



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences

Department Ökotrophologie

**Effekte einer Omega 3-Supplementation auf den Heilungsprozess
sportbedingter Kopfverletzungen bei Sportler*innen**

Bachelorarbeit

vorgelegt von:

Jeanette Kathrin Olbrich

Matrikelnummer:



vorgelegt am:

13.02.2026

Erstgutachterin:

Prof. Dr. Anja Carlsohn (HAW Hamburg)

Zweitgutachterin:

Prof. Dr. Nina Riedel (HAW Hamburg)

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	V
Gender Erklärung	VI
Zusammenfassung	1
Abstract	2
1 Einleitung	3
2 Theoretischer Hintergrund	4
2.1 Sportbedingte Kopfverletzungen	4
2.1.1 Definition und Bezeichnungen	4
2.1.2 Pathophysiologie	6
2.1.3 Umgang und langfristige Folgen	11
2.1.4 Epidemiologie	14
2.2 Omega 3-Fettsäuren	15
2.2.1 Aufnahme	18
2.2.2 Wirkung im menschlichen Körper	18
2.2.3 Versorgungssituation	19
2.3 Nahrungsergänzungsmittel	21
2.3.1 Definition und Kategorisierung	21
2.3.2 Sicherheit von Nahrungsergänzungsmittel	22
2.3.3 Omega 3 als Supplement	23
2.4 Potenzielle Wirkmechanismen	24
2.5 Zielstellung der Arbeit	26
3 Methode	27
3.1 Ein- und Ausschlusskriterien	27
3.2 Stichwort und Synonym Tabelle	29
3.3 Suchstrategie	30
3.4 PRISMA Flow-Chart	31
4 Ergebnisse	33
4.1 Biomarker	36
4.2 SCAT-Test, Return-to-sport, Fragebögen	39
4.3 Gehirnbildgebung	40
5 Diskussion	41
5.1 Ergebnisdiskussion	41

5.1.1	Biomarker	42
5.1.2	SCAT-Test, Return-to-sport, Fragebögen	44
5.1.3	Gehirnbildgebung	46
5.2	Methodendiskussion und Limitationen	47
5.3	Praktische Empfehlungen	49
6	Schlussfolgerung	49
	Literaturverzeichnis	51
	Eidesstattliche Erklärung	56

Abkürzungsverzeichnis

2-MAG – 2-Monoacylglycerol

AAN – American Academy of Neurology

ACRM – American Congress of Rehabilitation Medicine

AIS – Australian Institute of Sport

ALS – amyotrophe Lateralsklerose

AMSSM – American Medical Society for Sports Medicine

ATP – Adenosintriphosphat

CSF – Zerebrospinalflüssigkeit

CSIG – Concussion in Sport Group

CTE – Chronisch traumatische Enzephalopathie

IOC –Internationale Olympische Komitee

mTBI – mild traumatic brain injury

NATA – National Athletic Trainers' Association

NCAA – National Collegiate Athletic Association

NEM – NahrungsergänzungsmittelrSHIs – repetitive subconcussive head impacts

NfL – Neurofilament-Leichtketten-Polypeptid

NFL – National Football League

SCI – subconcussive impact

SHT – Schädel-Hirn-Trauma

SRC – sportrelated concussion

TBI – traumatic brain injury

WADA – Welt-Anti-Doping-Agentur

ZNS – Zentrales Nervensystem

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Verletzungskaskade nach einer mTBI (Barrett et al., 2014, S. 269)	8
Abbildung 2 'Return-to-learn'-Strategie (Patricios et al., 2023, S. 703).....	12
Abbildung 3 'Return-to-sport'-Strategie (Patricios et al., 2023, S. 704).....	12
Abbildung 4 Skelettformeln der Fettsäuren EPA und DHA (Matissek & Hahn, 2023, S. 212)	16
Abbildung 5 Endogene Modifikation von Fettsäurestrukturen (Stehle & Ellinger, 2024, S. 92)	17
Abbildung 6 PRISMA-Flow-Chart	32

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Ein- und Ausschlusskriterien der systematischen Literaturrecherche mittels PICOS-Schemas.....	27
Tabelle 2 Deutsche Stichwort- und Synonymtabelle	30
Tabelle 3 Englische Stichwort- und Synonymtabelle.....	30
Tabelle 4 Dokumentation der Suchstrings und Trefferanzahlen	31
Tabelle 5 Ergebnisdarstellung mittels PICOR-Schemas	33

Gender Erklärung

Zur besseren Lesbarkeit wird in dieser Bachelorarbeit das generische Maskulinum verwendet. Die in dieser Arbeit verwendeten Personenbezeichnungen beziehen sich, sofern nicht anders kenntlich gemacht, auf alle Geschlechter.

Zusammenfassung

Sportbedingte Kopfverletzungen stellen ein relevantes gesundheitliches Risiko im Sport dar. SRC treten häufig mit unterschiedlichen akuten Symptomen auf, und können langfristig zu neurodegenerativen Erkrankungen führen. Langkettige Omega 3-Fettsäuren, vor allem DHA und EPA, werden gesundheitsfördernde Eigenschaften zugeschrieben, wie beispielsweise eine antientzündliche Wirkung. Präklinische Studien liefern konsistente Hinweise auf eine neuroprotektive Wirkung und Förderung des Heilungsprozesses durch eine Supplementation mit Omega-3-Fettsäuren nach traumatischen Hirnverletzungen. Die Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf den Menschen ist jedoch bislang unzureichend geklärt. Demnach widmet sich diese Arbeit der Forschungsfrage, welche Effekte eine Omega 3-Supplementation auf den Heilungsprozess sportbedingter Kopfverletzungen bei Sportlern hat. Mittels einer systematischen Literaturrecherche in PubMed soll die aktuelle wissenschaftliche Evidenzlage zur vorliegenden Forschungsfrage aufgezeigt werden. Diese Arbeit inkludiert sechs Studien, deren Ergebnisse anhand der Outcome-Parameter dargestellt sind. Die Gesamtheit der Ergebnisse deutet auf einen wahrscheinlich fördernden Effekt bezüglich des Heilungsprozesses sportbedingter Kopfverletzung hin. Ein einheitlich statistisch signifikanter Effekt konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. Insgesamt existiert eine noch nicht abschließend bewertbare Evidenzlage, sodass weitere, groß angelegte Studien erforderlich sind, um den konsistenten Effekt von Supplementation mit Omega 3-Fettsäuren auf den Heilungsprozess nach sportbedingter Kopfverletzung bei Athleten zu untersuchen. Zukünftige Forschungen sollten sich beider Geschlechter, unterschiedlicher Sportarten sowie der Dosis der Supplementation widmen.

Abstract

Sportrelated concussions are a significant health risk in sports. SRC often occurs with varying acute symptoms and can lead to neurodegenerative diseases in the long term. Long-chain omega-3 fatty acids, especially DHA and EPA, are attributed with health-promoting properties, such as anti-inflammatory effects. Preclinical studies provide consistent evidence of a neuroprotective effect and promotion of the healing process through supplementation with omega-3 fatty acids after traumatic brain injuries. However, the transferability of these results to humans has not yet been sufficiently clarified. Accordingly, this study addresses the research question of what effects omega-3 supplementation has on recovery of sportrelated concussion in athletes. A systematic literature search in PubMed was conducted to identify the current scientific evidence on the research question. Six studies were included, the results of which are presented using outcome parameters. The overall results indicate a likely beneficial effect on the healing process of sportrelated concussions. However, no consistent statistically significant effect could be demonstrated. Overall, the evidence is not yet conclusive, so further large-scale studies are needed to confirm a consistent effect of omega-3 fatty acid supplementation on the healing process after sportrelated concussion in athletes. Future research should focus on both genders, different sports, and supplementation dosage.

1 Einleitung

Jährlich erleiden in den Vereinigten Staaten 1,7 Millionen Menschen eine traumatische Kopfverletzung (traumatic brain injury, TBI) (Daneshvar et al., 2011). Bei Sport- und Freizeitaktivitäten treten jährlich 1,6 bis 3,8 Millionen Gehirnerschütterungen auf (Langlois et al., 2006). Speziell bei Sportlern von Kontakt- und Kollisionssportarten sowie jüngeren Athleten wird eine steigende Entwicklung der Inzidenz von sportbedingten Kopfverletzungen (sportrelated concussion, SRC) beobachtet (Heilesen et al., 2024). Sportbedingte Kopfverletzungen stellen folglich ein relevantes gesundheitliches Problem im Sport dar. Trotz zunehmender Sensibilisierung bestehen weiterhin Evidenzlücken hinsichtlich wirksamer präventiver und therapeutischer Maßnahmen zur Unterstützung des Heilungsprozesses nach sportbedingten Kopfverletzungen. SRC treten häufig mit unterschiedlichen akuten Symptomen wie Kopfschmerzen, kognitiven Beeinträchtigungen, Licht- und Geräuschempfindlichkeit, Reizbarkeit, Schlafstörungen und Bewusstlosigkeit auf (Barrett et al., 2014). Langfristig können repetitive Kopfverletzungen potenziell zu neurodegenerativen Erkrankungen führen, welche mit kognitiven, motorischen und psychischen Beeinträchtigungen einhergehen (Gänsslen et al., 2016). Aufgrund des multifaktoriellen Charakters der Verletzung und der bisherig eindimensionalen Adressierung der Verletzungskaskade durch existierende Therapiemittel lässt sich erklären, warum diese nicht erfolgreich waren (Barrett et al., 2014). Es gilt weiterhin ein Präventions- und Therapiemittel zu finden.

Langkettige Omega 3-Fettsäuren, vor allem DHA und EPA, werden gesundheitsfördernde Eigenschaften zugeschrieben, wie Prävention von Herz-Kreislauf- und Gefäßerkrankungen (Bundesinstitut für Risikobewertung, 2009). Eicosanoide aus EPA und DHA wirken antithrombotisch, antiatherogen, antihypertensiv sowie antientzündlich (Biesalski et al., 2018, S. 133). Sowohl die Allgemeinbevölkerung als auch spezielle Bevölkerungsgruppen, wie Sportler, nutzen Nahrungsergänzungsmittel (Maughan et al., 2018). Präklinische Studien liefern konsistente Hinweise auf eine neuroprotektive Wirkung von Omega-3-Fettsäuren nach traumatischen Hirnverletzungen (Barrett et al., 2014); (Patch et al., 2021). Die Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf den Menschen ist jedoch bislang unzureichend geklärt.

Zunächst wird der theoretische Hintergrund der Thematik vorgestellt und die genaue Fragestellung dieser Arbeit herausgearbeitet. Um die Fragestellung zu beantworten, wird eine systematische Literaturrecherche durchgeführt. Im dritten Teil wird das methodische Vorgehen systematisch erläutert und dokumentiert. Die Ergebnisse der eingeschlossenen Literatur werden im darauffolgenden Kapitel anschaulich dargestellt. Anschließend werden die Ergebnisse interpretiert und in den aktuellen Forschungsstand eingeordnet. Zuletzt wird ein abschließendes Fazit gezogen.

2 Theoretischer Hintergrund

Das folgende Kapitel soll in den theoretischen Hintergrund sportbedingter Kopfverletzungen, Omega 3-Fettsäuren und Nahrungsergänzungsmittel einführen. Hierzu werden relevante Grundlagen und Definitionen herangezogen. Zuletzt werden potenzielle Wirkmechanismen dargestellt und die Zielstellung dieser Arbeit behandelt.

2.1 Sportbedingte Kopfverletzungen

Es existieren weltweit unterschiedliche Begrifflichkeiten sowie Definitionen für eine Gehirnerschütterung und Kopfverletzung, welche sich im Zuge des voranschreitenden Erkenntnisstandes verändern. Eine während einer sportlichen Tätigkeit entstandene Gehirnerschütterung wird im Englischen als eine sogenannte ‚sportsrelated concussion‘ (SRC) bezeichnet. Eine deutsche Übersetzung lautet ‚sportbedingte Kopfverletzung‘. Im Folgenden werden neben der Definition, die Pathophysiologie und die Epidemiologie dargestellt.

2.1.1 Definition und Bezeichnungen

Die geläufigste Definition für Gehirnerschütterungen im Sport stammt von der Concussion in Sport Group (CSIG) und wurde im Zuge des *6th International Conference on Concussion in Sport* (2022) formuliert. Diese Definition wird in dieser Arbeit verwendet. Eine sportbedingte Gehirnerschütterung (bzw. SRC) ist eine traumatische Hirnverletzung (englisch: traumatic brain injury (TBI)), die durch einen direkten Schlag auf den Kopf, den Nacken oder den Körper verursacht wird und zu einer impulsiven Kraftübertragung auf das Gehirn führt, die bei sportlichen und trainingsbezogenen Aktivitäten auftritt. Dies löst eine Neurotransmitter- und Stoffwechsellkaskade aus, die zu einer möglichen Verletzung von Axonen, einer Veränderung des Blutflusses und einer Entzündung des Gehirns führen kann. Die Symptome und Anzeichen können sofort auftreten oder sich über Minuten oder Stunden entwickeln und klingen in der Regel innerhalb weniger Tage ab, können aber auch länger anhalten. Bei standardmäßigen strukturellen Neuroimaging-Verfahren (Computertomographie oder Magnetresonanztomographie mit T1- und T2-gewichteten Bildern) sind keine Anomalien zu erkennen, aber in der Forschung können Anomalien bei funktionellen, Durchblutungs- oder Stoffwechselbildgebungsverfahren auftreten. Eine sportbedingte Gehirnerschütterung führt zu einer Reihe von klinischen Symptomen und Anzeichen, die mit oder ohne Bewusstseinsverlust einhergehen können. Die klinischen Symptome und Anzeichen einer Gehirnerschütterung lassen sich nicht allein durch den Konsum von Drogen, Alkohol oder Medikamenten, andere Verletzungen, wie Halswirbelsäulenverletzungen, periphere vestibuläre Dysfunktion, oder andere Begleiterkrankungen, wie psychologische Faktoren oder gleichzeitig bestehende Erkrankungen, erklären (können jedoch gleichzeitig auftreten). (Patricios et al., 2023)

Eine weitere Definition, welche eine häufige Verwendung im klinischen Kontext findet, der American Academy of Neurology (AAN) lautet: Eine Gehirnerschütterung ist ein klinisches Syndrom, das durch biomechanisch bedingte Veränderungen der Gehirnfunktion verursacht wird und typischerweise das Gedächtnis und die Orientierung beeinträchtigt, wobei es nicht zwingend zur Bewusstlosigkeit kommen muss (Giza et al., 2013). Die National Athletic Trainers' Association (NATA) definiert Gehirnerschütterung als eine trauma-induzierte Veränderung des mentalen Zustands, welche mit keinem oder Bewusstseinsverlust einhergehen kann (Broglia et al., 2014). Die American Medical Society for Sports Medicine (AMSSM) definiert eine Gehirnerschütterung als eine traumatisch verursachte, vorübergehende Störung der Gehirnfunktion, welche mit einem komplexen pathophysiologischen Prozess einhergeht. Sie ist eine Untergruppe der ‚mild traumatic brain injury‘ (mTBI) und lässt sich am weniger schweren Ende des Spektrums der Hirnverletzungen einordnen. Wichtig ist zudem, dass die Symptome nicht anderweitig, zum Beispiel durch Drogen, Alkohol, Medikamente oder anderen Verletzungen (beispielsweise Halswirbelsäulenverletzungen oder periphere vestibuläre Dysfunktionen) erklärt werden können. (Harmon et al., 2019)

Der American Congress of Rehabilitation Medicine (ACRM) nutzt die Bezeichnung ‚concussion‘ synonym mit ‚mild traumatic brain injury‘, wenn die Gehirnbildgebung normal ist oder keine klinische Indikation vorliegt. Dies stimmt mit der historischen Verwendung des Wortes ‚concussion‘ überein. Zudem ist ein wichtiges Kriterium für die Diagnostik einer traumatischen Hirnverletzung (TBI), dass eine Übertragung mechanischer Energie auf das Gehirn durch äußere Kräfte stattgefunden hat. Dies könne auf vier unterschiedliche Weisen entstehen:

- Der Kopf wird von einem Gegenstand getroffen.
- Der Kopf schlägt auf einen harten Gegenstand oder Oberfläche auf.
- Das Gehirn wird einer Beschleunigungs-/Verzögerungsbewegung ausgesetzt, ohne, dass ein direkter Kontakt zustande kommt.
- Das Gehirn wird durch eine Druckwelle oder Explosion einer Beschleunigungsbewegung ausgesetzt. (Silverberg & Iverson, 2023)

Subconcussive impact (SCI) beschreibt eine traumatische mechanische Kraft auf den Kopf oder die obere Körperhälfte, welche nicht die Schwelle einer SRC und zugehörigen Symptomen erreicht. Im Laufe einer Athletenkarriere können nicht nur einmalig, sondern auch mehrmalig SCI auftreten. (Lust et al., 2020) Diese können unter anderem als repetitive subconcussive head impacts (rSHIs) bezeichnet werden (Heilesen et al., 2024).

2.1.2 Pathophysiologie

Das menschliche Gehirn enthält Flüssigkeitsräume, welche in den Zentralkanal des Rückenmarks übergehen und mit Zerebrospinalflüssigkeit gefüllt ist. Sie zirkuliert und wird ständig neu gebildet. Das Gehirn kann zudem in verschiedene Areale aufgeteilt werden, die miteinander verbunden sind. Verbindungen von der Peripherie in das Zentralnervensystem werden afferent genannt. Im Gegensatz dazu leiten efferente Verbindungen Nervenimpulse vom Zentralnervensystem in die Peripherie. Entsprechend kann zwischen auf- und absteigenden Signalen unterschieden werden. Das Großhirn ist der größte Abschnitt des Gehirns und besteht aus dem Kortex (Großhirnrinde), den Verbindungen (Kommissuren) zwischen den beiden Hirnhälften und subkortikalen Kernen im Großhirnmark. Dabei ist der Balken (Corpus callosum) die größte Verbindung (Kommissur) für Informationsaustausch zwischen den beiden Hirnhälften. Die Großhirnrinde enthält viele Nervenzellen und bildet die sogenannte graue Substanz. Unterhalb der Rinde liegt das Großhirnmark, welches viele Nervenfasern mit myelinisierten Axonen enthält. Durch ihre helle Färbung sind sie für die Bezeichnung als weiße Substanz verantwortlich. Unter Axonen wird ein Abschnitt einer Nervenzelle, eine Art Faser, verstanden, entlang der die elektrischen Impulse (Informationen) eines Neurons weitergeleitet werden. Im Mark eingebettet liegen subkortikale Kerngebiete (Basalganglien). Zum Großhirn wird das limbische System gerechnet. Es handelt sich um ein Netzwerk aus kortikalen und subkortikalen Strukturen, die wichtig für emotionales Erleben und Verhalten sind. Kortikostriatale Fasern sind Nervenfasern, die sensorische und motorische Signale zwischen Kortex und Basalganglien (z.B. Striatum) leiten und eine wichtige Rolle bei der Steuerung von Bewegungen und der Verarbeitung sensorischer Informationen spielen. (Schröger et al., 2022, S. 75-79, 87-89) Raikes et al. (2022) unterscheiden in verschiedene Fasern. Die Assoziationsfasern verbinden kortikale Areale innerhalb einer Gehirnhälfte, während Kommissurenfasern Areale beider Gehirnhälften verbinden (Raikes et al., 2022).

