres Bild, auch im Sport, ergibt die Perspektive des HS-Omega-3 Index, ein standardisierter Biomarker für den Status einer Person an EPA+DHA. Es spricht viel dafür, dass ein HS-Omega-3 Index im Zielbereich (8–11 %) Muskelkater teilweise vorbeugt, den „altersabhängigen“ Abbau von Muskulatur und Gehirn verlangsamt, bestimmte Aspekte der kardio-pulmonalen Leistungsfähigkeit bessert, und komplexe kognitive Fähigkeiten erleichtert. Mit einem HS-Omega-3 Index im Zielbereich sind die Risiken für den plötzlichen Herztod, majore Depression und Suizid gering. Das Erreichen des Zielbereiches für den HS-Omega-3 Index erfordert eine individualisierte Dosierung von EPA+DHA, wobei eine Dosis bis 3–5 g/Tag sicher ist, und nicht als Doping betrachtet wird.



**Buckton
Scott
Deutschland GmbH**

www.bucktonscott.de

INGREDIENTS WORLDWIDE

Literatur

1. von Schacky C, Haslbauer R, Kemper M, Halle M. Low Omega-3 Index in 106 German elite winter endurance Athletes – A pilot study. *International Journal of Sport Nutrition & Exercise Metabolism* 2014;24:559–64
2. von Schacky C. Omega-3 Fettsäuren – HS-Omega-3 Index und Gesundheit von Herz und Hirn. *Vitalstoffe* 2012;2/4:28–36
3. Cornish SM, Chilibeck PD. Alpha-linolenic acid supplementation and resistance training in older adults. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2009;34:49–59.
4. von Schacky C. Hirnstruktur und Hirnfunktion: Rolle der Omega-3 Fettsäuren. *Z Orthomol Med* 2014;1:20–4
5. von Schacky C. Omega-3 Fatty Acids in Cardiovascular Disease - an Uphill Battle. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids*. 2015;92:41–7
6. Haast RA, Kiliaan AJ. Impact of fatty acids on brain circulation, structure and function. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids*. 2015;92:3–14
7. Chowdhury R, Warnakula S, Kunutsor S, Crowe F, Ward HA, Johnson L, Franco OH, Butterworth AS, Forouhi NG, Thompson SG, Khaw KT, Mozaffarian D, Danesh J, Di Angelantonio E. Association of dietary, circulating, and supplement fatty acids with coronary risk: a systematic review and meta-analysis. *Ann Intern Med*. 2014;160:398–406
8. Schuchardt JP, Hahn A. Bioavailability of long-chain omega-3 fatty acids. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids* 2013;89:1–8.
9. Köhler A., Bittner D., Löw A., von Schacky C. Effects of a convenience drink fortified with n-3 fatty acids on the n-3 index. *Br J Nutr* 2010;104:729–36.
10. Muhlhausler BS, Gibson RA, Yelland LN, Makrides M. Heterogeneity in cord blood DHA concentration: towards an explanation. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids*. 2014;91:135–40.
11. von Schacky C. Der HS-Omega 3 Index®: klinische Wertigkeit standardisierter Fettsäureanalytik. *J Lab Med* 2014;38:167–78
12. Gurzell EA, Wiesinger JA, Morkam C, Hemmrich S, Harris WS, Fenton JI. Is the omega-3 index a valid marker of intestinal membrane phospholipid EPA+DHA content? *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids*. 2014;91:87–96
13. Roy S, Brasky TM, Belury MA, Krishnan S, Cole RM, Marian C, Yee LD, Llanos AA, Freudenheim JL, Shields PG. Associations of erythrocyte ω -3 fatty acids with biomarkers of ω -3 fatty acids and inflammation in breast tissue. *Int J Cancer*. E-pub 2015 Jul 2