Das Default-Mode-Netzwerk (DMN) ist ein Hirnnetzwerk, das aktiv ist, wenn wir uns ausruhen oder nach innen gerichtet sind, zum Beispiel bei Tagträumen und Selbstreflexion. Das fronto-parietale Kontrollnetzwerk (FPCN) hilft bei bewusster Steuerung, Aufmerksamkeit und Planung, also bei zielgerichteten Aufgaben. Beide Netzwerke arbeiten zusammen, um Gedanken, Aufmerksamkeit und Kontrolle zu regulieren. (Raikes et al., 2022)

Erfolgt eine mTBI, findet aufgrund eines mechanischen Reizes eine komplexe Kaskade an molekularen Veränderungen im Gehirn statt. Daraus resultieren diffuse Mikrotraumen der Axone. Darüber hinaus erleidet auch das Zytoskelett ein Trauma, welches sich in Form einer Störung der Membran äußert. Dies verursacht, dass aufgrund einer erhöhten Permeabilität der Zellmembran sowie der Störung des Membranruhepotentials ein erhöhter Ionenfluss besteht. Es sind die $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{Ca}^{2+}$ -Ionenflüsse betroffen. Der Regulationsverlust führt zu einem Einstrom von Ca^{2+} und

einem Ausstrom von K^+ . Aufgrund der Membrandepolarisation werden wahllos Neurotransmitter wie Glutamat freigesetzt. Dies führt zu erhöhter Aktivierung der N-Methyl-D-Aspartat-Rezeptoren und zusätzliche Ionenstörungen sowie eine unspezifische Auslösung von Aktionspotentialen verursacht. Da N-Methyl-D-Aspartat-Rezeptoren mit wichtigen kognitiven Prozessen, folglich neuronaler Funktionen wie Lernen und Gedächtnis, in Verbindung stehen, werden genau diese durch die Funktionsstörung beeinträchtigt. Um diese Exzitotoxizität und die Homöostase wiederherzustellen, müssen Adenosintriphosphat (ATP)-abhängige Ionenpumpen der Zellwände mit erhöhter Kapazität arbeiten. Folglich besteht ein enormer Bedarf an ATP, welcher über glykolytische Stoffwechselwege bereitgestellt werden kann. Im Zuge der Wiederherstellung der Homöostase strömt vermehrt Ca^{2+} in die Zelle ein, was die Funktion der Mitochondrien stört. Zudem ist damit eine tendenziell verringerte Hirndurchblutung sowie ein Ungleichgewicht von Energieverbrauch und -angebot im Gehirn verbunden. Trotz dessen, dass Neuronen in diesem hypermetabolischen Zustand schnell ATP produzieren können, ist dieser Prozess ineffizient und resultiert in einer übermäßigen Milchsäureproduktion sowie der Bildung von Sauerstoffradikalen. Letztere können wichtige Zellkomponenten, wie DNA und Phospholipidmembranen, schädigen. Die strukturelle Schädigung der Axone wird durch die Anreicherung von Ca^{2+} -Ionen und den daraus resultierenden oxidativem Stress verstärkt. Dies wird aufgrund der Ablagerung von Amyloid-Vorläuferproteinen belegt. Nach der hypermetabolischen Phase geht das Gehirn in den Hypometabolismus über. Hierbei ist eine geringe Verwendung von Glucose charakteristisch. Dieser Zustand kann von mehreren Tagen bis Monate, in schweren Fällen, andauern. Es wird vermutet, dass das Gehirn währenddessen besonders gefährdet ist, eine zweite Verletzung zu erleiden. Ein weiterer Aspekt ist die Mikrogliaaktivierung, welche aus Neuronen durch Freisetzung von Schadenssignalen hervorgerufen wird. Die Mikrogliaaktivierung stellt einen integralen Bestandteil der neuronalen Entzündungsreaktion dar und beginnt bereits eine Stunde nach der Verletzung und kann bis zu 30 Tage anhalten. Diese Entzündung kann zu einem positiven Rückkopplungssystem führen, welches eine Entzündungsreaktion zur Folge hat. Eine daraus resultierende Schädigung der Zellmembran kann durch die Anhäufung von Lipidperoxidaionsprodukten belegt werden. Mit wiederholten Gehirnerschütterungen nimmt die neuronale Entzündung zu und steigert die Schädigung der Neuronen und das Risiko für zukünftige Komplikationen. Letztendlich kommt es zum neuronalen Zelltod via Apoptose aufgrund der Kombination von neuronaler Entzündungsreaktion, Hypermetabolismus, Dysfunktion der Mitochondrien, Schädigung der Axone sowie oxidativem Stress. Diese Folgen beeinträchtigen möglicherweise die kognitiven Funktionen. (Barrett et al., 2014)

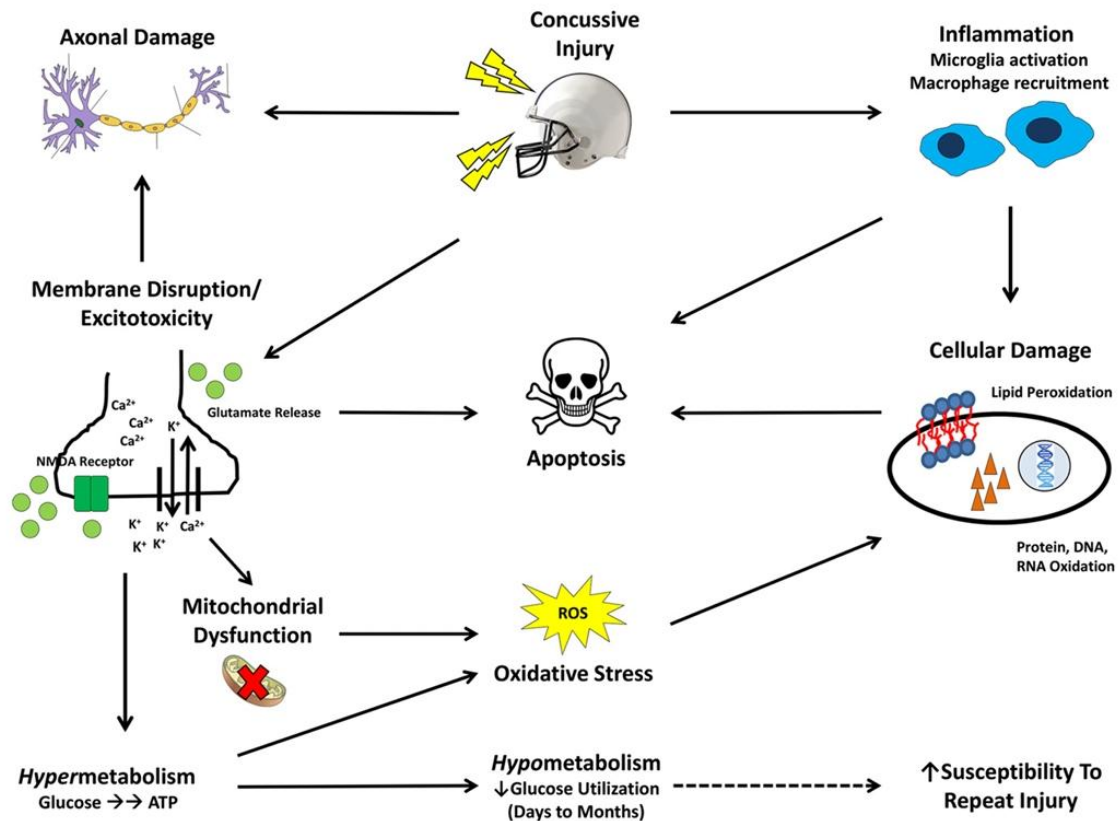


Abbildung 1 Verletzungskaskade nach einer mTBI (Barrett et al., 2014, S. 269)

Eine der pathophysiologischen Problematiken im Zuge einer TBI ist der gestörte Ionenfluss durch die neuronalen Membranen. Diese Dysbalance kann über längere Zeit andauern. Selbst eine Woche nach der ursprünglichen Verletzung werden Verringerungen der Dopaminausschüttung beobachtet. Dopamin ist für das Lernen und das Gedächtnis relevant. Dementsprechend könnte dies eine Erklärung für die funktionellen Defizite nach einer mTBI sein. Jedoch können weitere molekulare Wege ebenfalls die kognitiven Funktionen beeinflussen. Eine Möglichkeit ist der BDNF-Signalweg (Brain-derived neurotrophic factor), welcher durch die Modulation von Synapsin I und dem cAMP-Response-Element-Bindungsprotein (CREB) die synaptische Übertragung und die Lernfähigkeit erleichtert. (Barrett et al., 2014)

Kürzliche Studien zeigten, dass wiederholte Kopfverletzungen mit Veränderungen in der Gehirnstruktur assoziiert seien. Dazu gehören beispielsweise Veränderungen der kortikalen Dicke, Volumen und Mikrostruktur der weißen Substanz. Häufige Befunde sind eine verminderte quantitative Anisotropie in langen Assoziationsbahnen sowie eine erhöhte mittlere und radiale Diffusionsfähigkeit im Corpus callosum, was insgesamt auf eine verminderte mikrostrukturelle Integrität hinweist. Dies führt zur eingeschränkten Diffusion. Die quantitative Anisotropie ist ein Maß für die Konnektivität und Indikator für strukturelle Integrität der weißen Substanz des Gehirns. Sie quantifiziert die eingeschränkte Diffusionsdichte. Verringerte quantitative Anisotropie-Werte deuten also auf eine Zerstörung oder Schädigung der Gewebestruktur hin. Jedoch existieren auch

heterogene Ergebnisse mit keinen oder sehr beschränkten Veränderungen der Indikatoren struktureller Integrität der weißen Substanz. (Raikes et al., 2022)

Die kurzfristigen Symptome einer Gehirnerschütterung sind unterschiedlich und hängen vom Schweregrad der Verletzung ab. Zu den Symptomen gehören häufig Kopfschmerzen, kognitive Beeinträchtigungen (beispielsweise verlangsamte Reaktionszeit, Benommenheit), Licht- und Geräuschempfindlichkeit, Reizbarkeit, Schlafstörungen und Bewusstlosigkeit. (Barrett et al., 2014)

Zetterberg et al. haben in einem Review potenzielle Biomarker analysiert, mithilfe derer eine Verletzung geschädigter Strukturen, Zelltypen oder Prozesse im ZNS im Zuge einer SRC nachgewiesen werden könnten. Bei akuten Hirnverletzungen können diese Biomarker in der Zerebrospinalflüssigkeit (CSF) oder im peripheren Blut nachgewiesen werden. Dabei müssen ultrasensitive Messmethoden herangezogen werden, um zuverlässig neuronale Biomarker im Blut messen und zu quantifizieren zu können. (Zetterberg et al., 2013)

Die Zusammensetzung der Zerebrospinalflüssigkeit spiegelt biochemische Veränderungen wider, da sie in direktem Kontakt zur extrazellulären Matrix im Gehirn steht. Die Blut-Hirn-Schranke ist eine selektive Barriere zwischen dem Blutkreislauf und dem Zentralnervensystem, die das Gehirn vor schädlichen Stoffen, Krankheitserregern und Giften schützt, indem sie ein unkontrolliertes Aus- oder Eintreten von Substanzen verhindert. Folglich spielt sie eine wichtige Rolle bei der Aufrechterhaltung einer regulierten Mikroumgebung für eine zuverlässige neuronale Signalübertragung. Das CSF:serum albumin-Verhältnis ist ein typischer Biomarker für die Blut-Hirn-Schranke. Eine Erhöhung dieses Verhältnisses deutet auf eine Schädigung der Blut-Hirn-Schranke hin, da Albumin hauptsächlich in der Leber synthetisiert wird und nur durch die Blut-Hirn-Schranke in die Zerebrospinalflüssigkeit gelangt. Eine Erhöhung des Verhältnisses tritt bei Entzündungskrankheiten oder zerebrovaskulären Erkrankungen des ZNS auf. Das CSF:serum albumin-Verhältnis könnte zudem ein möglicher Biomarker für die Unterscheidung zwischen einer TBI und einer mTBI sein. Jeweils zwei Studien ergaben, dass Patienten mit einer schwerwiegenden TBI ein erhöhtes Verhältnis aufwiesen, während die Patienten der anderen zwei Studien keine Veränderungen bei einer mTBI aufwiesen. Dies deutet drauf hin, dass die Blut-Hirn-Schranke bei Patienten mit mTBI keine Schädigung erleidet. Messmethoden des CSF:serum albumin aus der Zerebrospinalflüssigkeit sind nicht sensitiv genug, um Konzentrationsveränderungen aufzuzeigen. (Zetterberg et al., 2013)

Biomarker, welche auf eine Neuroinflammation hindeuten, können auch in der Zerebrospinalflüssigkeit nachgewiesen werden. Im Allgemeinen sind die Konzentrationen von Entzündungsproteinen wie IL-6, IL-8 und IL-10 im CSF als Reaktion auf eine schwere TBI erhöht. Diese Biomarker seien jedoch in der Praxis bisher nicht für Patienten mit mTBI relevant, da bei diesen Patienten allenfalls Proben der Zerebrospinalflüssigkeit durch Lumbalpunktion entnommen

werden. Es fehlen Studien zu Markern für Neuroinflammation bei Patienten mit leichter TBI. (Zetterberg et al., 2013)

Zwei etablierte Biomarker akuter axonaler Verletzung, welche in der Zerebrospinalflüssigkeit gemessen werden können, sind Gesamt-Tau und Neurofilament-Leichtketten-Polypeptid (NfL). Sie kommen in unterschiedlichen Arealen des Hirns vor, was eine Bestimmung der betroffenen Hirnareale möglich macht. Das Tau-Protein lässt sich in größeren Mengen in dünnen, nicht myelinisierten Axonen von kortikalen Neuronen, wohingegen NfL in den großen, dickwandigen, myelinisierten Axonen zu finden ist, welche in tiefere Hirnschichten und das Rückenmark reichen. Trotz dessen, dass die Tau-Protein-Konzentration in Hirnventrikeln normalerweise höher ist, als in Proben, welche durch Lumbalpunktion gewonnen werden, wird in der Literatur angenommen, dass die Gesamt-Tau-Konzentration mit der Schwere der TBI korreliert. Auch bei Patienten mit mTBI zeigen Studien eine erhöhte Gesamt-Tau-Konzentration in der CSF. In den von Zetterberg et al. inkludierten Studien normalisierte sich nach acht bis zwölf Wochen die Konzentration des Tau-Proteins wieder, solange keine weitere Hirnverletzung erfolgt. Die höchste Konzentration tritt vier bis zehn Tage nach der Verletzung auf. Die Gesamt-Tau-Protein-Konzentrationen in der Zerebrospinalflüssigkeit könnte daher als Marker für axonale Schäden in Neuronen der grauen Substanz, sowohl bei TBI als auch bei mTBI dienen. (Zetterberg et al., 2013)

Im Gegensatz zum Gesamt-Tau scheint NfL bislang der empfindlichste in der Zerebrospinalflüssigkeit enthaltene Biomarker für axonale Verletzungen zu sein. Bei Sportlern mit einer mTBI wurde beobachtet, dass der Anstieg der NfL-Konzentration größer ist als des Gesamt-Tau-Proteins. Das deutet darauf hin, dass eine mTBI die langen myelinisierten Axone in der weißen Substanz stärker beeinträchtigt als die kurzen nicht myelinisierten Axone in der Großhirnrinde. Es gibt zudem Hinweise, dass die Konzentration von NfL positiv mit der Exposition von Sportlern mit Kopfverletzungen ist. Dazu gehört zum Beispiel die Anzahl der erlittenen Schläge auf den Kopf in einem Boxkampf oder subjektive und objektive Einschätzungen der Intensität des Kampfes. Wie bei dem Biomarker Tau-Protein kann die höchste Konzentration vier bis zehn Tage nach der Verletzung gemessen werden. (Zetterberg et al., 2013)

Die Studienlage weiterer Biomarker (wie gamma-Enolase, secreted APP-alpha und APP-beta (APP = Amyloid-Vorläuferprotein)) ist nicht ausreichend, um ihre Aussagekraft einzuschätzen. Einige Biomarker (sowie Messmethoden der Biomarker) sind nicht ausreichend sensitiv, um aussagekräftig zu sein, oder können beeinflusst werden und folglich verfälschte Ergebnisse liefern. Biomarker aus der Zerebrospinalflüssigkeit werden Biomarkern aus peripherem Blut bevorzugt, da sie näher am Gehirn liegen und eine geringere Anfälligkeit gegenüber verzerrenden Auswirkungen verschiedener Faktoren aufweisen. (Zetterberg et al., 2013)

2.1.3 Umgang und langfristige Folgen

Neben der formulierten Definition einer SRC (siehe Kapitel 2.1.1), sind weitere Ergebnisse des Konsensprozesses frei verfügbare, evidenzbasierte Instrumente zur Unterstützung der Erkennung und Beurteilung von SRC. Hierzu gehören das *Concussion Recognition Tool- 6* (CRT6), das *Sport Concussion Assessment Tool- 6* (SCAT6), das *Child SCAT6*, das *Sport Concussion Office Assessment Tool- 6* (SCOAT6) und das *Child SCOAT6*. Diese sind als Empfehlungen zu verstehen, da es beispielsweise Unterschiede des Gesundheitswesens gibt, welche eine individuelle Anpassung notwendig machen. (Patricios et al., 2023)

Die Konsenserklärung der CISG beinhaltet ,13 Rs‘ (Recognise, Reduce, Remove, Re-evaluate, Rest, Refer, Rehabilitate, Recover, Return-to-learn/sport, Reconsider, Residual effects, Retire und Refine), welche eine Behandlungsfolge und zu berücksichtigende Aspekte bei SRC erfassen sollen. ,Recognise‘ (dt. erkennen) beinhaltet die Definition einer SRC. Der Aspekt ,Reduce‘ (dt. reduzieren) fokussiert sich auf die Implementierung primärer Prävention, zum Beispiel mithilfe neuer Regelungen oder Schutzausrüstung. Beispielsweise zeigt die Einführung von einem Verbot des ,body checking‘ (damit ist ein harter Körperkontakt im Eishockey gemeint) im Kindes- und Jugendlichenalters im Eishockey eine 58%-ige Reduzierung der SRC in Spielen. Im Zuge des Aspekts ,Remove‘ (dt. entfernen) ist die Evaluation einer SRC und ggf. anschließendem Ausschluss vom weiteren Spiel gemeint. Hierbei können verschiedene Test herangezogen werden. Empfohlen wird die Durchführung des *Child SCAT6* (für Kinder zwischen acht und zwölf Jahren) bzw. *SCAT6* (> 13 Jahre) in ruhiger Umgebung abseits des Spielgeschehens. Anschließend folgt die subakute Phase ,Re-evaluate‘ (dt. neu bewerten) mit der Verwendung des *SCOAT6* bzw. *Child SCOAT6*. Die subakute Phase lässt sich 72 Stunden bis Wochen nach Verletzung einordnen. ,Rest‘ bzw. relative Ruhe gilt als effektivste Strategie in der Zeit nach der Verletzung (für bis zu zwei Tage). Dies beinhaltet Aktivitäten des täglichen Lebens sowie verringerte Bildschirmzeit. Anschließend ist 24 - 48 Stunden nach Verletzung leichte physische Aktivität möglich unter Beobachtung der ggf. auftretenden oder verschlimmernden Symptomen. Bei fortlaufend auftretenden Symptomen (> vier Wochen) soll eine Überweisung an einen Spezialisten in Erwägung gezogen werden. Der Aspekt ,Refer‘ (dt. verweisen) beschreibt diese Problematik. ,Rehabilitate‘ (dt. rehabilitieren) konzentriert sich auf die Rehabilitation der individuell oder generell auftretenden Symptome. Auch der Aspekt ,Recover‘ (dt. erholen) widmet sich der Rehabilitation, indem die klinische Genesung beurteilt wird. Es wird empfohlen, dass die Genesung dreidimensional erfasst wird. Diese umfassen die Beurteilung von Symptombereichen, weitere Ergebnisse (welche für anhaltende Symptome oder bestimmte Forschungsfragen relevant sind) sowie Maßnahmen zur Wiederaufnahme von Aktivitäten. Hierbei ist jedoch weitere Forschung nötig, um Biomarker und Technologien in der klinischen Praxis zu verwenden und die Genesung zu beurteilen und unterstützen. ,Return to learn / sport‘-Strategien (dt. Rückkehr zum Lernen/Sport) sollen den Wiedereinstieg in den Alltag unterstützen. Return to learn

betrifft dabei vorrangig Kinder, Jugendliche sowie junge Erwachsene. Betroffene können ggf. individuell unterstützt werden mit physischen Anpassungen und Anpassungen, die das Umfeld, Curriculum oder Fristen für Abgaben oder Termine für Überprüfungen betreffen. Bevor Schüler oder Studenten uneingeschränkt zu sportlichen Tätigkeiten zurückkehren, soll eine vollständige Rückkehr zum Lernen erfolgt sein. Eine schrittweise Steigerung der kognitiven und physischen Belastung des Sportlers unter Berücksichtigung der Symptomverschlimmerung gibt die Möglichkeit, den betroffenen Sportler während der Genesung mental, die psychologische Bereitschaft zur Rückkehr zum Wettkampfsport zu unterstützen und ein gemeinsames Entscheidungsmodell für die Rückkehr zum Sport zu fördern. Durchschnittlich erfolgt eine uneingeschränkte Rückkehr zum Sport innerhalb eines Monats nach einer SRC. (Patricios et al., 2023)

Table 1 Return-to-learn (RTL) strategy			
Step	Mental activity	Activity at each step	Goal
1	Daily activities that do not result in more than a mild exacerbation* of symptoms related to the current concussion	Typical activities during the day (eg, reading) while minimising screen time. Start with 5–15 min at a time and increase gradually.	Gradual return to typical activities
2	School activities	Homework, reading or other cognitive activities outside of the classroom.	Increase tolerance to cognitive work
3	Return to school part time	Gradual introduction of schoolwork. May need to start with a partial school day or with greater access to rest breaks during the day.	Increase academic activities
4	Return to school full time	Gradually progress in school activities until a full day can be tolerated without more than mild* symptom exacerbation.	Return to full academic activities and catch up on missed work
Following an initial period of relative rest (24–48 hours following an injury at Step 1), athletes can begin a gradual and incremental increase in their cognitive load. Progression through the strategy for students should be slowed when there is more than a mild and brief symptom exacerbation.			
*Mild and brief exacerbation of symptoms is defined as an increase of no more than 2 points on a 0–10 point scale (with 0 representing no symptoms and 10 the worst symptoms imaginable) for less than an hour when compared with the baseline value reported prior to cognitive activity.			