14. Kim J, Lee J. A review of nutritional intervention on delayed onset muscle soreness. Part I. *J Exerc Rehabil*. 2014;10:349–56.
15. Calder PC. Marine omega-3 fatty acids and inflammatory processes: Effects, mechanisms and clinical relevance. *Biochim Biophys Acta*. 2015;1851:469–84.
16. Mickleborough TD, Sinex JA, Platt D, Chapman RF, Hirt M. The effects PCSO-524®, a patented marine oil lipid and omega-3 PUFA blend derived from the New Zealand green lipped mussel (*Perna canaliculus*), on indirect markers of muscle damage and inflammation after muscle damaging exercise in untrained men: a randomized, placebo controlled trial. *J Int Soc Sports Nutr*. 2015;12:10.
17. DiLorenzo FM, Drager CJ, Rankin JW. Docosahexaenoic Acid affects markers of inflammation and muscle damage after eccentric exercise. *J Strength Cond Res*. 2014;28:2768–74.
18. Lembke P, Capodice J, Hebert K, Swenson T. Influence of omega-3 (n3) index on performance and well-being in young adults after heavy eccentric exercise. *J Sports Sci Med*. 2014;13:151–6
19. Kennis E, Verschueren S, Van Roie E, Thomis M, Lefevre J, Delecluse C. Longitudinal impact of aging on muscle quality in middle-aged men. *Age (Dordr)*. 2014;36:9689.
20. Zampieri S, Pietrangelo L, Loefler S, Fruhmann H, Vogelauer M, Burggraf S, Pond A, Grim-Stieger M, Cvecka J, Sedliak M, Tirpáková V, Mayr W, Sarabon N, Rossini K, Barberi L, De Rossi M, Romanello V, Boncompagni S, Musarò A, Sandri M, Protasi F, Carraro U, Kern H. Lifelong physical exercise delays age-associated skeletal muscle decline. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2015;70:163–73.
21. Smith GII, Atherton P, Reeds DN, Mohammed BS, Rankin D, Rennie MJ, Mittendorfer B. Dietary omega-3 fatty acid supplementation increases the rate of muscle protein synthesis in older adults: a randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr*. 2011;93:402–12.
22. Smith GI, Julliard S, Reeds DN, Sinacore DR, Klein S, Mittendorfer B. Fish oil-derived n-3 PUFA therapy increases muscle mass and function in healthy older adults. *Am J Clin Nutr*. 2015;102:115–22
23. Witte AV, Kerti L, Hermannstädter HM, Fiebach JB, Schreiber SJ, Schuchardt JP, Hahn A, Flöel A. Long-chain omega-3 fatty acids improve brain function and structure in older adults. *Cereb Cortex*. 2014;24:3059–68.
24. Krzywińska-Siemaszko R, Czepulsi N, Lewandowicz M, Zasadzka E, Suwalska A, Witowski J, Wieczorowska-Tobis K. The Effect of a 12-Week Omega-3 Supplementation on Body Composition, Muscle Strength and Physical Performance in Elderly Individuals with Decreased Muscle Mass. *Int J Environ Res Public Health*. 2015;12:10558–74.
25. de Aguiar Pastore Silva J, Emilia de Souza Fabre M, Waitzberg DL. Omega-3 supplements for patients in chemotherapy and/or radiotherapy: A systematic review. *Clin Nutr*: 2015;34:359–66
26. Mangano KM, Sahni S, Kerstetter JE, Kenny AM, Hannan MT. Polyunsaturated fatty acids and their relation with bone and muscle health in adults. *Curr Osteoporos Rep*. 2013;11:203–12.
27. Lewis EJ, Radonic PW, Wolever TM, Wells GD. 21 days of mammalian omega-3 fatty acid supplementation

- improves aspects of neuromuscular function and performance in male athletes compared to olive oil placebo. *J Int Soc Sports Nutr.* 2015;12:28.
28. von Schacky C. Die Bedeutung des Omega-3 Index für den Sportler. *Vitalstoffe* 2012;2/2:47–51
 29. Macartney MJ, Hingley L, Brown MA, Peoples GE, McLennan PL. Intrinsic heart rate recovery after dynamic exercise is improved with an increased omega-3 index in healthy males. *Br J Nutr.* 2014;112:1984–92.
 30. Żebrowska A, Mizia-Stec K, Mizia M, Gąsior Z, Poprzęcki S. Omega-3 fatty acids supplementation improves endothelial function and maximal oxygen uptake in endurance-trained athletes. *Eur J Sport Sci.* 2015;15:305–14.
 31. Moyers B, Farzaneh-Far R, Harris WS, Garg S, Na B, Whooley MA. Relation of Whole Blood n-3 Fatty Acid Levels to Exercise Parameters in Patients With Stable Coronary Artery Disease (from the Heart and Soul Study). *Am J Cardiol.* 2011;107:1149–54
 32. Furtado M, Katzman MA. Examining the role of neuroinflammation in major depression. *Psychiatry Res.* 2015;229:27–36.
 33. Baghai TC, Varallo-Bedarida G, Born C, Häfner S, Schüle C, Eser D, Rupprecht R, Bondy B, von Schacky C. Major depression is associated with cardiovascular risk factors and low Omega-3 Index. *J Clin Psychiat* 2011;72:1242–7.
 34. Pottala JV, Churchill SW, Talley JA, Lynch DA, von Schacky C, Harris WS. Red Blood Cell Fatty Acids are Associated with Depression in a Case-Control Study of Adolescents. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids* 2012;86:161–5
 35. Baek D, Park Y. Association between erythrocyte n-3 polyunsaturated fatty acids and biomarkers of inflammation and oxidative stress in patients with and without depression. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids.* 2013;89:291–6
 36. Hibbeln JR, Gow RV. The potential for military diets to reduce depression, suicide, and impulsive aggression: a review of current evidence for omega-3 and omega-6 fatty acids. *Mil Med.* 2014;179(11 Suppl):117–28.
 37. Grosso G, Pajak A, Marventano S, Castellano S, Galvano F, Bucolo C, Drago F, Caraci F. Role of omega-3 fatty acids in the treatment of depressive disorders: a comprehensive meta-analysis of randomized clinical trials. *PLoS One.* 2014;9(5):e96905.
 38. Hawkey E, Nigg JT. Omega-3 fatty acid and ADHD: blood level analysis and meta-analytic extension of supplementation trials. *Clin Psychol Rev.* 2014;34:496–505.
 39. Widenhorn-Müller K, Schwanda S, Scholz E, Spitzer M, Bode H. Effect of supplementation with long-chain ω-3 polyunsaturated fatty acids on behavior and cognition in children with attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD): A randomized placebo-controlled intervention trial. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids.* 2014;91:49–60.
 40. Tan ZS, Harris WS, Beiser AS, Au R, Himali JJ, Debette S, Pikula A, DeCarli CS, Wolf PA, Vasan RS, Robins SJ, Seshardi S. Red Blood Cell Omega-3 Fatty Acid Levels and Markers of Accelerated Brain Aging. *Neurology* 2012;78:658–64
 41. Cooper RE, Tye C, Kuntsi J, Vassos E, Asherson P. Omega-3 polyunsaturated fatty acid supplementation and cognition: A systematic review and meta-analysis. *J Psychopharmacol.* 2015;29:753–63.
 42. Guzmán JF, Esteve H, Pablos C, Pablos A, Blasco C, Villegas JA. DHA- Rich Fish Oil Improves Complex Reaction Time in Female Elite Soccer Players. *J Sports Sci Med.* 2011;10:301–5.
 43. Barrett EC, McBurney MI, Ciappio ED. ω-3 fatty acid supplementation as a potential therapeutic aid for the recovery from mild traumatic brain injury/concussion. *Adv Nutr.* 2014;5:268–77.
 44. <http://www.efsa.europa.eu/en/press/news/120727.htm>
 45. FDA Docket No. 91N-0103
 46. http://www.bfr.bund.de/de/a-z_index/omega_3_fettsaeuren-8135.html
 47. Salisbury AC, Harris WS, Amin AP, Reid KJ, O'Keefe Jr JH, Spertus JA. Relation Between Red Blood Cell Omega-3 Fatty Acid Index and Bleeding During Acute Myocardial Infarction. *Am J Cardiol.* 2012;109:13–8
 48. Shei RJ, Lindley MR, Mickleborough TD. Omega-3 polyunsaturated fatty acids in the optimization of physical performance. *Mil Med.* 2014;179(11 Suppl):144–56.



Autor

Prof. Dr. Clemens von Schacky, FESC, Präventive Kardiologie, Medizinische Klinik und Poliklinik I, Ludwig Maximilians-Universität München, 80336 München, und Omegamatrix, Martinsried.