Abbildung 2 'Return-to-learn'-Strategie (Patricios et al., 2023, S. 703)

Table 2 Return-to-sport (RTS) strategy—each step typically takes a minimum of 24 hours			
Step	Exercise strategy	Activity at each step	Goal
1	Symptom-limited activity	Daily activities that do not exacerbate symptoms (eg, walking).	Gradual reintroduction of work/school
2	Aerobic exercise 2A—Light (up to approximately 55% maxHR) then 2B—Moderate (up to approximately 70% maxHR)	Stationary cycling or walking at slow to medium pace. May start light resistance training that does not result in more than mild and brief exacerbation* of concussion symptoms.	Increase heart rate
3	Individual sport-specific exercise Note: If sport-specific training involves any risk of inadvertent head impact, medical clearance should occur prior to Step 3	Sport-specific training away from the team environment (eg, running, change of direction and/or individual training drills away from the team environment). No activities at risk of head impact.	Add movement, change of direction
Steps 4–6 should begin after the resolution of any symptoms, abnormalities in cognitive function and any other clinical findings related to the current concussion, including with and after physical exertion.			
4	Non-contact training drills	Exercise to high intensity including more challenging training drills (eg, passing drills, multiplayer training) can integrate into a team environment.	Resume usual intensity of exercise, coordination and increased thinking
5	Full contact practice	Participate in normal training activities.	Restore confidence and assess functional skills by coaching staff
6	Return to sport	Normal game play.	
*Mild and brief exacerbation of symptoms (ie, an increase of no more than 2 points on a 0–10 point scale for less than an hour when compared with the baseline value reported prior to physical activity). Athletes may begin Step 1 (ie, symptom-limited activity) within 24 hours of injury, with progression through each subsequent step typically taking a minimum of 24 hours. If more than mild exacerbation of symptoms (ie, more than 2 points on a 0–10 scale) occurs during Steps 1–3, the athlete should stop and attempt to exercise the next day. Athletes experiencing concussion-related symptoms during Steps 4–6 should return to Step 3 to establish full resolution of symptoms with exertion before engaging in at-risk activities. Written determination of readiness to RTS should be provided by an HCP before unrestricted RTS as directed by local laws and/or sporting regulations. HCP, healthcare professional; maxHR, predicted maximal heart rate according to age (ie, 220-age).			

Abbildung 3 'Return-to-sport'-Strategie (Patricios et al., 2023, S. 704)

„Reconsider“ (dt. überdenken) beschreibt mögliche langfristige Folgen, welche die mentale Gesundheit, kognitive Beeinträchtigung, sowie neurologische Krankheiten betreffen. Im Zusammenhang mit Depressionen, Suizidalität, Demenz, Morbus Alzheimer, Morbus Parkinson, amyotrophe Lateralsklerose (ALS) und chronisch traumatische Enzephalopathie (CTE) werden SRC und wiederholten SRC als Risikofaktoren diskutiert. Jedoch fehlen aussagekräftige Studien, um definitive Zusammenhänge feststellen zu können. Es kann in individuellen Fällen sinnvoll sein, zusammen mit dem Athleten und einem multidisziplinären Team, über ein mögliches Karriereende im professionellen Sport zu beraten. Dieser Aspekt wird unter „Retire“ (dt. zurücktreten) aufgeführt. „Refine“ (dt. weiterentwickeln) spricht die Wissenslücke in Bezug auf den Paraport, Athletinnen, Kindern und Jugendlichen. Es sind aussagekräftige Studien mit diesen Kohorten notwendig. Beispielsweise ist das SCAT oder andere Tests nicht für Para-Athleten validiert. (Patricios et al., 2023)

Eine chronisch-traumatische Enzephalopathie ist eine progressive neurodegenerative Erkrankung, welche nach repetitiven mTBI, Gehirnerschütterungen und subklinischen Hirntraumata auftreten kann. Häufig tritt die Erkrankung und klinische Symptome zwischen 10 – 20 Jahren nach den Verletzungen auf. Dabei ist das klinische Bild variabel und betrifft verschiedene Bereiche der neurotraumatologischen Symptome. Die definitive CTE-Diagnostik wird retrospektiv festgestellt, da das wesentliche Diagnosekriterium die neuropathologische (post mortem) Untersuchung darstellt. Die vermuteten klinischen Anzeichen lassen sich in drei Kategorien einteilen: Verhaltensmerkmale/psychiatrische Merkmale, kognitive Veränderungen und motorische Funktionseinschränkungen. Typische Frühsymptome können Gangstörungen, verlangsamte Sprache, extrapyramidale Zeichen, neuropsychiatrische und Verhaltenssymptome, welche im zeitlichen Verlauf ausgeprägter werden. Unter neuropsychiatrischen Symptomen lassen sich Stimmungsschwankungen (Depressionen), Paranoia, Unruhe, sozialen Rückzug, beeinträchtigtes Urteilsvermögen und Aggression aufzählen. Tendenziell später auftretende kognitive Beeinträchtigungen umfassen Orientierungsprobleme, Erinnerungsschwierigkeiten, Sprachprobleme, Aufmerksamkeitsdefizite und Probleme der Informationsverarbeitung sowie Einschränkungen der exekutiven Funktionen und können sich im Verlauf verschlechtern. Die Symptome zeigen jedoch die wesentliche Problematik der Erkennung dar. Sie sind zugleich klinische Symptome anderer neurodegenerativer Erkrankungen, weswegen eine weitgehende Überlappung klinischer Zeichen vorliegt. (Gänsslen et al., 2016)

SHT ist als Risikofaktor für Morbus Alzheimer akzeptiert. Mehrfache SHT führen zu einem höheren Risiko einer amyotrophe Lateralsklerose (ALS), welche eine neurodegenerative Erkrankung ist. (Gänsslen et al., 2016)

2.1.4 Epidemiologie

Nachdem im vorherigen Kapitel die Definition und Pathophysiologie sportbedingter Kopfverletzungen dargestellt wurden, widmet sich dieses Unterkapitel der Epidemiologie. Dabei werden Häufigkeit, Verteilung sowie sport- und populationsspezifische Unterschiede beleuchtet, um das Ausmaß dieser Verletzungen im sportlichen Kontext einzuordnen.

Jährlich treten 1,6 bis 3,8 Millionen Gehirnerschütterungen bei Sport- und Freizeitaktivitäten auf (Langlois et al., 2006). Heilesen et al. (2024) beschrieben eine steigende Entwicklung der Inzidenz von SRC, speziell bei Sportlern von Kontakt- und Kollisionssportarten sowie jüngeren Athleten. Neben Athleten sind auch Soldaten, die möglicherweise verschiedenen Kopftraumata ausgesetzt waren, eine weitere relevante Patientengruppe (Zetterberg et al., 2013).

Die Häufigkeit von SRC variiert deutlich zwischen den einzelnen Sportarten. Folgend werden einige Übersichtsarbeiten aufgezählt. Sportarten mit der höchsten Häufigkeit von SRC pro 1000 Expositionen sind Rugby, American Football und Eishockey (Prien et al., 2018). Die Ergebnisse von Prien et al. (2018) werden von Zuckerman et al. (2015) unterstützt, welche die Sportarten Wrestling (Männer), Eishockey (Männer und Frauen), American Football (Männer) und Fußball (Frauen) mit höchster Inzidenz von SRC im Zeitraum der Saison 2009/10 – 2013/14 aufzählten. Insgesamt sind 6,2% der an die US-amerikanische ‚National Collegiate Athletic Association‘ (NCAA) gemeldeten Verletzungen in dem untersuchten Zeitraum SRC. Davon waren 9% wiederkehrend. Sportarten, bei denen der Anteil an wiederkehrenden Gehirnerschütterungen bei Sportlern am höchsten war, sind Eishockey (Männer), Feldhockey (Frauen), Basketball (Männer) und Fußball (Frauen). (Zuckerman et al., 2015) Daneshvar et al. (2011) untersuchten die Anzahl der Spieler einer Sportart und die Anzahl der SRC in den USA über den Zeitraum der Saison 1982/83 bis 2007/08. Einen erhöhten Anteil an allen Verletzungen nehmen SRC ($> 5\%$) in den Sportarten American Football, Eishockey, Lacrosse, Fußball, Basketball (Frauen) und Ski-/Snowboardfahren ein (Daneshvar et al., 2011). Zetterberg et al. (2013) erwähnten eine erhöhte Relevanz der Erkennung von Kopfverletzungen vor allem in Sportarten wie Boxen, Hockey, Rugby und American Football. Beaudouin et al. (2020) analysierten retrospektiv mithilfe von Videoanalyse während der Fußballsaison 2017/2018 der ersten deutschen Liga (Bundesliga, Männerfußball; 306 Spiele, 10098 Spielstunden) die Anzahl der Kopfverletzungsvorkommnisse. Insgesamt wurden 1362 Kopfverletzungsvorkommnisse beobachtet, wovon 29 Kopfverletzungen identifiziert werden konnten (2,1%). Davon sind 48% TBI. Zudem werden 17% der gesamten Kopfverletzungsvorkommnisse als ‚Verdacht auf Gehirnerschütterung‘ kategorisiert. (Beaudouin et al., 2021)

Zudem scheint auch das Leistungs- bzw. Spielniveau sowie der Aspekt Trainings oder Wettkampf eine Rolle zu spielen. McCuen et al. (2015) verglichen die Anzahl der Körpereinsätze sowie maximale translatorische Beschleunigung und Winkelbeschleunigung durch Einwirkungen auf den

Kopf im Laufe einer Saison von High School- und College-Fußballspielerinnen. Dabei erfahren Spielerinnen auf College-Niveau mehr als zwei Mal mehr Körpereinsätze als High School-Spielerinnen (durchschnittlich 4,59 vs. 2,05 Körpereinsätze pro Einheit). Auch die durchschnittliche maximale translatorische Beschleunigung war signifikant höher. In Folge dieser Beobachtungen und dem Fakt, dass College-Spielerinnen mehr Sporteinheiten absolvieren, ist die kumulative Exposition der maximalen translatorischen sowie Winkelbeschleunigung signifikant höher. (McCuen et al., 2015)

Generell ist die Anzahl der Kopfverletzungen in Wettbewerben höher als in Trainingseinheiten. Dabei ist jedoch die Häufigkeit der Trainingseinheiten im Gegensatz zu Wettbewerben zu berücksichtigen. Eine Ausnahme hierbei ist Cheerleading. Zudem erleiden Athleten auf College-Ebene häufiger Kopfverletzungen als Athleten auf High School-Ebene. Athletinnen weisen ein erhöhtes Risiko für SRC innerhalb einer Sportart auf. Des Weiteren scheinen Sportlerinnen mit einem erhöhten Risiko für kognitive Beeinträchtigung verbunden zu sein. (Daneshvar et al., 2011)

Zech et al. (2022) konnten das weibliche Geschlecht als Risikofaktor für Gehirnerschütterungen in einer systematischen Literaturrecherche nicht bestätigen. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern festgestellt werden. (Zech et al., 2022)

Die US-amerikanische National Football League (NFL) zeigt mit den Verletzungsdaten der Saison 2024 einen signifikanten Rückgang der Anzahl an SRC um 17% im Vergleich zur Saison 2023. Hierbei sind alle Trainingseinheiten, Spiele der Vorsaison (Preseason) und reguläre Saisonspiele enthalten. Des Weiteren kann die NFL eine große Sicherheitsverbesserung bei den auf dem Spielfeld getragenen Helmen verbuchen. Auch die neue Kickoff-Regel solle dazu beigetragen haben. (NFL Football Operations, o.D.)

Eine SRC könnte folglich aufgrund verschiedener Mechanismen im Zuge einer sportlichen Aktivität entstehen. Es scheinen Sportarten mit einem erhöhten Verletzungsrisiko verbunden zu sein, bei denen ein direkter Körperkontakt zwischen Athleten üblich ist. Aufgrund der Pathologie sowie den charakteristischen Merkmalen der Sportarten scheinen Risikofaktoren unter anderem Körperkontakt, schnelles Spiel und hohe Beschleunigungen zu sein.

2.2 Omega 3-Fettsäuren

Einen Teil der menschlichen Ernährung machen Fette aus. Fette haben gemein, dass sie lipophil sind (Stehle & Ellinger, 2024, S. 86). Mit einem Brennwert von 9,0 bis 9,3 kcal/g liefern Fette Energie (Biesalski et al., 2018, S. 131). Fette sind Ester unterschiedlich langkettiger Fettsäuren gebunden an den dreiwertigen Alkohol Glycerol (Glycerin) (Stehle & Ellinger, 2024, S. 88). Die physiko-chemischen und physiologischen Eigenschaften resultieren aus dem individuellen Fettsäuremuster (Matissek & Hahn, 2023, S. 51-52). Zudem lassen sich diese Fettsäuren anhand ihrer Anzahl der

Doppelbindungen kategorisieren. Omega 3-Fettsäuren zählen zu den mehrfach ungesättigten Fettsäuren (MUFS oder englisch PUFAs). Charakteristisch ist die Stellung der ersten Doppelbindung, welche sich, vom CH₃-Ende gesehen, zwischen dem dritten und vierten C-Atom befindet. Zu den langkettigen Omega 3-Fettsäuren gehören die α -Linolensäure (ALA), Eicosapentaensäure (EPA) und Docosahexaensäure (DHA). Die α -Linolensäure hat eine Kettenlänge von 18 C-Atomen sowie drei isolierten Doppelbindungen. Die Eicosapentaensäure hat eine Kettenlänge von 20 C-Atomen sowie fünf isolierten Doppelbindungen. Die Docosahexaensäure hat eine Kettenlänge von 22 C-Atomen mit sechs isolierten Doppelbindungen. (Stehle & Ellinger, 2024, S. 89-91) Beide Fettsäuren kommen in Kaltwasserfischen vor. Dazu gehören beispielsweise Makrele, Hering oder Lachs (Matissek & Hahn, 2023, S. 211). Sie können zudem aus Algen gewonnen werden (Stehle & Ellinger, 2024, S. 93). Die Fettsäure α -Linolensäure ist nur in pflanzlichen Ölen enthalten, zum Beispiel Hanf-, Raps-, Soja- und Walnussöl (Biesalski et al., 2018, S. 128).

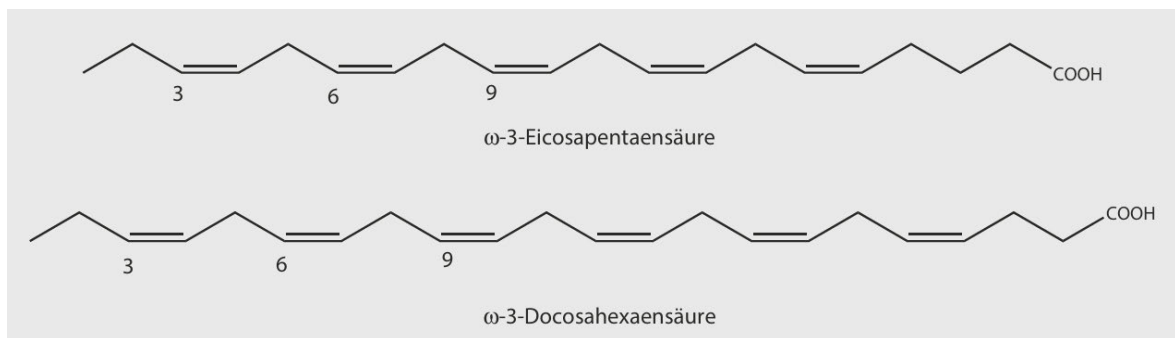


Abbildung 4 Skelettformeln der Fettsäuren EPA und DHA (Matissek & Hahn, 2023, S. 212)

ALA zählt zu den essenziellen Fettsäuren und muss regelmäßig durch die Nahrung aufgenommen werden, da der menschliche Körper diese nicht selbst synthetisieren kann. Es besteht allerdings die Möglichkeit einer endogenen Synthese von EPA und DHA aus ALA. Die Umwandlungsrate von ALA zu EPA liegt, je nach Quelle, bei 0,2-8% und von EPA zu DHA bei ca. 25% (bzw. <5% von ALA zu DHA). Das Zwischenprodukt wird als Docosapentaensäure (DPA) bezeichnet. Möglicherweise reicht diese Umwandlungsrate jedoch nicht für eine adäquate Versorgung aus, sodass sie im Gegensatz zu ALA als bedingt unentbehrlich gelten. (Stehle & Ellinger, 2024, S. 92-93)

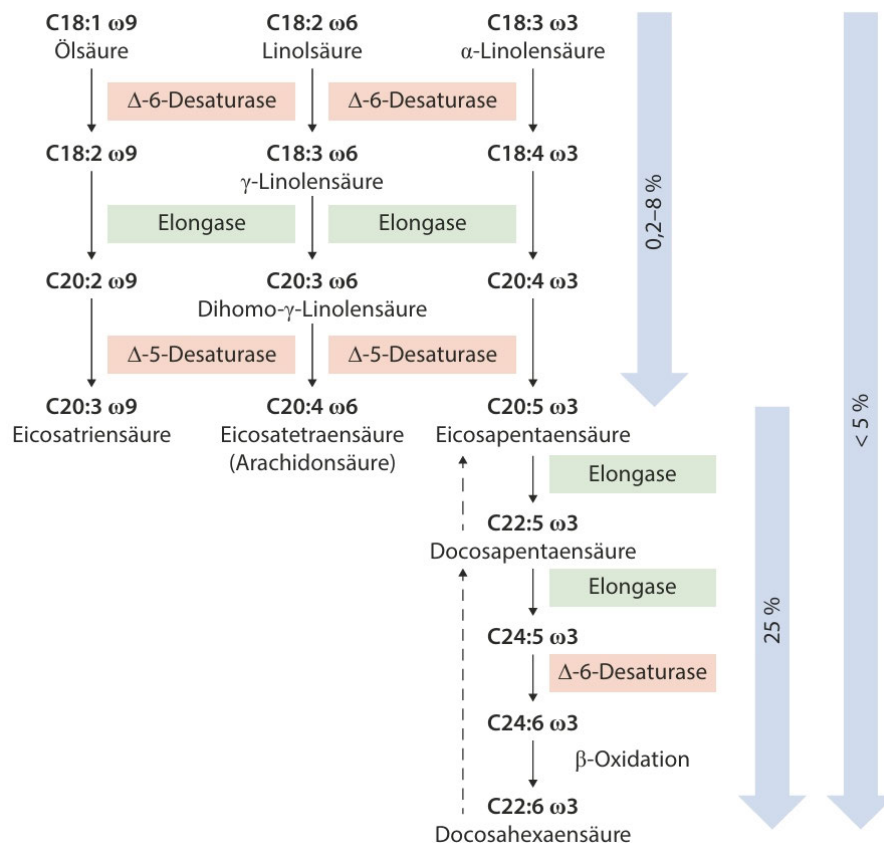


Abbildung 5 Endogene Modifikation von Fettsäurestrukturen (Stehle & Ellinger, 2024, S. 92)

Im menschlichen Körper findet die Umwandlung durch Elongierung und Desaturierung von ALA zu EPA, DHA vorwiegend in Leukozyten und in der Leber statt. Die dafür notwendigen Enzyme, Δ^5 - und Δ^6 -Desaturasen, wandeln sowohl Omega 6- als auch Omega 3-Fettsäuren um. Die Fettsäuren konkurrieren um die Enzyme, Jedoch werden die Omega 3-Fettsäuren als Substrat bevorzugt. Folglich hat die Ernährung einen Einfluss auf die Veränderung des Musters der ungesättigten Fettsäuren in der Membran. Dennoch hängt ihre Konzentration im Blut und im Gewebe wesentlich von der Ernährung ab. Demnach haben Menschen, die große Mengen an EPA und DHA verzehren, eine deutlich höhere Plasma- und Gewebekonzentration dieser Fettsäuren auf Kosten der ALA und Arachidonsäure. (Biesalski et al., 2018, S. 128-129)

Mehrfach ungesättigte Fettsäuren werden im menschlichen Körper vor allem für den Strukturaufbau und Organfunktionen verwendet (S.132) Spezifische Gewebe, wie zum Beispiel Retina, Gehirn und Hoden, sind reich an DHA. Die Fettsäure ist eine der wichtigsten Komponenten der Lipide im Gewebe des Gehirns (Phosphatidylethanolamin, Phosphatidylcholin und Phosphatidylserin). Bei wachsenden Organismen spielt die Zusammensetzung der Fette in der Nahrung hinsichtlich der Bildung von Strukturkomponenten des Gehirns eine bedeutende Rolle. In Tierversuchen konnte gezeigt werden, dass die Zusammensetzung der Nahrung in Abhängigkeit von DHA und EPA das kognitive Verhalten der Tiere beeinflussen konnte. (Biesalski et al., 2018, S. 129)

2.2.1 Aufnahme

Im Magen beginnt durch mechanische Emulgierung die Fettverdauung. In geringem Maß findet eine hydrolytische Spaltung von Fetten durch im Magensaft enthaltenen Verdauungsenzyme statt, beispielsweise aus der Zungengrunddrüse stammenden säurestabile Lipasen. Anschließend gelangen die Fette aus der Nahrung in den Dünndarm. (Biesalski et al., 2018, S. 134) Damit die Fette aus dem Darmlumen als Substrate absorbiert werden können, müssen sie verdaut werden (Stehle & Ellinger, 2024, S. 93). Entsprechend der chemischen Struktur sind Fette in Wasser umso schlechter löslich, je länger die Kettenlänge ihrer Fettsäuren ist (Matissek & Hahn, 2023, S. 203). Um die Darmwand passieren zu können, müssen sie jedoch hydrophil sein. Dies wird mithilfe der Micellenbildung erreicht. Demnach benötigen Fette (Triacylglycerole) und langkettige Fettsäuren eine vorhergehende Micellenbildung zur Absorption. (Biesalski et al., 2018, S. 136) Im oberen Dünndarm emulgiert die Gallensäure das Fett, wodurch die Lipasen aktiviert werden (Matissek & Hahn, 2023, S. 203).

Triacylglycerole werden im Darmlumen durch Kolipase und Lipase in freie Fettsäuren und 2-Monoacylglycerole gespalten. In die Micellen werden langkettige Fettsäuren, 2-Monoacylglycerol (2-MAG), Cholesterol und Lysophospholipide eingebaut. Folgend werden die Substrate aus den Micellen über verschiedene Transportweg in die Erythrozyten aufgenommen. Langkettige Fettsäuren nutzen einen carriervermittelten Transportweg. Im Enterozyt angekommen, werden die Substrate aus den Micellen freigegeben. Langkettige Fettsäuren und 2-MAG werden zu Triacylglycerol resynthetisiert. Triacylglycerole werden mit einer für den Weitertransport nötigen Eiweißhülle umgeben. Als Chylomikronen (Lipoproteine) können die Fette in die Lymphwege gelangen. (Biesalski et al., 2018, S. 134-136) Apolipoproteine, welche in Darmepithel- und Leberzellen synthetisiert werden, bezeichnen die Proteinkomponenten der Lipoproteine und ermöglichen den Transport im Blut durch ihre hydrophile Oberfläche. Die Lipoproteinkomplexe unterscheiden sich in ihrer Dichte. (Stehle & Ellinger, 2024, S. 95) Der Transport der Chylomikronen aus den Lymphwegen in den systemischen Blutkreislauf beginnt eine Stunde nach der Nahrungsaufnahme und hält, je nach Fettgehalt der Mahlzeit, mehrere Stunden an (Biesalski et al., 2018, S. 136). Im systemischen Blutkreislauf werden die Triacylglycerole durch endothelial verankerte Lipoproteinlipasen in ihre Bestandteile gespalten. Die freien Fettsäuren gelangen an ihr Zielorgan, wo sie weiter verstoffwechselt werden. (Stehle & Ellinger, 2024, S. 96-97)

2.2.2 Wirkung im menschlichen Körper

Fettsäuren mit mehr als 20 C-Atomen dienen als Substrate zur Bildung von oxidierten Metaboliten. Diese werden als Eicosanoide bezeichnet und wirken als lokale hormonähnliche Mediatoren. Zu ihnen zählen Prostaglandine, Prostacycline, Thromboxane und Leukotriene. Für die Bildung können die Enzymsysteme sowohl Arachidonsäure (Omega 6- Fettsäure) als auch EPA (Omega 3-Fettsäure) verwendet werden. Je nachdem, welche Fettsäure verwendet wird, wird die Wirkung der Mediatoren

bestimmt. Die Eicosanoide aus EPA und Arachidonsäure (ARA) haben vorwiegend kompetitive Funktionen. Prostanoiden und Leukotriene aus EPA und DHA wirken antithrombotisch, antiatherogen, antihypertensiv sowie antientzündlich. Das erklärt sich durch die vorwiegende Bildung von Thromboxan A₂ und Prostacyclin PGI₂ ohne Abnahme von PGI₂. (Biesalski et al., 2018, S. 133) Die blutdrucksenkende bzw. gefäßerweiternde Wirkung beugt Hypertonie vor und unterstützt die Vorbeugung koronarer Herzkrankheiten. Produkte der Arachidonsäure wirken vereinfacht negativ, beispielweise entzündungsfördernd, gefäßverengend oder gerinnungsfördernd. Entsprechend ist die Bildung der Eicosanoide von der Art und Menge der Fettsäurezufuhr abhängig. Eine arachidonsäurearme Ernährung bei gleichzeitig hohem Anteil an Omega 3-Fettsäuren wirkt entzündungshemmend. (Matissek & Hahn, 2023, S. 54) Es wird ein Verhältnis von 5:1 (Omega 6: Omega 3) empfohlen (Stehle & Ellinger, 2024, S. 104).

DHA weist im Gehirn sowohl strukturelle als auch funktionelle Funktionen auf. DHA gilt als unverzichtbar für die Entwicklung und normale Funktion des Gehirns, da es die wichtigste strukturelle Omega 3-Fettsäure im Gehirn ist und einen Großteil der Omega-3-Fettsäuren im Gehirn ausmacht. Die Fettsäure ist ein integraler Bestandteil der Phospholipide der Nervenmembranen. DHA ist beteiligt an der Fluidität der Zellmembran, Rezeptoraffinität und Modulation von Signaltransduktionsmolekülen. Das Gehirn benötigt DHA lebenslang, jedoch besonders in der Entwicklungszeit. Als strukturell wichtiger Bestandteil lässt sich DHA vor allem im präfrontalen Kortex und im Hippocampus finden. Diese Bereiche des Gehirns sind vor allem zuständig für ausführende Funktionen wie Lernen und Gedächtnis. Auch im alternden Gehirn spielt DHA eine wichtige Rolle, indem es den Alterungsprozess vermindert. Epidemiologische Studien zeigen eine vorteilhafte Auswirkung auf einen Marker für beschleunigte strukturelle Alterung. Jedoch ist auch eine generell erhöhte Plasmakonzentration von DHA assoziiert mit verbesserter kognitiver Leistung sowie vermindertem Risiko für Alzheimer. (Barrett et al., 2014)

2.2.3 Versorgungssituation

Laut der Nationalen Verzehrsstudie II von 2008 verzehren 16% Deutsche keinen Fisch (Max Rubner-Institut, 2008). Die mittlere tägliche Aufnahme von DHA und EPA liegt zwischen 127 mg (junge Frauen) und 295 mg (ältere Männer), während die Aufnahme in der 95. Perzentile für beide Gruppen bei 369 mg bzw. 827 mg liegt (Bundesinstitut für Risikobewertung, 2009).

Der Omega-3 Index beschreibt die Menge an EPA und DHA in Prozent der in den Erythrozyten enthaltenen Fettsäuren. Der Messwert soll Auskunft über das Risiko an koronaren Herzkrankheiten zu sterben geben. (Harris, 2010) Dabei wird ein Omega 3-Index von unter 4% mit einem hohen Risiko, von 4-8% mit einem mittleren Risiko und von über 8% mit einem geringen Risiko in Verbindung gebracht (Lust et al., 2023).

Armstrong et al. (2021) untersuchten die Omega 3-Fettsäure Status mit und ohne Supplementation bei Rugby-Spielern durch Ermitteln des Omega 3-Index und der Omega 3-Fettsäuren Aufnahme mittels Fragebogen (food frequency questionnaire) sowie einer Blutabnahme und -analyse. Ohne Supplementation wiesen 71,4% der männlichen Rugby-Athleten ein mittleres Risiko und 28,6% ein hohes Risiko auf. 25% der weiblichen Rugby-Athleten ohne Supplementation wiesen ein mittleres Risiko sowie 75% ein hohes Risiko auf. Durchschnittlich wiesen die Probanden einen Omega 3-Index von $4,48 \pm 1,12\%$ (Männer) bzw. $4,61 \pm 2,40\%$ (Frauen) auf. Je niedriger der Omega 3-Index, desto geringer der EPA und DHA-Verzehr aus der Nahrung. Der EPA-Verzehr lag in der Gruppe ohne Supplementierung bei den Athleten bei $0,05 \pm 0,03$ mg pro Tag (mit Supplementierung: 1272 ± 536 mg pro Tag) und bei den Athletinnen bei $0,07 \pm 0,07$ mg pro Tag (mit Supplementierung: 1189 ± 451 mg pro Tag). Der Verzehr von DHA lag ohne Supplementierung bei den Athleten bei $0,11 \pm 0,07$ mg pro Tag (mit Supplementierung: 636 ± 268 mg pro Tag) und bei den Athletinnen bei $0,16 \pm 0,14$ mg pro Tag (mit Supplementierung: 595 ± 226 mg pro Tag). Demnach erreichte keiner der Athleten ohne Supplementation die täglich empfohlene Zufuhr. (Armstrong et al., 2021)

Von Schacky et al. (2014) untersuchten den Omega 3-Index von 106 männlichen und weiblichen Elite-Winterausdauersportathleten, wobei jedoch nur ein Athlet ein geringes Risiko aufweist. Durchschnittlich konnte ein Omega 3-Index von $4,97 \pm 1,19\%$ gemessen werden (von Schacky et al., 2014). Anzalone et al. (2019) haben den Omega 3-Index von 404 NCAA American Football Athleten gemessen mit der Erkenntnis, dass 34% ein hohes Risiko, 66% ein mittleres Risiko und kein Athlet ein niedriges Risiko aufwiesen. Durchschnittlich betrug der Omega 3-Index aller Athleten $4,4 \pm 0,8\%$ (Anzalone et al., 2019). Lust et al. (2023) führten eine RCT durch, die die Dosisreaktion und den zeitlichen Verlauf einer DHA-Supplementierung über eine American Football Saison untersucht. Die Placebo-Gruppe wies im Laufe der Saison einen durchschnittlichen Omega 3-Index von ca. 4% auf (Lust et al., 2023). Mullins et al. (2024) führten eine RCT mit NCAA American Football Spielern durch, welche die Menge an mehrfach ungesättigten Fettsäuren im Plasma nach einer Supplementation von EPA und DHA untersuchte. Der Ausgangswert wurde mithilfe eines validierten Ernährungs- und Aktivitätsfragebogens ermittelt. Für die Placebo-Gruppe betrug der Ausgangswert für EPA $0,06 \pm 0,04$ g pro Tag und für DHA $0,13 \pm 0,08$ g pro Tag. Die Ausgangswerte der Supplement-Gruppe lagen bei $0,02 \pm 0,01$ g EPA pro Tag und $0,05 \pm 0,03$ g DHA pro Tag. (Mullins et al., 2024)

Zusammenfassend lässt sich erkennen, dass der Omega 3-Index sowie die Zufuhr von DHA und EPA durch die Ernährung bei Sportlern niedrig sind. Entsprechend weisen sie ein Risiko auf, an koronaren Herzkrankheiten zu sterben. Zudem lässt sich schließen, dass weitere gesundheitsförderliche Effekte der Omega 3-Fettsäuren nicht wirken können.

2.3 Nahrungsergänzungsmittel

Sowohl die Allgemeinbevölkerung als auch spezielle Bevölkerungsgruppen, wie Sportler, nutzen Nahrungsergänzungsmittel (NEM). Umfragen mit Sportlern ergeben eine hohe Prävalenz der Einnahme von NEM. (Maughan et al., 2018) Die Gründe für die Einnahme sind unterschiedlich. So sind Beweggründe für eine Einnahme beispielsweise schnell verfügbare Energie oder Makronährstoffe sowie Flüssigkeit, Ausgleich von Mikronährstoffdefiziten, direkte Leistungssteigerung und/oder indirekte Leistungssteigerung durch Erhöhung der Trainingskapazität oder Beschleunigung der Regenerationsfähigkeit. Jedoch bringt die Einnahme für Sportler nicht nur positiv versprochene Effekte mit sich, sondern birgt auch Risiken. (König & Carlsohn, 2025, S. 143)

2.3.1 Definition und Kategorisierung

In Deutschland unterliegt die Regelung von NEM der ‚Verordnung über Nahrungsergänzungsmittel‘ (NemV). Die Verordnung definiert NEM als Mittel, die allgemeine Ernährung zu ergänzen (§1 Abs. 1 Nr. 1 NemV). Ein NEM ist ein Konzentrat aus einem oder zusammengesetzten Nährstoffen oder sonstigen Stoffen, welche eine ernährungsspezifische oder physiologische Wirkung haben sollen (§1 Abs. 1 Nr. 2 NemV). Das NEM wird in dosierter Form, von beispielsweise Kapseln, Pastillen, Tabletten, Pillen, Pulverbeuteln, Flüssigampullen oder Flaschen mit Tropfeinsätzen, verkauft (§1 Abs. 1 Nr. 3 NemV). Nährstoffe sind im Sinne der Verordnung auch Vitamine, Mineralstoffe und Spurenelemente (§1 Abs. 2 NemV).

Nahrungsergänzungsmittel können als Untergruppe von Supplementen verstanden werden (König & Carlsohn, 2025, S. 144). Das Internationale Olympische Komitee (IOC) definiert im Konsensstatement über Supplemente bei Hochleistungssportlern Supplemente wie folgt: „A food, food component, nutrient, or non-food compound that is purposefully ingested in addition to the habitually consumed diet with the aim of achieving a specific health and/or performance benefit“ (Maughan et al., 2018, S. 439). Dabei kann in verschiedene Erscheinungsformen mit unterschiedlichem vorrangigen Nutzen unterschieden werden. Aufgeteilt werden kann laut IOC in funktionelle Lebensmittel, formulierte Lebensmittel und Sport-Lebensmittel, Produkte mit Nährstoffen oder anderen Komponenten von Lebensmittel oder pflanzlichen Produkten in konzentrierter Form oder Produkte mit mehreren Inhaltsstoffen der vorherig aufgezählten Formen. Ein funktionelles Lebensmittel ist ein mit zusätzlichen Nährstoffen angereichertes Lebensmittel. Formulierte Lebensmittel und Sport-Lebensmittel liefern Energie und Nährstoffe in einer praktischen Form, welche zur Unterstützung der allgemeinen Ernährung oder für die Nutzung während des Trainings ausgelegt sind (z.B. Sportgetränke, Riegel, Energiegels, flüssige Mahlzeitenersatzprodukte). (Maughan et al., 2018)

Das Australian Institute of Sport (AIS) teilt NEM gemäß des Evidenzgrades in vier Gruppen ein. Gruppe A weist wissenschaftliche Belege für die Verwendung in bestimmten Situationen unter Verwendung evidenzbasierter Protokolle. Neue und/oder uneindeutige wissenschaftliche Belege liegen für die Supplemente der Gruppe B vor. Hier sollte eine individuelle Überwachung erfolgen, um Erkenntnisse der wahrgenommenen Wirksamkeit oder Kontraindikation zu erlangen. Zudem können sie zur Anwendung bei bestimmten Athleten im Rahmen von Forschungs- oder klinischen Überwachungssituationen in Betracht gezogen werden. Für Supplemente der Gruppe C sind keine wissenschaftlichen Nachweise für einen Nutzen bzw. fehlen fundierte wissenschaftliche Untersuchungen, welche für eine weitere Einschätzung erforderlich sind. Gruppe D umfasst verbotene oder mit hohem Risiko für Verunreinigung mit dopingrelevanten Substanzen assoziierte Supplemente. (König & Carlsohn, 2025, S. 147)

2.3.2 Sicherheit von Nahrungsergänzungsmitteln

Für Sportler ist es von äußerster Wichtigkeit, dass Risiken für vermeidbare Nachteile einer Einnahme von NEM ausgeschlossen werden. Wenn eine überhöhte Zufuhr an Nährstoffen erfolgt, können gesundheitliche Risiken auftreten (König & Carlsohn, 2025, S. 163). Diese Wirkungen sind in der Regel gesundheitlich schädigend, beispielsweise Übelkeit, Oberbauchbeschwerden oder Konstipation in Folge einer überhöhten Einnahme von Eisen (Ziegenhagen et al., 2020). Die vermutlich leistungsfördernde oder Unterversorgung vorbeugende Absicht wird verfehlt und hingegen eine nachteilige Wirkung erzielt. Darüber hinaus sind ungewollte Wechselwirkungen von Inhaltsstoffen des NEM bei gleichzeitiger Medikamenteneinnahme gesundheitlich kritisch. Nicht zuletzt ist auch eine Verfälschung von Labortests durch die Einnahme von NEM mit hoher Dosierung problematisch. Labortests wie Doping-Kontrollen können positiv ausfallen aufgrund hoher Dosierung des NEM. Liste befinden. Eine Liste der Welt-Anti-Doping-Agentur (WADA) enthält verbotene Substanzen und Methoden, um den Wettkampfsport und Sportler zu schützen, und wird jährlich aktualisiert. Schätzungsweise werden weltweit 6 – 9% der Dopingfälle als unbeabsichtigt eingeschätzt, aufgrund von beispielsweise verunreinigten Supplementen. Im Gegensatz zu Arzneimitteln unterliegen NEM keinen regelmäßigen Qualitätskontrollen, welche Sicherheit, Reinheit und Wirksamkeit überprüfen. Problematisch sind unabsichtliche Kontaminationen durch unsaubere Rohstoffe oder Verarbeitungsprozesse sowie absichtliche Kontaminationen zur Effektsteigerung des NEM. Des Weiteren kann eine missverständliche Etikettierung bzw. Deklaration, durch Verwendung von Synonymen der sich auf der Liste der WADA befindenden Substanzen, ein Risiko für die korrekte Einschätzung darstellen. (König & Carlsohn, 2025, 163; 170-171)

Sollte eine Einnahme von NEM erwogen werden, beispielsweise mithilfe des Entscheidungsbaums des IOC, sollten die Höchstmengen und die empfohlene Zufuhr eingehalten, Kontaminationen

möglichst vermieden und der Athlet aufgeklärt werden. Es ist sinnvoll, sich nach einer Kontaminationskontrolle durch eine unabhängige Institution zu erkundigen. Angebote wie die *Kölner Liste* bieten Abhilfe für Athleten im deutschsprachigen Raum. Auch Präparate, welche von pharmazeutischen Unternehmen stammen, weisen ein geringeres Risiko für unbeabsichtigte Kontamination auf. (König & Carlsohn, 2025, S. 172-173)

2.3.3 Omega 3 als Supplement

Die AIS stuft Fischöl (DHA, EPA) in die Gruppe B ein (AIS). Folglich kann eine Verwendung als Supplement in Einzelfällen erwogen werden. (König & Carlsohn, 2025, S. 148) Im Konsensstatement der IOC werden Omega 3-Fettsäuren als NEM, welches die Trainingskapazität, Erholung, Muskelkater und das Verletzungsmanagement unterstützen können aufgeführt. Es wird eine Supplement-Dosis von 2 g pro Tag genannt, welche mit verbesserter kognitiver Verarbeitung, Heilung nach mTBI, Erholung oder reduzierten Symptomen nach muskelschädigendem Training und erhöhter Muskelproteinsynthese verbunden wird. (Maughan et al., 2018)

Fischöhlhaltige NEM enthalten meist zwischen 150 und 300 mg DHA/EPA pro Kapsel bzw. bis zu insgesamt 600 mg DHA und EPA als Ethylester pro Kapsel. Die Verzehrsempfehlung für NEM liegt bei 150 bis 1800 mg EPA/DHA pro Tag. Fischöl bzw. EPA/DHA als Ethylester wird bereits, jedoch als Arzneimittel, bei Versagen einer diätetischen Behandlung zur Senkung eines erhöhten Triglyzeridspiegels eingesetzt. Die Dosierung liegt bei 4-20 Kapsel pro Tag mit folglich ca. 400-2500 mg EPA bzw. 300-2000 mg DHA pro Tag. Es gibt unterschiedliche Höchstmengen, welche sich an unterschiedlichen Aspekten orientieren, allerdings keine endgültige Höchstdosierung. Zu diesen Aspekten gehören eine verlängerte Blutungszeit, Auswirkungen auf die Glukosehomöostase und eine Erhöhung des LDL-Cholesterinspiegels im Plasma. (Bundesinstitut für Risikobewertung, 2009)

Der Verzehr von Fischöl bzw. EPA beeinflusst, wie in Kapitel 2.2.1 beschrieben, die Produktion von Eicosanoiden. Die Produktionsregulierung von proentzündlichen und immunregulatorischen Cytokinen wird üblicherweise als positiv entzündungshemmend bewertet. Allerdings bedeuten diese Effekte auch eine Schwächung der Immunantwort auf Krankheitserreger (Bundesinstitut für Risikobewertung, 2009). Gerade für Sportler würde es einen kritischen Effekt darstellen, weil das Immunsystem aufgrund von anstrengenden Trainingseinheiten oder während anstrengenden Trainingsphasen geschwächt ist und eine zusätzlich potenziell geschwächte Immunantwort auf Krankheitserreger das Risiko für Krankheit erhöht.

2.4 Potenzielle Wirkmechanismen

Präklinische Studien lieferten erste Ergebnisse zu Effekten auf den Heilungsprozess einer SRC. Es konnten potenzielle Wirkmechanismen herausgearbeitet werden. Traumatische Kopfverletzungen weisen eine multifaktorielle Verletzungskaskade auf. Eine Supplementierung mit MUFAs könnte mehrere Aspekte dieser molekularen Wege adressieren und folglich den Heilungsprozess fördern (Barrett et al., 2014); (Patch et al., 2021).

Barrett et al. (2014) inkludierten in ihrem systematischen Review ausschließlich Tierversuchsstudien und untersuchten die Effekte einer Omega 3-Supplementation als therapeutische und präventive Maßnahme im Heilungsprozess nach einer mTBI. Die analysierten Studien zeigen konsistent, dass eine Supplementation vor einer mTBI eine protektive Wirkung auf das Gehirn entfaltet. Beobachtet wurden eine geringere strukturelle Schädigung der Axone, eine reduzierte neuronale Apoptose sowie eine Abschwächung kognitiver Defizite. (Barrett et al., 2014) Lust et al. (2020) kamen auch zu diesen Ergebnissen. Zudem wurde festgestellt, dass der DHA-Gehalt im Gehirn nach einer Verletzung vermindert ist, was auf einen erhöhten Bedarf während des Heilungsprozesses hindeutet (Barrett et al., 2014). Guo et al. fanden mittels Massenspektrometrie (Bildgebungsverfahren des Gehirns) heraus, dass 24 Stunden nach der Verletzung DHA und DHA-haltigen Lipide die verletzten Gehirnareale fluten (Guo et al., 2017). Die Rolle von EPA ist vermutlich jedoch untergeordnet, da im Gehirn vor allem DHA enthalten ist (zu diesem Schluss kommen auch Lust et al. (2020)) und eine wichtige Rolle für die Entwicklung des Gehirns und kognitiven Funktionen im Laufe des Lebens hat. Auch eine kurative Supplementation nach einer mTBI führte zu einer Reduktion axonaler Schädigungen und Apoptose, gemessen anhand der Biomarker Amyloid-Vorläuferprotein und Caspase-3. Diese Effekte zeigten sich sowohl bei der Gabe von DHA allein als auch in Kombination mit EPA. Zusammenfassend schlussfolgerten Barrett et al., dass eine präventive und/oder kurative Supplementation mit Omega 3-Fettsäuren die axonale und neuronale Schädigung sowie inflammatorische Prozesse nach einer mTBI bei Ratten reduziert. Auf mechanistischer Ebene adressiert eine Omega 3-Supplementation mehrere pathophysiologische Prozesse der posttraumatischen Verletzungskaskade. Nach einer mTBI kommt es zu einem gestörten Energiemetabolismus mit mitochondrialer Dysfunktion und erhöhtem oxidativem Stress, der zu Membranschäden und funktionellen Defiziten beiträgt. Demnach ist die Wiederherstellung sowie Reduzierung des oxidativen Stresses für den Heilungsprozess wichtig. Eine Supplementation nach der Verletzung konnte den oxidativen Stress reduzieren. Dies wird durch eine verminderte Lipidperoxidation sowie eine stabilere Expression von Markern der Membranstabilität und antioxidativen Abwehr (Mangan-Superoxid-Dismutase, Ca-unabhängige Phospholipase A2 und Syntaxin-3) belegt ist. Zudem wurde eine Normalisierung zentraler Komponenten des Energiestoffwechsels beobachtet. Eine Normalisierung des gestörten Energiestoffwechsels, einschließlich AMP-aktivierter Proteinkinase, phosphorylierter AMP-aktivierter Proteinkinase und

ubiquitärer mitochondrialer Kreatinkinase, wird durch eine Supplementation mit MUFAs nach einer traumatischen Kopfverletzung bewirkt. Ergänzend zeigen Tiermodelle, dass eine Supplementation die durch die mTBI beeinträchtigte Neurotransmitterfreisetzung, insbesondere von Dopamin, wiederherstellen kann, was für Lern- und Gedächtnisprozesse relevant ist. Die beeinträchtigte Neurotransmitterfreisetzung könnte eine Erklärung für die funktionellen Defizite nach einer mTBI sein. Jedoch können weitere molekulare Wege ebenfalls die kognitiven Funktionen beeinflussen. Eine Möglichkeit ist der BDNF-Signalweg (Brain-derived neurotrophic factor), welcher durch die Modulation von Synapsin I und dem cAMP-Response-Element-Bindungsprotein (CREB) die synaptische Übertragung und die kognitive Funktion unterstützt. Demnach könnte die Wiederherstellung bzw. Aufrechterhaltung der kognitiven Funktionen ebenfalls durch die BDNF-Signalisierung beeinflusst werden. Eine Studie zeigte bei einer präventiven Supplementation eine mildernde Wirkung der Reduktion von BDNF, Synapsin I und CREB. Der BDNF-Signalweg untermauert die Plausibilität, dass die Supplementation den Heilungsprozess fördert. Entsprechend zeigten präventiv und kurativ supplementierte Tiere in Verhaltenstests eine verbesserte räumliche Lernfähigkeit und kognitive Leistung. Die kognitiven Funktionen wurden bei Tierversuchen mit präventiver Supplementation mittels des „water maze“-Test untersucht. Bei kurativer Supplementation wurden der „water maze“-Test und „Barnes maze“-Test verwendet. Eine Studie untersuchte präventive sowie im Verlauf mehrerer mTBI fortlaufende Supplementation mit DHA und EPA. Sie zeigte eine verbesserte kognitive Leistung und räumliches Gedächtnis, sowie eine Förderung der Wiederherstellung des Körpergewichts nach einer Verletzung. (Barrett et al., 2014)

Patch et al. (2021) führten einen systematischen Review durch, in dem sie neurologische und kognitive Parameter von Tierversuchen mit mTBI anhand Verhaltenstests verglichen. Im Verlaufe der Zeit nach einer mTBI wurden neurologische Funktionen, Lern- und Gedächtnisleistung sowie motorischer Koordination zwischen mit Omega 3 supplementierten Ratten mit einer Kontrollgruppe verglichen. Der „water maze“-Test untersucht die Lern- und Gedächtnisfähigkeit bei Nagetieren. Eine schnellere Zeit deutet auf eine Verbesserung der kognitiven Funktion hin. „Water maze“-Tests zeigten nach Tag eins, zwei und vier signifikante Unterschiede zugunsten der Versuchsgruppe. Der „Rotarod“-Test misst die Bewegungsfähigkeit der Nagetiere. Drei Tage nach der Verletzung lag kein signifikanter Unterschied vor. An Tag sieben und 14 wurden signifikante Vorteile dokumentiert. Der „Beam Walking“-Test untersucht die motorische Koordination. An den Tagen eins und zwei nach einer mTBI war kein signifikanter Unterschied zu beobachten. An Tag vier wurde eine signifikante Verbesserung dokumentiert. Alle Ergebnisse der zusammengefassten Studien zeigten über alle Zeitpunkte eine längere Zeit für die Aufgabenbewältigung der Tests von Ratten ohne Supplementierung mit Omega 3-Fettsäuren im Gegensatz zu mit Omega 3-Fettsäuren supplementierten Ratten. Zudem wurde ein neurologischer Score kalkuliert. Der neurologische Score setzt sich aus motorischen, sensorischen, Reflex- und Gleichgewichtsfaktoren zusammen. Einen Tag

nach einer mTBI wurden keine signifikanten Unterschiede bezüglich des neurologischen Scores beobachtet. Dahingegen wurden an Tag sieben, 14 und 21 signifikante Verbesserung der Versuchsgruppe erfasst. Die Versuchsgruppe zeigte signifikant bessere Outcomes in neurologischer sowie kognitiver Funktion nach einer mTBI im Vergleich zur Kontrollgruppe. (Patch et al., 2021)

Insgesamt stützen die präklinischen Daten die Hypothese, dass MUFAs, insbesondere DHA, durch die gleichzeitige Beeinflussung struktureller, metabolischer und funktioneller Prozesse den Heilungsprozess nach einer mTBI fördern kann. (Lust et al., 2020; Barrett et al., 2014; Patch et al., 2021)

2.5 Zielstellung der Arbeit

Die Epidemiologie von SRC ist geprägt von hohen Fallzahlen und sportartspezifischen Unterschieden. In den USA erleiden jährlich rund 1,7 Millionen Menschen eine TBI, während bei Sport- und Freizeitaktivitäten 1,6–3,8 Millionen Gehirnerschütterungen auftreten. Verschiedene Sportarten, speziell Kontaktsportarten wie Rugby, American Football, Eishockey und Wrestling, weisen hohe Inzidenzen auf. Diesbezüglich beeinflussen Trainingseinheiten, Leistungsniveau und Geschlecht die Häufigkeit von SRC. Traumatische Kopfverletzungen haben nicht nur akute Symptome, sondern auch langfristige Folgen. Wiederholte Kopfverletzungen erhöhen das Risiko für neurodegenerative Erkrankung wie CTE, ALS und Alzheimer. Dessen Symptome betreffen Kognition, Stimmung, Verhalten und Motorik. Derzeitige Behandlungen und Therapien sind begrenzt, was an der multiperspektivischen Natur von TBI und mTBI liegt. Omega 3-Fettsäuren zeigen eine Vielzahl gesundheitsfördernder Wirkungen, darunter antiinflammatorische, antithrombotische, antiatherogene, antihypertensive sowie antientzündliche Effekte. Des Weiteren weist DHA eine wichtige Rolle im Gehirn. Omega 3-Fettsäuren haben das Potential den Heilungsprozess nach einer TBI von Ratten zu verbessern. Diese neuroprotektiven Ergebnisse aus Tierversuchsstudien und bisher fehlende therapeutische Interventionen, um den Heilungsprozess und langfristige Risiken potenziell zu vermindern, erfordern repräsentative Humanstudien.

Somit befasst sich diese Arbeit mit folgender Fragestellung:

Welche Effekte hat eine Omega 3-Supplementation auf den Heilungsprozess sportbedingter Kopfverletzungen bei Sportler*innen?

Damit diese Forschungsfrage beantwortet werden kann, wird folgend eine systematische Literaturrecherche durchgeführt. Das methodische Vorgehen wird im folgenden Kapitel beschrieben. Anschließend werden die Studienergebnisse zusammengefasst und diskutiert. Abschließend werden die Limitationen der Arbeit aufgeführt und eine Schlussfolgerung gezogen.

3 Methode

Zur Beantwortung der Forschungsfrage, welche Effekte eine Omega-3 Supplementation auf den Heilungsprozess sportbedingter Kopfverletzungen bei Sportlern hat, wurde eine systematische Literaturrecherche mittels der wissenschaftlichen Datenbank PubMed durchgeführt. Dafür wurden zuerst Ein- und Ausschlusskriterien formuliert, eine Stichwort- und Synonym-Tabelle erstellt und eine Suchstrategie entwickelt. Die Literaturrecherche sowie die schlussendlich eingeschlossenen Studien wurden mittels eines Prisma Flow-Charts dokumentiert.

3.1 Ein- und Ausschlusskriterien

Für die Auswahl der Studien zur Beantwortung der Forschungsfrage wurden Ein- und Ausschlusskriterien mithilfe des PICOS-Schemas formuliert. Dabei steht PICOS für Population, Intervention, Comparison (dt. Vergleich), Outcome (dt. Ziel) und Study Design (dt. Studiendesign) (Manual Systematische Recherche für Evidenzsynthesen und Leitlinien, 2020). Diese Zuordnung ermöglicht anschließend die konkrete Identifizierung von Stichworten für die folgende Literaturrecherche.

Tabelle 1 Ein- und Ausschlusskriterien der systematischen Literaturrecherche mittels PICOS-Schemas

	Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
Population	Gesunde Athleten (14-65 Jahre) einer Sportart, welche ein Risiko für SRC aufweist	Kinder (< 14 Jahre)), Senioren (> 65 Jahre), Nicht-Sportler, Personen mit Krankheiten, Tierversuchsstudien
Intervention	Supplementation mit - mindestens DHA - DHA, EPA - DHA, EPA, DPA - Omega 3-Fettsäuren (DHA, EPA, ALA); In jeglicher chemischen Form - Ethylester - Triglyceride - re-esterifizierte Triglyceride - o.ä.; oder Darreichungsform - Kapseln - Öl - o.ä.	Supplementation mit anderen Substanzen, Fettsäuren; Omega 3 aus der Ernährungszufuhr, Erhöhung des Verzehrs von spezifischen Lebensmitteln

Comparison	Placebo-Gruppe	Keine Kontrollgruppe
Outcome	- Tage bis zur Rückkehr zum Sport/Lernen - Biomarker, wie NfL, IL-6, Gesamt-tau, CSF:serum albumin - Symptome, -schwere (SCAT-Test); Tage bis zur Symptomfreiheit - Gehirnbildgebung	Andere Parameter, die nicht den Heilungsprozess betreffen
Study design	Randomisiert kontrollierte Studien (RCTs)	Keine RCTs

Die eingeschlossenen Studien sind auf randomisiert kontrollierte Studien begrenzt, da sie die höchste Evidenz aufweisen. Randomisierung soll Bias durch zufällige Zuweisung (Randomisierung) zwischen Interventions- und Kontrollgruppe reduzieren. So werden Unterschiede zwischen Gruppen minimiert, die nicht durch die Intervention verursacht werden. Dies erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass beobachtete Effekte tatsächlich auf die Intervention zurückgehen. Kontrollierte Bedingungen durch eine Kontrollgruppe soll Verzerrungen von Intervention und auftretenden Effekten verringern bzw. lassen sich Ereignisse der Interventionsgruppe klarer dem Interventionseffekt zuordnen. Zudem soll der „Placebo-Effekt“, also die Erwartung eines Effekts, minimiert werden. Demnach sollen eingeschlossene Studien eine Placebo-Gruppe aufweisen. Eine zeitliche Eingrenzung des Veröffentlichungsjahres wurde nicht vorgenommen, weil davon ausgegangen werden kann, dass eine geringe Anzahl Humanstudien des Themenfeldes vorhanden sind. Es werden sowohl englisch- als auch deutschsprachige Studien einbezogen.

Die zu untersuchende Population wurde eingegrenzt auf gesunde Jugendliche und Erwachsene zwischen 14 und 65 Jahre alt, welche als Athleten gelten. Diese Eingrenzung wurde vorgenommen, um beispielsweise altersbedingte oder krankheitsbedingte Störfaktoren zu minimieren. Es existieren zwei vorherrschende Definitionen, die einen Athleten charakterisieren. Araujo und Scharhag (2016) beschreiben einen Athleten anhand von vier Kriterien. Der Sportler muss eine Verbesserung seiner sportlichen Performance bzw. seiner Ergebnisse anstreben. Zudem muss er aktiv an sportlichen Wettbewerben teilnehmen, sowie einem lokalen, regionalen oder nationalem Sportverband angehörig sein. Nicht zuletzt sollten Training und Wettkämpfe seine Hauptaktivität des Lebens oder Hauptfokus des persönlichen Interesses sein. Dies solle mehrere Stunden an allen oder den meisten Tagen für entsprechende Aktivitäten im Gegensatz zu anderen professionellen oder Freizeit-Tätigkeiten beanspruchen. (Scharhag & Araújo, 2016) Mettler et al. (2009) definieren Athleten hingegen als

Sportler, die an den meisten Tagen trainieren und ein Trainingsvolumen von größer gleich fünf Stunden pro Woche haben. Zudem ist es notwendig, dass die Sportler eine Sportart ausüben, bei der ein Risiko für Kopfverletzungen besteht, wie in Kapitel 2.1.3 beschrieben. Tierversuchsstudien wurden ausgeschlossen.

Die Intervention der eingeschlossenen Studien sollte mindestens eine Supplementation mit der Omega 3-Fettsäure DHA sein. Dies begründet sich in der Rolle von DHA im Gehirn (siehe Kapitel 2.2.2). Weitere mögliche Kombinationen sind beide tierischen Omega 3-Fettsäuren EPA und DHA sowie alle Omega 3-Fettsäuren (EPA, DHA, ALA). Auch möglich ist eine Supplementation des Zwischenproduktes Docosapentaensäure (DPA). Dabei ist die Darreichungsform irrelevant. Die Supplementierung kann in Form von Kapseln, Öl oder ähnlichem erfolgen. Die chemische Form der mehrfach ungesättigten Fettsäuren stellt kein Ausschlusskriterium dar. Folglich wurden alle Studien ausgeschlossen, welche mit anderen Substanzen oder Fettsäuren supplementieren oder keine Supplementation aufweisen bzw. die tägliche Ernährung analysieren.

Relevante Outcome-Parameter für die Beantwortung der Forschungsfrage sind alle den Heilungsprozess quantifizierenden Parameter. Dies können zum einen Tests, wie der SCAT-Test, oder Messgrößen, wie ‚days to return to sport‘ (dt. „Tage bis zur Rückkehr zum Sport“) oder ‚days to return to learn‘ (dt. „Tage bis zur Rückkehr zum Lernen“) sein (beschrieben in Kapitel 2.1.2). Weitere Parameter sind verschiedene Biomarker (beschrieben in Kapitel 2.1.2). Zu diesen Biomarkern gehören beispielsweise NfL, IL-6, Gesamt-tau und CSF:serum albumin. Auch Gehirnbildgebung können Aufschluss über den Heilungsprozess geben und stellen daher ein Einschlusskriterium bezüglich des Outcome-Parameter dar. Die Scans sollen Aufschluss über die Indikatoren der Integrität der weißen Substanz geben. Studien, welche hingegen nur den Omega 3-Index, die Fettsäurezusammensetzung des Plasmas oder andere Parameter untersuchen wurden ausgeschlossen.

3.2 Stichwort und Synonym Tabelle

Die Formulierung von Stichwörtern ist für eine sorgfältige Literaturrecherche sowie Beantwortung der Forschungsfrage hilfreich. Das im vorherigen Kapitel aufgeführte PICOS-Schema dient Grundlage zur Identifikation von Schlagwörtern für die Recherche. Für die Stichwörter können zudem Synonyme erfasst werden. In den folgenden zwei Tabellen sind Stichwörter und Synonyme in Deutsch sowie Englisch aufgeführt.

Tabelle 2 Deutsche Stichwort- und Synonymtabelle

Stichwörter	Synonyme
Omega 3-Fettsäure	Omega-3, Omega-3-Fettsäure, Omega-3 Fettsäure, n-3 Fettsäure, n-3, Docosahexaensäure, DHA, Eicosapentaensäure, EPA
Supplementation	Einnahme, Gabe
Athleten	Sportler
Kontaktsportarten	American Football, Fußball, Eishockey
Heilungsprozess	Heilung, Neurofilament light, NfL, IL-6, SCAT-Test
Gehirnerschütterung	Schädel-Hirn-Trauma, SHT, Schädel-Hirn-Verletzung, Kopfverletzung, sportbedingte Kopfverletzung, leichte Gehirnerschütterung

Tabelle 3 Englische Stichwort- und Synonymtabelle

Keywords	Synonyme
Omega-3 fatty acid	Omega-3, n-3 fatty acid, n-3, docosahexaenoic acid, DHA, eicosapentaenoic acid, EPA, fish oil
Supplementation	Treatment, intake
Athletes	Players?
contact sports	American football, soccer, ice hockey, ...
Recovery	Neurofilament light, NfL, IL-6, SCAT-Test, ...
Concussion	Sportrelated concussion, sport-related concussion, SRC, head trauma, traumatic brain injury, TBI, mild traumatic brain injury, mTBI, subconcussive injury, SCI, subconcussive impact, head impacts, repetitive sub-concussive head impacts, rSHIs, brain

3.3 Suchstrategie

Die Datenbank PubMed ist eine der größten Datenbanken im medizinischen und Life Sciences Bereich und wurde aus diesem Grund für die Literaturrecherche ausgewählt. Im Folgenden wird die Suchstrategie in PubMed dargestellt. Die genauen Suchbegriffe, Anzahl der Treffer sowie der ggf. gewählten Filter sollen den Suchvorgang anschaulich darstellen und eine Reproduzierbarkeit ermöglichen.

Die Filterfunktion wurde bezüglich der Sprache und des Publikationsjahres nicht eingeschränkt. Es wurde jedoch entsprechend den Einschlusskriterien der Filter „Randomized Controlled Trial“ (RCT) verwendet. Die Stichwörter wurden mithilfe der Booleschen Operatoren kombiniert, um eine präzise

Suche zu ermöglichen. Die folgende Tabelle zeigt die verwendeten Suchstrings und entsprechender Trefferanzahl.

Tabelle 4 Dokumentation der Suchstrings und Trefferanzahlen

Suchstring	Filter	Trefferanzahl	Extrahierte Studien
Sportrelated concussion	/	1742	/
	RCT	29	29
(sportrelated concussion) AND (omega 3)	/	4	4
((sportrelated concussion) OR (head trauma)) AND ((omega 3) OR (docosahexaenoic acid))	/	213	/
	RCT	7	7
((sportrelated concussion) OR (concussion) OR (traumatic brain injury) OR (head trauma)) AND ((omega 3) OR (docosahexaenoic acid) OR (fish oil) OR (n-3))	/	1173	/
	RCT	25	25
(head impact) AND (DHA)	/	47	/
	RCT	9	9
(Docosahexaenoic acid) AND (treatment) AND ((concussion) OR (sportrelated concussion))	/	18	18
(Docosahexaenoic acid) AND (recovery) AND ((concussion) OR (head impact))	/	11	11
(Docosahexaenoic acid) AND ((recovery) OR (Neurofilament light)) AND ((concussion) OR (sportrelated concussion) OR (head impact) OR (subconcussive injury))	/	15	15

3.4 PRISMA Flow-Chart

Die folgende Abbildung zeigt die Identifikation der eingeschlossenen Studien der systematischen Literaturrecherche. Eine Dokumentation mittels PRISMA-Flow Chart ermöglicht eine nachvollziehbare und wiederholbare Veranschaulichung des Auswahlprozesses (Manual Systematische Recherche für Evidenzsynthesen und Leitlinien, 2020). Die Datenbank-Recherche erfolgte am 15. Januar 2026.

Aus der Datenbanksuche wurden 118 Studien in Excel exportiert und anschließend Duplikate entfernt. 84 Studien wurden anhand des Titels gescreent. Anschließend wurden 21 geeignete Studien anhand des Abstracts bewertet. Die Ausschlussgründe waren vor allem die untersuchte Population, das Studiendesign und für die zu beantwortende Forschungsfrage irrelevante Parameter.

Schlussendlich wurden sieben Studien für die Volltext-Analyse ausgewählt. Zwei Studien wurden im Zuge des Volltext-Screenings ausgeschlossen, da der Outcome-Parameter unzureichende Rückschluss auf den Heilungsprozess bietet. Es konnten vier randomisiert kontrollierte Studien identifiziert werden. Heileson et al. (2021) erfüllt das Kriterium der Randomisierung nicht. Sie wurde allerdings aufgrund der begrenzten Studienlage eingeschlossen. Die fehlende Randomisierung wurde bei der Bewertung der Studienergebnisse beachtet und im Folgenden in Bezug gesetzt. Mittels Handrecherche konnte eine weitere Studie gefunden werden. Die Studie von Bica (2018) ist eine randomisiert kontrollierte Studie, welche mittels Verweises in der Studie von Barret et al. (2014) gefunden wurde. Zugang zur Studie konnte über die Webseite *clinicaltrials.gov* und der *clinicaltrials.gov* ID erhalten werden. Demnach konnten insgesamt sechs Studien identifiziert und analysiert werden.

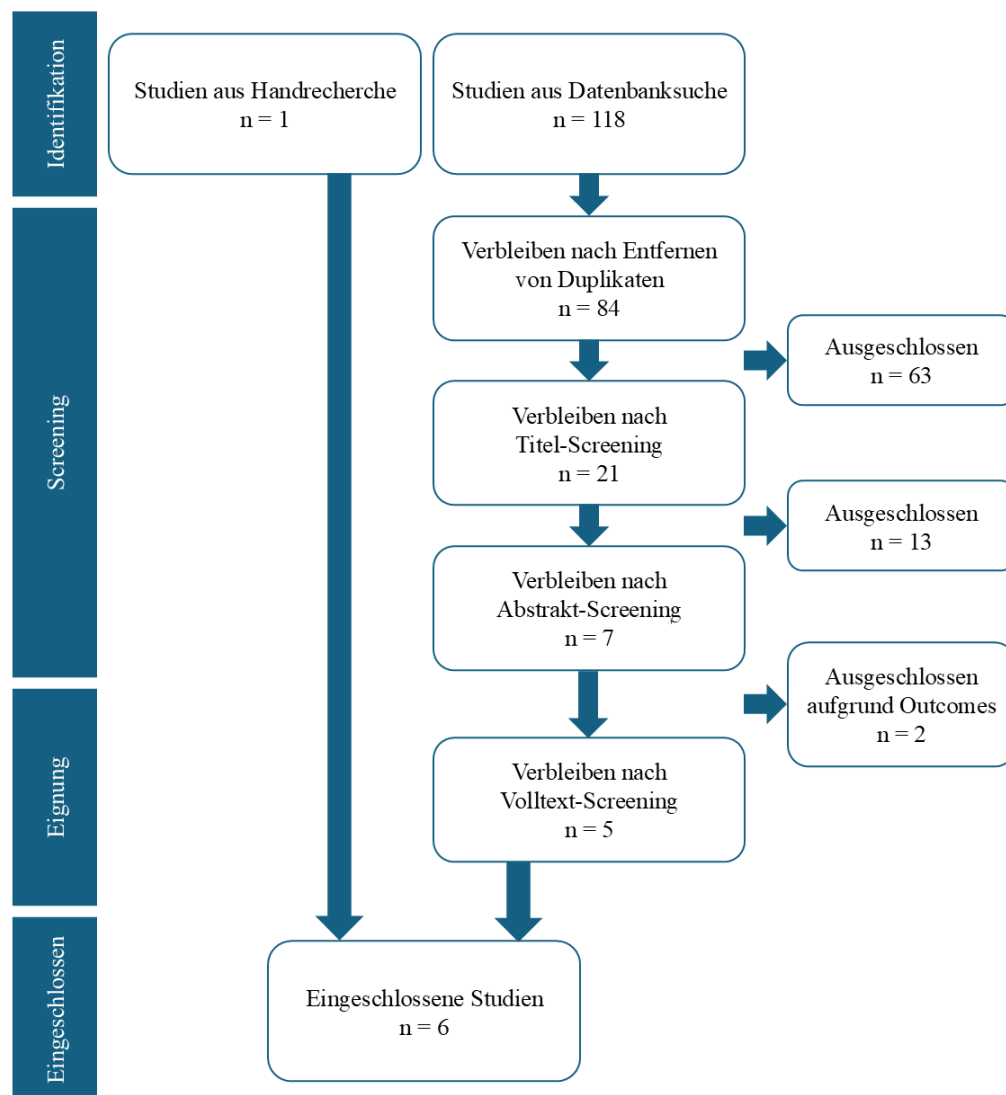


Abbildung 6 PRISMA-Flow-Chart

4 Ergebnisse

Insgesamt sechs Studien wurden mittels systematischer Literaturrecherche identifiziert. Diese soll bei der Beantwortung der Forschungsfrage helfen, welche Effekte eine Omega-3 Supplementation auf den Heilungsprozess sportbedingter Kopfverletzungen bei Sportlern hat. Im Folgenden werden diese Studien mittels des PICOR-Schemas veranschaulicht, was eine übersichtliche Aufführung der inkludierten Studien, der jeweils angewandten Interventionen sowie Ergebnisse ermöglicht. Das PICOR-Schema steht dabei für Population, Intervention, Control (dt. Kontrolle), Outcome (dt. Ziel), Result (dt. Ergebnis) (Manual Systematische Recherche für Evidenzsynthesen und Leitlinien, 2020). Die Studien sind in der Reihenfolge zufällig aufgeführt und stellt keine Wertung dar.

Tabelle 5 Ergebnisdarstellung mittels PICOR-Schemas

Autor, Jahr	Popu- lation	Intervention	Kontrolle	Outcome	Resultat
Mullins et al., 2022	n = 29	3,5 g pro Tag (DHA: 2,4 g, EPA: 1,0 g) für 26 Wochen	Ölsäure, Linolsäure aus Distelöl; Doppelblind	Serum NfL-, IL-6- und TNF- α -Konzentration	Keine Signifikanz zwischen Gruppen bezüglich NfL-, IL-6- und TNF- α -Konzentrationen; Trend zwischen steigenden Serum-DHA, EPA- und sinkenden NfL-Konzentrationen
Raikes et al., 2022	n = 27	Siehe Mullins et al. (2022)		Gehirnbildung; Schlaflosigkeit, Tagesschläfrigkeit, Depressionen	Potenziell neuroprotektive Wirkungen in der linken Gehirnhälfte, unterschiedliche Wirkung in Nervenfaserguppen; signifikante Zunahme netzwerkübergreifen der funktioneller Konnektivität; signifikant geringere Tagesschläfrigkeit

Oliver et al., 2016	n = 81	2,0 g, 4,0 g, 6,0 g DHA pro Tag für 27 Wochen	Maisöl; Doppelblind	Serum NfL-Konzentration	Keine Signifikanz; wahrscheinlich vermindernder Effekt der Supplementation; Gruppe mit 2 g DHA zeigt wahrscheinlichen bis sehr wahrscheinlichen Effekt
Miller et al., 2022	n = 25	2,0 g DHA pro Tag für 12 Wochen	Mais- und Sojaöl; Doppelblind	SCAT 3-Test (Symptom-schwere), Zeit bis zur Symptomfreiheit, Zeit bis zur Rückkehr zum Sport	Keine Signifikanz; kein Unterschied bezüglich Symptom-schwere; geringere Zeit bis zur Symptommfreiheit, Rückkehr zum Sport
Bica, 2018	n = 55	2,0 g DHA pro Tag für 30 Tage nach SRC	Unbekanntes Placebo; Doppelblind	SCAT 2-Test (Symptom-schwere); Zeit bis zur Rückkehr zum Sport	Keine Signifikanz; geringere Symptomschwere, Zeit bis zur Rückkehr zum Sport
Heilesen et al., 2021	n = 66	3,0 g pro Tag (DHA: 2,0 g, EPA 0,6 g, DPA: 0,3 g) für ca. 20 Wochen	Keine Supplementation	Serum NfL-Konzentration	Signifikanz zwischen Interventions- und Placebogruppe; keine Signifikanz zwischen Starter-Status, Supplementation und NfL

Die Supplementation erfolgte bei vier Studien im Verlaufe einer American Football-Saison mit einer Dauer von ca. 20 bis 33 Wochen. Die Athleten der Interventionsgruppen spielten in der NCAA Division I. In der Studie durchgeführt von Heilesen et al. (2021) war die Kontrollgruppe eine unabhängige Mannschaft derselben Sportart, welche in der Division III spielte. Die ist Studie nicht randomisiert. In der Studie von Miller et al. (2022) waren 42,5 % Jugendlichen (14-18 Jahre)

American Football Athleten. Die Sportarten der restlichen Teilnehmenden wurden nicht erwähnt. Jedoch wurden Sportler ausgeschlossen, die eine SRC im Zuge von Motorsport erlitten haben. (Miller et al., 2022) Bica (2018) gab keine Sportarten der Athleten an. Miller et al. (2022) und Bica (2018) setzten eine Diagnose von SRC voraus und supplementierten erst anschließend.

Mullins et al. (2022) supplementierten 3,5 g pro Tag (DHA: 2,4 g, EPA: 1,0 g) für 26 Wochen. Die Studie von Raikes et al. (2022) baute auf der randomisiert kontrollierten Studie von Mullins et al. auf und wies folglich dieselben Interventionsmerkmale auf. Das Supplement wurde als Ethylester in Form von Kapseln gereicht. Es wurde eine Compliance von > 80% festgelegt. (Mullins et al., 2022) Für 27 Wochen ließen Oliver et al. (2016) die Probanden je 2,0 g, 4,0 g oder 6,0 g DHA pro Tag einnehmen. Das Supplement bestand dabei aus Algen-Öl. Die durchschnittliche Compliance wurde pro Gruppe angegeben und betrug 94% (2,0 g-Gruppe), 90% (4,0 g-Gruppe), 95% (6,0 g-Gruppe) sowie 91% (Placebo-Gruppe). (Oliver et al., 2016) Heilesen et al. (2021) wählten eine Supplementierung von 3,0 g pro Tag (DHA: 2,0 g, EPA 0,6 g, DPA: 0,3 g) für circa 20 Wochen. Die Compliance wurde von Heilesen et al. bei 93% angegeben. Die Form des Supplements wurde mit hoher Bioverfügbarkeit beschrieben. Es wurden keine weiteren Angaben zur chemischen und Darreichungsform gegeben. (Heilesen et al., 2021) Nach einer Diagnose von SRC ließ Bica (2018) für 30 Tage 2,0 g DHA pro Tag supplementieren. Die Darreichungsform waren hierbei aus Algen-Öl hergestellte Kapseln. Die Compliance lag bei 84% (Interventionsgruppe) und 83% (Kontrollgruppe). (Bica, 2018) Miller et al. (2022) ließen nach der Diagnose auch mit 2,0 g DHA pro Tag in der Darreichungsform von Kapseln ergänzen, aber jedoch für 12 Wochen. Es wurde eine Compliance von 75% der Interventionsgruppe und 84% der Kontrollgruppe genannt. (Miller et al., 2022)

Eine Kontrollgruppe erhielt ein Supplement, bestehend aus Maisöl (Oliver et al., 2016), eine weitere aus Soja- und Maisöl (Miller et al., 2022) sowie aus Ölsäure und Linolsäure aus Distelöl (Mullins et al., 2022). Bica (2018) gab keine Informationen, aus was das Kontrollsupplement bestand. Die Kontrollmannschaft der Studie durchgeführt von Heilesen et al. (2021) erhielt kein Supplement.

Die Studien Mullins et al. (2022), Oliver et al. (2016) und Heilesen et al. (2021) untersuchten den Biomarker NfL im Serum der Athleten. Miller et al. (2022) und Bica (2018) widmeten sich der Zeit bis zur Rückkehr zum Sport sowie der Symptomschwere. Raikes et al. (2022) nutzten als einzige Studie Gehirnbildgebung. Diese Studie untersuchte dieselben Probanden der Studie Mullins et al. (2022) mit dem Unterschied des Outcome-Parameters. Zudem wurden drei Fragebögen zu Schlaflosigkeit, Tagesschläfrigkeit und Depressionen durchgeführt (Raikes et al., 2022).

Im Folgenden ist die Aufführung der Ergebnisse anhand der Outcome-Parameter aufgeführt, um diese vergleichen zu können.

4.1 Biomarker

Drei Studien analysierten die Veränderung des Biomarkers NfL aus dem Serum mittels mehrerer Blutabnahmen während der Intervention. Mullins et al. untersuchten zudem die Biomarker IL-6 und TNF- α aus dem Blut.

Mullins et al. (2022) nahmen insgesamt sieben Mal Blut ab. Der erste Zeitpunkt war vor der Supplementierung und ermittelt die Ausgangslage (T1). Dies war vor dem Beginn des „non-contact conditioning“ bzw. des Vorbereitungstrainingscamps vor der regulären Saison. Der zweite Zeitpunkt erfolgte nach dem Sommertrainingscamp in Woche acht (T2). Eine dritte Messung wurde zum regulären Saisonstart in Woche zwölf vorgenommen (T3). Mitte der Saison fanden zwei Messzeitpunkte in Woche 17 (T4) sowie in Woche 21 (T5) statt. Drei bis vier Tage nach dem letzten Saisonspiel wurde in Woche 26 erneut Blut abgenommen (T6). Die letzte Abnahme erfolgte in Woche 33 (T7). Zu der Zeit lag die Saison, sowie die Supplementierung sieben Wochen zurück. NfL wurde jedoch nur zu den Zeitpunkten T1, T4 und T6 abgenommen. Der Biomarker IL-6 wurde zu gleichen Zeitpunkten bestimmt. Im Gegensatz dazu wurde der Biomarker TNF- α zum Zeitpunkt T1 und T6 ermittelt. (Mullins et al., 2022)

Serum NfL-Konzentrationen stiegen in der Interventions- als auch in der Kontrollgruppe. Die Interventionsgruppe wies einen p-Wert von T1 zu T6 von $p = 0.001$, sowie T4 zu T6 (Zeitraum der Saison) von $p = 0.03$ auf. Die Kontrollgruppe wies einen p-Wert von T1 zu T6 von $p = 0.02$, sowie T4 zu T6 von $p = 0.005$ auf. Allerdings konnte zu keinem Zeitpunkt eine Signifikanz zwischen beiden Gruppen gefunden werden. Zum Zeitpunkt T4 (Woche 17) war die NfL-Konzentration der Interventionsgruppe geringer als von der Kontrollgruppe. Die Effektgröße nach Cohen's d-Wert war niedrig bis moderat ($d = -0.31$). Zum Zeitpunkt T6 (Woche 26) war die NfL-Konzentration der Interventionsgruppe höher als von der Kontrollgruppe. Die Effektgröße war moderat ($d = 0.53$). DHA- und EPA-Konzentrationen im Plasma scheinen umgekehrt mit NfL-Konzentrationen im Plasma in den Wochen 17 ($r = -0,42$; $p = 0,17$) sowie 26 ($r = -0,44$; $p = 0,15$) assoziiert zu sein. Dieser Unterschied ist nicht signifikant. (Mullins et al., 2022)

Zusätzlich analysierten Mullins et al. die Athleten anhand ihres Starter-Status sowie ihrer Spielposition und der Entwicklung des Biomarkers NfL im Verlaufe der Saison. Der Starter-Status beschreibt, ob der Athlet ein Stammspieler ist bzw. welche Spieler die meiste Spielzeit absolvieren. Entsprechend einer steigenden Spielzeit erhöht sich die Anzahl der Kontakte und Tackles während Spielen und Trainingseinheiten, und folglich die Wahrscheinlichkeit der erlittenen Kopfverletzungen. Die Spielpositionen lassen sich in Positionen mit hohem Risiko für Kopfverletzungen und Positionen mit geringerem Risiko aufteilen. Diese Einteilung lässt sich mithilfe von Charakteristika der Position und Exposition für Kontakt sowie Tackles einordnen. Positionen mit hohem Risiko sind Offensive Line, Defensive Line, Running Back, Tight End und Linebacker. Positionen mit geringem Risiko

sind Defensive Back, Special Teams, Wide Receiver, Quarterback. Mullins et al. beobachteten einen signifikanten Anstieg des NfL im Verlaufe der Zeit bei Athleten mit Starter-Status. Im Gegensatz zu keinem signifikanten Anstieg bei Nicht-Startern. Starter wiesen im Vergleich zu Nicht-Startern zum Messzeitpunkt T6 (Woche 26) signifikant höhere NfL-Konzentrationen auf. Sportler, welche Positionen mit einem hohen Risiko spielten, wiesen im Verlaufe der Saison im Vergleich zum Ausgangswert eine signifikante Erhöhung der NfL-Konzentration auf. Keine Veränderungen wurden bei Positionen mit geringem Risiko erkannt. Jedoch gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen. (Mullins et al., 2022)

Mullins et al. untersuchten zwei weitere Biomarker. Es wurde kein signifikanter Unterschied der IL-6-Konzentration zwischen Interventions- und Placebogruppe im Verlaufe der Zeit gefunden. Des Weiteren wurde kein signifikanter Unterschied der TNF- α -Konzentration bezüglich Zeit und Gruppen erfasst. (Mullins et al., 2022)

Oliver et al. (2016) nahmen insgesamt acht Mal Blut ab. Die erste Blutabnahme fand zum Startzeitpunkt statt (T1). Die zweite Messung erfolgt nach dem Sommertraining und vor dem Trainingscamp zur Saisonvorbereitung (T2). In diesem Zeitraum hat kein Training mit Kopf-an-Kopf-Kontakt stattgefunden. Es gab die Möglichkeit zu einem zusätzlichen Training ausgewählt zu werden. Bei diesem wurde kein Equipment getragen und es hat kein Kontakt stattgefunden. Nach dem Vorbereitungstrainingscamp wurde zum dritten Mal Blut abgenommen (T3). Während des Trainingscamp fanden drei Trainingseinheiten ohne Kontakt in Hosen mit Protektoren und Helmen, ein Training mit Helm und Schulterpads sowie die restliche Trainingseinheiten in voller Ausstattung statt. Die Blutabnahmen T4 und T5 wurden während den Vorkonferenzspielen vorgenommen. Während der Konferenzspiele wurde drei Mal (T6, T7, T8) Blut abgenommen. Im Zeitraum der Wettkampfsaison wurde das Blut am Montag nach einem Samstagsspiel (48 Stunden) gesammelt. Trainingseinheiten während der Wettkampfsaison wurden mit teilweiser oder voller Ausrüstung durchgeführt. Tackles wurden nur in Form des Treffens und Umschließen des Gegners („hit and wrap“) ausgeführt. (Oliver et al., 2016)

Da Nicht-Starter einen geringen Anstieg des Biomarkers aufwiesen, wurden sie von Oliver et al. aus der weiteren Analyse ausgeschlossen. Folgende Ergebnisse betreffen demnach nur Athleten, die einen Starter-Status (Stammspieler) aufwiesen. Nach dem Camp (T3; Vorbereitungstrainingscamp) wurde ein erheblicher Anstieg des NfL bei allen Startern beobachtet. Alle Athleten, welche ergänzend DHA zu sich nahmen, zeigten einen wahrscheinlich (92,3%) verminderten Anstieg des NfL nach dem Camp ($p = 0,070$). Während der Konferenzspiele wurde ein weiterer Anstieg des NfL bei Startern beobachtet. Eine Supplementierung mit DHA wies einen wahrscheinlich (87,1%) verminderten Effekt verglichen mit der Placebo-Gruppe ($p = 0,144$; T6). Zu den Messzeitpunkten T7 und T8 blieb dieser Effekt wahrscheinlich mit 97,5% ($p = 0,022$) und 98,9% ($p = 0,012$). Diese

zwei Messzeitpunkte zeigten eine Signifikanz ($p < 0,05$). Wurde nach Dosis differenziert, wurde bei der Interventionsgruppe, welche 2 g DHA erhielt, ein wahrscheinlicher bis sehr wahrscheinlicher Effekt im Vergleich zur Placebogruppe im Verlaufe der Studie beobachtet. Die Interventionsgruppe, welche 4 g DHA erhielt, wies nur zum finalen Zeitpunkt einen wahrscheinlich (91,0%) verminderten Effekt auf. Die Interventionsgruppe, welche 6 g DHA erhielt, zeigte im Verlaufe der Studie unklare Effekte. (Oliver et al., 2016)

Heileson et al. (2021) nahmen insgesamt sechs Mal Blut ab. Zu Beginn wurde sieben Tage vor Supplementationsbeginn Blut abgenommen, um die Ausgangswerte zu ermitteln (T1). Die zweite Abnahme fand nach dem Vorbereitungstrainingscamp und vor dem ersten regulären Saisonspiel statt (T2). Während der Saison wurde am Montag nach einem Samstagsspiel Blut abgenommen. Dies waren Zeitpunkte T3 bis T6. Tackles in Trainingseinheiten während der Saison erfolgten nach dem Prinzip des Treffens und Umschließen des Gegners. Hierbei ist anzumerken, dass sich aufgrund der unterschiedlichen Level der Teams unterschiedliche Zeitpläne ergaben. Bis zur Saison vergingen 34 Tage (Interventionsgruppe) im Vergleich zur Kontrollgruppe mit 15 Tagen. Auch während der Saison ließen sich Unterschiede erkennen. Die Kontrollmannschaft spielte insgesamt zehn Spiele. Die Interventionsmannschaft hingegen spielte zwölf Spiele. Durch die verschiedenen Spielpläne und Gegebenheiten aufgrund von Auswärtsspielen und spielfreier Wochen ergaben sich abweichende zeitlichen Abstände der Messungen. Die Supplementation erfolgte bis drei Tage vor letzter Blutabnahme und einen Tag vor dem letzten Spiel. (Heileson et al., 2021)

In dieser Studie wurde ein signifikanter Gruppeneffekt zwischen der Interventions- und der Kontrollmannschaft ($p = 0,003$) gefunden. Des Weiteren wurde ein Zeiteffekt ($p < 0,001$) und ein Effekt zwischen Supplementation und Zeit ($p = 0,024$) identifiziert. Eine 1,5-fache signifikante Erhöhung ($p < 0,001$) der NfL-Werte wurde bei der Kontrollgruppe von Zeitpunkt T1 zu T2 gefunden. Die Effektgröße wurde mit $d = 0,85$ als groß eingestuft. Im Gegensatz dazu wurde keine Veränderung der NfL-Konzentrationen der Interventionsmannschaft gefunden ($p > 0,05$). Auch zu den Zeitpunkten T2 ($p < 0,001$), T3 ($p = 0,002$) und T4 ($p = 0,005$) wurden signifikant höhere NfL-Konzentrationen in der Kontrollgruppe gemessen. Mit Effektgrößen zwischen $d = 0,59$ und $0,85$, blieb während der Wettkampfsaison die NfL-Werte der Kontrollathleten erhöht. Verglichen dazu wies die Interventionsmannschaft keine Signifikanz, sowie Effektgrößen zwischen $d = 0,11$ und $0,23$ auf. Zudem wurde der Effekt zwischen Sportlern, die als Starter (Stammspieler) verstanden werden, der Supplementation sowie dem Biomarker NfL untersucht. Individuen mit Starter-Status, welche das Supplement erhielten, wiesen im Vergleich zur Ausgangsmessung (T1) keine signifikante Veränderung des Biomarkers NfL auf ($p > 0,05$). Sie zeigten zwar Anstiege des Biomarkers NfL, diese waren jedoch geringer verglichen zum Anstieg des NfL der Starter des Kontrollteams. Athleten mit Starter-Status des Kontrollteams wiesen im Vergleich zur Ausgangsmessung (T1) einen signifikanten Anstieg des NfL auf. (Heileson et al., 2021)

4.2 SCAT-Test, Return-to-sport, Fragebögen

Die Studien von Miller et al. (2022) sowie von Bica (2018) befassten sich mit den Outcome-Parametern des SCAT-Tests (Symptomschwere) und der Tage bis zur Rückkehr zum Sport. Raikes et al. erfassten mittels Fragebögen Schlaflosigkeit, Depressionen und Tagesschläfrigkeit.

Miller et al. beobachteten keine signifikanten Unterschiede zwischen der Gesamtzahl der Symptome des SCAT 3, den Schweregraden der Symptome oder den „modified balance error scoring system“ (mBESS)-Werten zwischen den Gruppen zum Startzeitpunkt oder zu Nachsorgeterminen festgestellt. Der mBESS beinhaltet drei 20-Sekunden Tests, welche aus Stand auf beiden Beinen, Stand auf einem Bein und Tandemstand, bestehen. Die SCAT 3-Symptombewertung ist eine Guttman-Skala von 0 bis 6 für 22 Symptome nach einer Gehirnerschütterung. Es wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen bezüglich der Symptomschwere, Anzahl der Symptome oder mBESS-Werte gefunden. Sportler mit Supplementation waren fünf Tage früher symptomfrei (11,0 vs. 16,0 Tage, $p = 0,08$) im Vergleich zu Kontroll-Sportlern. Dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant. Zudem begannen Individuen mit Supplementation früher mit der Rückkehr zum Sport (Return-to-sport) im Gegensatz zu Placebo-Individuen (14,0 vs. 19,5 Tage, $p = 0,12$). Nach 30 Tagen (nach der Verletzung) waren 88,2 % der Patienten mit Supplementation symptomfrei. Im Vergleich dazu waren 80 % der Kontrollpatienten symptomfrei. (Miller et al., 2022)

Der hauptsächliche Outcome-Parameter der Studie von Bica (2018) waren die Gesamt-Tagesanzahl von der Verletzung bis zum Schritt der Rückkehr zum Sport des Athleten. Die Interventionsgruppe wies $11,0 \pm 4,8$ (95% CI; 9,1 – 13,0) Tage, während die Kontrollgruppe $11,9 \pm 5,4$ (95% CI; 10,0 – 13,8) Tage bis zur Rückkehr zum Sport aufwies. Der p-Wert betrug $p = 0,558$ mit einer Effektgröße von 0,16. Der Symptomschweregrad des SCAT 2 der Interventionsgruppe lag bei $42,7 \pm 27,9$ und der Placebogruppe bei $49,9 \pm 26,6$. Der erhöhte Symptomschweregrad ist nicht signifikant. (Bica, 2018)

Raikes et al. (2022) erfassten neben den Gehirnbildgebungs-Outcome auch Schlaflosigkeit, Depressionen und Tagesschläfrigkeit zu zwei Zeitpunkten. Zum Ausgangszeitpunkt und zum Ende der Saison wurde jeweils das *Patient Health Questionnaire* (PHQ-9), *Insomnia Severity Index* (ISI) und das *National Health and Nutrition Examination Survey Sleep Disorders Questionnaire item 120* (SLQ-120) erhoben. Das SLQ-120 ist ein Tool, um Tagesschläfrigkeit messbar zu machen. Das ISI widmet sich der Schlaflosigkeit, während sich das PHQ-9 Depressionen widmet. Höhere Werte bedeuten jeweils eine größere Schlaflosigkeit, Tagesschläfrigkeit oder Depression. Zum Ausgangszeitpunkt wies die Interventionsgruppe stärkere Schlaflosigkeit ($p = 0,047$) als die Kontrollgruppe auf. Dies traf jedoch nicht auf das Maß an Depressionen und Tagesschläfrigkeit zu. Nach der Saison berichtete die Interventionsgruppe über signifikant weniger Tagesschläfrigkeit. Dies betraf nicht die Schlaflosigkeit oder Depressionen. (Raikes et al., 2022)

4.3 Gehirnbildgebung

Die explorative Studie von Raikes et al. (2022) baut auf der randomisiert kontrollierten Studie von Mullins et al. auf. Die Studiendurchführenden ließen alle teilnehmenden Athleten vor Beginn der Saison (in der Off-Season) und am Ende der Saison eine ganzheitliche multimodale Gehirnbildgebung durchlaufen. (Raikes et al., 2022)

Keine Ergebnisse der durchgeführten Analysen zeigten statistisch signifikante Veränderungen der weißen Substanz zwischen beiden Gruppen. Es zeigte sich eine unterschiedliche Wirkung in verschiedenen Nervenfaserguppen. Die quantitative Anisotropie war in einigen Nervenfaserguppen der Interventionsgruppe höher, während sie in anderen Nervenfaserguppen bei Placebo anstieg. In den aufsteigenden Fasergruppen wurde in der Interventionsgruppe ein statistisch signifikanter Anstieg der quantitativen Anisotropie beobachtet. Dies bedeutet eine erhaltene strukturelle Konnektivität in aufsteigenden Faserbahnen im Zuge der Supplementation. In der Placebogruppe wurde ein signifikanter Anstieg der quantitativen Anisotropie im Corpus callosum und in den kortikostriatalen Assoziationsfasern beobachtet. Die vorliegenden Ergebnisse zeigten zudem eine erhöhte Konnektivität zwischen kortikalen und subkortikalen Regionen (kurzen kortikostriatalen Assoziationsfasern) in der linken Gehirnhälfte für die Interventionsgruppe im Vergleich zur Placebogruppe. Weiterhin konnte eine verminderte Konnektivität in den Kommissuren- und langen Assoziationsfaserguppen der rechten Gehirnhälfte für die Interventionsgruppe im Vergleich zur Placebogruppe beobachtet werden. (Raikes et al., 2022)

Die Volumen-Analysen zeigten, dass eine Supplementation mit DHA und EPA die graue Substanz nicht im Laufe einer einzigen Footballsaison schützt. Unabhängig der Gruppenzugehörigkeit konnte eine Verminderung des Volumens beobachtet werden. (Raikes et al., 2022)

Während in der Placebogruppe eine Tendenz zu einer Abnahme der funktionellen Konnektivität zwischen Default-Mode-Netzwerk und fronto-parietalem Kontrollnetzwerk nach der Saison zu beobachten war, zeigte die Interventionsgruppe eine signifikante Zunahme der Konnektivität. Eine erhöhte Konnektivität zwischen beiden Netzwerken wurde als Indikator für eine verbesserte kognitive Kontrolle und funktionale Vernetzung angesehen. Dies deutet auf eine potenziell schützende oder fördernde Wirkung der Supplementation auf die kognitive Funktion hin. (Raikes et al., 2022)

Diese Ergebnisse bezüglich der Nervenfaserguppen deuteten insgesamt darauf hin, dass die Supplementierung mit DHA und EPA potenziell neuroprotektive Wirkung in der linken Gehirnhälfte, insbesondere in aufsteigenden und kurzen kortikostriatalen Assoziationsfasern, jedoch keine ähnliche Wirkung in anfälligeren Kommissur- und langen Assoziationsfasern ausübte. Die Ergebnisse der netzwerkübergreifenden funktionellen Konnektivität deuteten darauf hin, dass eine Supplementierung mit DHA und EPA trotz Anzeichen einer Schädigung der weißen Substanz, bzw.

keiner Verbesserung der axonalen Schädigung, in anderen Regionen neuroprotektive Wirkungen entfalten kann. (Raikes et al., 2022)

Diese angewandten Analysen im Bezug zu den von Mullins et al. (2022) gemessenen NfL-Konzentrationen zeigten, dass eine verringerte Mikrostrukturintegrität der weißen Substanz mit erhöhten NfL-Werten verbunden ist. Konkret zeigen Analysen statistisch signifikante, positive Zusammenhänge zwischen erhöhtem Serum-NfL und erhöhter mittlerer, axialer und radialer Diffusivität. (Raikes et al., 2022)

5 Diskussion

Folgend werden die inhaltlichen Ergebnisse und angewandte Methodik kritisch diskutiert. Es werden mögliche Störfaktoren, Limitationen und Stärken der inkludierten Studien geprüft und eingeordnet. Anschließend werden die Ergebnisse in Bezug zur Forschungsfrage gestellt, sowie zum Forschungsstand eingeordnet. Die Methodendiskussion widmet sich den Limitationen und Stärken dieser Arbeit. Zudem werden zuletzt Empfehlungen für zukünftige Forschungen sowie praktische Empfehlungen gegeben.

5.1 Ergebnisdiskussion

Die Forschungsergebnisse der Tierversuche mit Ratten zeigten eine vielversprechende neuroprotektive Wirkung einer Omega 3-Supplementation bei sportbedingten Kopfverletzungen. Insgesamt deuten die Tierversuche darauf hin, dass präventive und kurative Supplementation den Heilungsprozess nach TBI verbessern. Eine Supplementation vor und nach einer TBI kann protektiv wirken, indem axonale Schädigung, Apoptose und oxidativer Stress reduziert werden können. Eine Supplementation nach einer TBI mildert kognitive Defizite und verbessert motorische Koordination. Diese Arbeit fokussiert sich auf die Ergebnisse der vorhandenen Humanstudien, um Aufschluss über den Effekt einer Omega 3-Supplementation auf den Heilungsprozess einer SRC zu analysieren. Die identifizierten und inkludierten Humanstudien liefern keine eindeutigen Ergebnisse. Studien, welche den Zusammenhang zwischen dem Biomarker NfL und einer Supplementation bei Athleten untersuchten, zeigen überwiegend keine Signifikanz zwischen der Interventions- und Placebogruppe. Es wird jedoch ein Trend zu einem vermindernden Effekt des Anstiegs der NfL-Konzentration im Zuge einer sportbedingten Kopfverletzung durch Supplementierung mit Omega 3-Fettsäuren beobachtet (Oliver et al., 2016; Mullins et al., 2022). Heilesen et al. (2021) erfassten als einzige Studie eine statistische Signifikanz zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe. Dieses Ergebnis ist jedoch im Kontext des Studiendesigns und damit einhergehender potenzieller Limitationen zu bewerten. Mullins et al. (2022) fanden keine Signifikanz zwischen den Biomarkern

IL-6 und TNF- α und einer Supplementation. Des Weiteren wurde keine Signifikanz bezüglich der Symptomschwere und der Zeit bis zur Rückkehr zum Sport beobachtet (Miller et al., 2022; Bica, 2018). Bica et al. (2018) erfasste einen Trend zu geringerer Symptomschwere und Zeit bis zur Rückkehr zum Sport. Auch Miller et al. (2022) erfassten einen sinkenden Trend der Zeit bis zur Rückkehr zum Sport, zudem auch der Zeit bis zur Symptomfreiheit aber keinen Trend bezüglich der Symptomschwere. Eine Studie erfasste eine signifikant geringere Tagesschläfrigkeit der Interventionsgruppe im Verlaufe der Saison verglichen mit der Placebogruppe (Raikes et al., 2022). Die Ergebnisse der Gehirnbildgebungs-Studie von Raikes et al. (2022) zeigten, dass eine Supplementation mit DHA und EPA potenziell neuroprotektive Wirkung auf Nervenfaserguppen in der linken Gehirnhälfte, insbesondere der aufsteigenden und kurzen kortikostriatalen Assoziationsfasern, jedoch keine ähnliche Wirkung auf anfällige Kommissur- und langen Assoziationsfasern ausübte. Eine Supplementation mit DHA und EPA führte zu einer signifikant höheren netzwerkübergreifenden funktionellen Konnektivität, was eine verbesserte kognitive Funktion mit sich bringt (Raikes et al., 2022). Diese Ergebnisse müssen im Kontext des jeweiligen Studiendesigns bewertet werden. Randomisiert kontrollierte Studien weisen einen hohen Evidenzgrad auf.

5.1.1 Biomarker

Die Studien, durchgeführt von Mullins et al. (2022) und Oliver et al. (2016), wiesen eine verhältnismäßig kleine Populationsgröße mit 29 und 33 auf. Oliver et al. (2016) entschieden sich für die Analyse von ausschließlich Startern. Dementsprechend sinkt die ursprüngliche Populationsgröße von 81 auf 33 analysierte Sportler. Der Ausschluss wird mit der fehlenden Veränderung der NfL-Konzentration im Serum bei Nicht-Startern im Verlaufe der Studiendauer begründet. Dieser Ausschluss hat jedoch zur Konsequenz, dass die Probandenzahl pro Gruppe ungleichmäßig abnimmt. Die Placebogruppe umfasste elf Athleten, während die Interventionsgruppe, welche 2 g DHA erhielt, neun Sportler umfasste. Die Interventionsgruppe, welche 4 g DHA erhielt, beinhaltete zehn Sportler und die Interventionsgruppe, welche 6 g DHA erhielt, drei Athleten. Die Stichprobengröße hat Einfluss auf die Aussagekraft und Qualität einer randomisiert kontrollierten Studie. Dadurch steigt die Wahrscheinlichkeit, einen vorhandenen Effekt auch als statistisch signifikant zu identifizieren. Kleine Stichproben bringen hingegen ein erhöhtes Risiko für falsch-negative Ergebnisse mit sich. Zufällige Unterschiede zwischen Interventions- und Kontrollgruppe treten seltener auf, wodurch systematische Verzerrungen reduziert werden. Zudem erschwert eine zu kleine Stichprobe die Interpretation nicht-signifikanter Ergebnisse, da unklar bleibt, ob tatsächlich kein Effekt existiert oder die Studie eine unzureichende statistische Power aufwies. Beide Studien (Mullins et al., 2022; Oliver et al., 2016) zeigten einen sinkenden Trend des Biomarkers NfL bei Supplementation mit DHA allein, beziehungsweise in Kombination mit EPA. Es wird allerdings keine Signifikanz erkannt. Es ist zu berücksichtigen, dass die Zielpopulation aufgrund der im Methodenkapitel beschriebenen

Parameter, spezifisch ist und nur eine geringe Anzahl der Weltbevölkerung diese Kriterien erfüllt. Jedoch sollten weitere in Frage kommende Sportarten, wie beispielweise Eishockey und Rugby, für zukünftige Studien in Erwägung gezogen werden. Die Studie von Heilesen et al. (2021) wies eine Stichprobengröße von 66 Athleten auf. Sie wies die größte analysierte Studienpopulation der inkludierten Studien auf. Heilesen et al. (2021) erkannten eine Signifikanz zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe, aber keine Signifikanz zwischen Athleten mit Starter-Status, Supplementation und dem Biomarker NfL. Im Gegensatz zu den vorherig genannten Studien, war die Studie von Heilesen et al. (2021) nicht randomisiert. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse im Kontext zu bewerten. Eine Randomisierung ist notwendig, um beispielsweise Selektionsbias zu vermeiden oder Störfaktoren auszugleichen. Interventions- und Kontrollgruppen sollten sich zu Studienbeginn systematisch nicht unterscheiden, damit beobachtete Effekte mit größerer Sicherheit kausal der Intervention zugeordnet werden können. Die Interventionsgruppe war eine American Football-Mannschaft, welche in der Division I spielte, während die Kontrollmannschaft in der Division III spielte. Dieser Unterschied der Liga bedeutet andere zeitliche Planung von Trainingscamps, Trainingseinheiten und Spielen, aber auch eine unterschiedliche Anzahl. Auch Trainings- und Spielniveau unterscheiden sich. Entsprechend ist es möglich, dass die Intensität des Körperkontakts und der Tackles, die Spielgeschwindigkeit oder die Körperparameter unterscheiden. All diese Aspekte haben in- oder direkten Einfluss auf die Studienergebnisse, was die Einschätzung der Aussagekraft der tatsächlichen Ergebnisse erschwert. Außerdem erhält die Placebogruppe kein Placebo-Supplement, während die Studien von Mullins et al. (2022) und Oliver et al. (2016) doppelblind waren.

Mullins et al. (2022) supplementierten 3,5 g pro Tag bestehend aus einer Kombination von DHA (2,4 g) und EPA (1,0 g). Heilesen et al. (2021) wählten auch eine Supplementierung aus der Kombination von DHA, EPA und DPA in der Höhe von 3,0 g pro Tag (2,0 g DHA, 0,6 g EPA, 0,3 g DPA). Oliver et al. (2016) untersuchte als einzige Studie unterschiedliche Dosen DHA (2,0 g, 4,0 g oder 6,0 g DHA pro Tag). Aufgrund der kleinen Stichprobengrößen sind weitere Studien zu unterschiedlichen Dosierungen nötig, um präzisere Aussagen zur optimalen Dosierungshöhe treffen zu können. Des Weiteren sollte die Möglichkeit, einer unzureichenden Konzentration der Omega 3-Fettsäuren im Plasma durch zu niedrige Dosis, in Erwägung gezogen werden. Zwar werden die Konzentrationen der Fettsäuren im Blut gemessen, die Messwerte und erreichten Konzentrationen werden jedoch nicht im Bezug zu den Studienergebnissen diskutiert. Zum Ausgangszeitpunkt wies die Interventionsgruppe, trotz Randomisierung, niedrigere DHA-Konzentrationen ($p = 0.048$) als die Kontrollgruppe auf (Mullins et al., 2022).

Des Weiteren sollte die chemische Form des Supplements Bedacht werden. In der Studie von Mullins et al. (2022) wurde das Supplement als Ethylester gereicht. Um seine Wirkung im Gehirn erfüllen zu können, müssen Substanzen wie DHA, die Blut-Hirn-Schranke durchqueren. Zirkulierendes DHA

könne die Blut-Hirn-Schranke durchqueren. Transportmechanismen schließen die passive Diffusion von unverestertem DHA sowie aktivem Transport von Lysophosphatidylcholin-DHA. In dieser Studie wurde nicht deutlich, ob DHA und EPA als Ethylester die Konzentration von zirkulierendem DHA beeinflussen können. (Mullins et al., 2022)

Eine kürzliche Studie zeigte, dass die Supplementierung mit Omega 3-Fettsäuren in Form von Ethylestern die DHA- und EPA-haltigen Plasmalipidpools erhöht, die die Fähigkeit besitzen, die Lipide im Gehirn anzureichern (Mullins et al., 2024). DHA und EPA werden als Arzneimittel bei Versagen einer diätetischen Behandlung zur Senkung eines erhöhten Triglyzeridspiegels als Ethylester eingesetzt (Bundesinstitut für Risikobewertung, 2009). In den Studien von Oliver et al. (2016) und Heilesen et al. (2021) wurde die chemische Form nicht transparent offengelegt. Die chemische Form der mehrfach ungesättigten Fettsäuren sollte in zukünftigen Studien berücksichtigt werden.

Eine direkte Erfassung der tatsächlichen Einflüsse bzw. Stöße auf den Kopf fehlt in allen drei Studien (Mullins et al., 2022; Oliver et al., 2016; Heilesen et al., 2021). Durch die Aufteilung der Sportler in Starter und Nicht-Starter wird differenziert zwischen Spielern mit einer höheren Wahrscheinlichkeit, Kopfverletzungen zu erleiden, und Spielern mit einem geringeren Risiko aufgrund geringerer Spielzeit. Oliver et al. (2016) beobachteten keinen Anstieg der NfL-Konzentrationen bei Nicht-Startern, wohingegen der Anstieg der NfL-Konzentrationen bei Startern übereinstimmend mit Veränderungen der Trainingsintensität und Häufigkeit von Kontakt im Verlaufe des Trainings- und Spielplans erfolgte. Oliver et al. (2016) schlossen daraus, dass der Anstieg der NfL-Konzentrationen bei Startern durch Kopfstöße und/oder wirkende Kräfte auf den Kopf resultieren, und nicht durch beispielsweise Muskelverletzungen. Mullins et al. (2022) analysierten zudem die Spielposition der Athleten anhand hohen oder niedrigen Risikos. Auch hier unterstützt der beobachtete Effekt die These. Es wurden weder Starter vs. Nicht-Starter, als auch Positionen mit hohem vs. geringem Risiko anhand des Biomarkers unter Einbeziehung der Supplementation analysiert. Die Beziehung der drei Parameter weiterführend zu untersuchen könnte ein Thema folgender Studien sein.

Die Studien, welche den Zusammenhang zwischen dem Biomarker NfL und einer Supplementation bei Athleten untersuchten, zeigten einen potenziell vermindernden Effekt des Anstiegs der NfL-Konzentration im Zuge einer sportbedingten Kopfverletzung durch Supplementation von Omega 3-Fettsäuren. Ein verminderter Anstieg des Biomarkers NfL ist mit einer geringeren akuten axonalen Schädigung verbunden. Es besteht folglich das Potential den Heilungsprozess zu beeinflussen.

5.1.2 SCAT-Test, Return-to-sport, Fragebögen

Die randomisiert kontrollierten Studien, durchgeführt von Miller et al. (2022) und Bica (2018), wiesen unterschiedliche Populationsgröße auf. Während Miller et al. (2022) 25 Teilnehmer rekrutierten (Pilotstudie), eigneten sich 55 Sportler für den Einschluss zur Studie von Bica (2018). Auch hier lässt sich die Stichprobengröße kritisch betrachten. Im Gegensatz zu den im vorherigen

Kapitel diskutierten Studien, setzten diese Studien eine diagnostizierte SRC voraus. Beide Studien lieferten keine signifikanten Ergebnisse, sondern zeigen sinkende Trends oder keine Unterschiede zwischen der Interventions- und Kontrollgruppe. Entsprechend dem vorherig beschriebenen Einfluss der Stichprobengröße auf Studienergebnisse, ist die nicht festgestellte Signifikanz und der beobachtete Trend im Kontext zu bewerten. Eine zu kleine Stichprobe erschwert die Interpretation nicht-signifikanter Ergebnisse, da unklar bleibt, ob tatsächlich kein Effekt existiert oder die Studie eine unzureichende statistische Power aufwies. Positiv anzumerken ist, dass beide Studien sowohl männliche als auch weibliche Athleten inkludierten. Miller et al. (2022) rekrutierten ursprünglich 27 Männer und 13 Frauen. Von den 40 Individuen wurden jedoch nur 25 analysiert, wobei nicht offengelegt ist, wie sich die Geschlechteraufteilung verändert. Bica (2018) analysierte 33 männliche und 22 weibliche Sportler. Die Verteilung innerhalb der Gruppe erfolgt dabei 60,9% Männer zu 39,1% Frauen in der Interventionsgruppe und 59,4% Männer zu 40,6% Frauen in der Kontrollgruppe. Die Pilotstudie von Miller et al. beschränkte sich als einzige auf Jugendliche zwischen 14 und 18 Jahren. Zukünftige Studien sollten sich mit dem Effekt einer Omega 3-Supplementation auf den Heilungsprozess sportbedingter Kopfverletzungen bei Athleten beider Geschlechter sowie bei jugendlichen Athleten widmen.

Obwohl Miller et al. (2022) eine Randomisierung durchgeführt haben, gab es eine nicht statistisch signifikante höhere Häufigkeit von früheren Gehirnerschütterungen in der Placebogruppe (45 % vs. 15 % in der DHA-Gruppe). Eine Vorgeschichte mit Gehirnerschütterungen ist ein Risikofaktor für eine verlängerte Genesung. Dies könnte die Schwere der Symptome und die Erholungszeit in der Kontrollgruppe beeinflusst haben.

In beiden Studien wurde DHA in der Höhe von 2,0 g supplementiert und sind doppelblind. Lediglich die Dauer der Supplementation unterschied sich deutlich (30 Tage vs. 12 Wochen) (Miller et al., 2021; Bica, 2018). Die Dosierung von DHA und EPA als Arzneimittel zur Senkung eines erhöhtem Triglyzeridspiegels liegt bei 4-20 Kapsel pro Tag mit folglich ca. 400-2500 mg EPA bzw. 300-2000 mg DHA pro Tag (Bundesinstitut für Risikobewertung, 2009). Zukünftige Studien sollten unterschiedliche, kurativ angewandte Dosierungen untersuchen. Die Compliance sank im Laufe der Zeit (74,7 % in der DHA-Gruppe; 84,0 % in der Placebogruppe) und nahm zwischen Woche 4 und 12 deutlich ab (Miller et al., 2022). Miller et al. (2022) sahen den Grund, dass die Teilnehmer sich erholten und zum Sport zurückkehrten, als wahrscheinlich an. Dies ist in der Bewertung der Studienergebnisse zu berücksichtigen. Bica (2018) erfasste eine Compliance von 84% (Interventionsgruppe) und 83% (Kontrollgruppe).

Es wurden keine Blutuntersuchungen durchgeführt, um die Serum-DHA-Spiegel im Verlaufe der Studiendauer zu bestimmen. Beide Studien gaben keinen Aufschluss über die chemische Form des

supplementierten DHA. (Miller et al., 2021; Bica, 2018) Ein Monitoring der DHA-Konzentrationen würde hier Aufschluss über eine Erhöhung der Konzentration im Serum geben.

Basierend auf den Daten zur ‚Zeit bis zur Symptombefreiheit‘ würde eine Poweranalyse laut Miller et al. (2022) ergeben, dass 125 Teilnehmer pro Gruppe erforderlich wären, um einen Unterschied mit einer Power von 80 % festzustellen. Auch Bica (2018) führte eine Post-hoc-Poweranalyse durch und erhielten einen Wert von 0,09. Dieser Post-hoc-Poweranalysen-Wert bedeutet, dass die Studie eine geringe Wahrscheinlichkeit hatte, einen tatsächlich vorhandenen Effekt zu entdecken. Ein nicht-signifikantes Ergebnis ist gering aussagekräftig, da bei diesem niedrigen Wert nicht unterschieden werden, ob es wirklich keinen Effekt gibt oder ob die Studie einfach zu schwach war, ihn zu finden.

Raikes et al. (2022) bauten auf der randomisiert kontrollierten Studie von Mullins et al. (2022) auf. Jedoch lagen von 29 Athleten in dieser Studie nur von 27 Sportlern vollständige Gehirnbildgebungsdaten vor. Die Studiendesign-Parameter wurden bereits in Kapitel 5.1.1 diskutiert und treffen hier entsprechend auch zu. Neben der durchgeführten Gehirnbildgebung wurden Fragebogen zu Schlaflosigkeit, Tagesschläfrigkeit und Depression ausfüllen lassen. Zum Ausgangszeitpunkt wies die Kontrollgruppe, trotz Randomisierung, höhere DHA- und EPA-Konzentrationen ($p = 0.008$, $p = 0.032$) als die Interventionsgruppe auf. Zum Ausgangszeitpunkt wies die Interventionsgruppe, trotz Randomisierung, eine größere Schlaflosigkeit ($p = 0,047$) als die Kontrollgruppe auf. Dies traf nicht auf das Maß an Depressionen und Tagesschläfrigkeit zu. Nach der Saison berichtete die Interventionsgruppe über signifikant weniger Tagesschläfrigkeit aber nicht Schlaflosigkeit oder Depressionen. Studien mit geringer Stichprobengröße und/oder unzureichender Randomisierung können falsch-positive Ergebnisse liefern. Diese Möglichkeit sollte hier in Betracht gezogen werden.

Die Studien, welche den Zusammenhang zwischen den Tagen bis zur Rückkehr zum Sport sowie zur Symptomschwere und einer Supplementation bei Athleten untersuchten, zeigten einen potenziell verminderten Effekt der Tage bis zur Rückkehr zum Sport sowie der Symptomschwere im Zuge einer sportbedingten Kopfverletzung durch Supplementation von Omega 3-Fettsäuren. Es besteht folglich das Potential den Heilungsprozess positiv zu beeinflussen.

5.1.3 Gehirnbildgebung

Am vorherigen Abschnitt anknüpfend sollen die Ergebnisse der Gehirnbildgebung diskutiert werden. Die Outcomes sind exploratorisch und dienen dazu, neue Hypothesen zu entdecken, Muster zu erkennen oder potenzielle Effekte zu identifizieren.

Eine direkte und quantitative Erfassung der tatsächlichen Kräfte auf das Gehirn fehlt in dieser Studie. Die Aufteilung der Sportler in Starter und Nicht-Starter sowie Positionen mit hohem oder niedrigem Risiko, welche zuvor bei Mullins et al. (2022) berücksichtigt wurde, wurde von Raikes et al. (2022)

nicht in Beziehung zu den Ergebnissen gesetzt. Neben dieser Einteilungsstrategie könnten durch Technologien auch konkrete Daten erhoben werden. Messungen der Einflüsse auf das Gehirn können beispielsweise anhand von im Helm oder hinterm Ohr angebrachten Sensoren, die Daten zu auf den Kopf wirkenden Kräften erfassen, oder auch Mundschutz mit erweiterten Technologien wären eine denkbare Möglichkeit.

Exploratorische Befunde erfordern eine Bestätigung in nachfolgenden Studien, welche auf diese potenziellen Zusammenhänge ausgerichtet sind. Weitere Studien mit größeren Stichproben sind notwendig, um die Aussagekraft zu untersuchen. Auch die scheinbar unzureichende Randomisierung sollte in Betracht gezogen werden. Folglich sind weitere Studien nötig, um die potenziell neuroprotektive Wirkung auf unterschiedliche Nervenfaserguppen, sowie die signifikant verbesserte kognitive Funktion zu analysieren.

5.2 Methodendiskussion und Limitationen

Dieses Kapitel diskutiert das methodische Vorgehen dieser systematischen Literaturrecherche. Es erläutert die Suchstrategie, Einschluss- und Ausschlusskriterien und Qualitätsbewertung. Darüber hinaus wird die Transparenz der Prozesse, mögliche Verzerrungen und die Grenzen der Vorgehensweise kritisch reflektiert.

Im Zuge dieser systematischen Literaturrecherche wurden die Ein- und Ausschlusskriterien, Suchstrategie sowie Recherche transparent dargestellt und dokumentiert. Dies soll eine Überprüfung und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ermöglichen. Zu diesem Zweck wurden das PICOS-, PICOR-Schema und Prisma-Flow-Chart angewandt. Für die Auswahl der Studien zur Beantwortung der Forschungsfrage wurden Ein- und Ausschlusskriterien mithilfe des PICOS-Schemas formuliert. Das Prisma-Flow-Chart dokumentiert grafisch die ein- und ausgeschlossenen Studien und die Gründe für den Ausschluss. Das PICOR-Schema veranschaulicht übersichtlich die Charakteristika der inkludierten Studien. PubMed bietet zwar eine umfassende Datenbank als Grundlage für eine systematische Literaturrecherche in diesem wissenschaftlichen Feld, dennoch besteht die Möglichkeit, dass geeignete Studien nicht Teil dieser sind und daher übersehen werden. Eine solche Studie wurde durch Handrecherche gefunden. Im Methodenkapitel wurde möglichst nachvollziehbar beschrieben, wie auf die Studie von Bica et al. (2018) gestoßen wurde. Allerdings schränkt eine zusätzliche Handrecherche die Reproduzierbarkeit der Literaturrecherche ein. Eine Möglichkeit diese Lücke zu schließen, wäre die Durchführung der Recherche in weiteren Datenbanken.

Wird die Forschung an Omega 3-Fettsäuren in Bezug auf den Heilungsprozess bei sportbedingten Kopfverletzungen bei Sportlern analysiert, wird deutlich, dass die aktuelle Studienlage aus einer geringen Anzahl randomisiert kontrollierten Studien besteht. Die Datenlage beruht überwiegend auf wenigen RCTs mit begrenzter Stichprobengröße und teilweise heterogenen Designs. Folglich ist der

Bedarf an qualitativ hochwertigen Studien hoch. Es bedeutet jedoch auch, dass dies ein maßgeblich limitierender Faktor dieser Arbeit ist. Es können nur eine geringe Anzahl an Studien, welche die Einschlusskriterien erfüllen, analysiert werden. Dabei sind zwei eingeschlossene Studien Pilotstudien, davon eine Studie eine exploratorische Studie. Wie im Methodenkapitel beschrieben, wurde aufgrund der limitierten Studienlage entschieden, trotz Einschlusskriterium einer Randomisierung, die Studie von Heilesen et al. (2021) zu inkludieren. Dies stellt eine Einschränkung der Studienqualität dar und Ergebnisse der Studie werden im Kontext der fehlenden Randomisierung bewertet.

Ausgeschlossen der Studie von Heilesen et al. weisen die inkludierten Studien eine hohe Qualität auf. Vier, bzw. fünf, Studien sind randomisierte, Placebo-kontrollierte Studien, welche doppelblind sind. Durch diese Charakteristika kann ein Risiko eines Bias zwar nicht ausgeschlossen, aber minimiert werden. Ein Auswahlbias durch ausschließlichen Einschluss von open-access Studien wurde versucht zu vermeiden, indem nicht nach open-access Studien gefiltert wurde. Es waren allerdings alle inkludierten Studien frei zugänglich. Eine zeitliche Einschränkung des Publikationsjahres wurde nicht vorgenommen.

In der Suchstrategie wurde keine Einschränkung der Sportart oder des Geschlechts der Athleten vorgenommen, um eine Generalisierbarkeit innerhalb der Population möglichst zu erhöhen. Ergebnisse sollten auf verschiedene Sportarten der Zielpopulation, sowie auf die Geschlechter übertragbar sein. Wie in der Ergebnisdiskussion beschrieben, spielt der Großteil der untersuchten Athleten American Football und sind Männer. Nur Bica (2018) und Miller et al. (2022) wiesen eine Studienpopulation von Männern und Frauen auf. Trotz Ausweitung auf jegliche Sportarten und Geschlechter, trat diese Limitierung auf. Zukünftige Studien sollten sich weiteren Sportarten und möglichst beiden Geschlechtern widmen. Wie die Epidemiologie (Kapitel 2.1.3) zeigt, sind sowohl Männer als auch Frauen und eine Vielzahl an Athleten verschiedener Sportarten betroffen. Hierbei sollten auch weitere Sportarten, welche ein hohes Risiko für Stürze, Unfälle oder generell große Krafteinwirkungen auf den Kopf des Athleten aufweisen, weitergehend untersucht werden. Dazu gehören beispielsweise Reit-, Ski-, Motor-, Radsport oder Eislaut.

Eine neue Studie (Scoping Review) analysierte, wie die verschiedenen Menstruationszyklusphasen die Symptome und den Heilungsverlauf nach einer Gehirnerschütterung bei Sportlerinnen beeinflussen können. Der Review zeigte, dass hormonelle Schwankungen, vor allem der Progesteronabfall in der Lutealphase, die Beschwerden verstärken könnten. Die Hormonspiegel zum Zeitpunkt der Verletzung gelten als potenzieller Prädiktor für die Schwere der Genesung. (Carr & Fleddermann, 2025) Es ist sinnvoll, dass zukünftige Studien diese Ergebnisse bei der Analyse ihrer Studienergebnisse als möglichen Einflussfaktor berücksichtigen.

Diese systematische Literaturrecherche unterscheidet sich von bisherigen Meta-Analysen, indem sie ausschließlich Humanstudien und sowohl Studien mit präventiver, als auch kurativer Supplementation, untersuchten. Des Weiteren sind verschiedene Outcome-Parameter (Biomarker, Gehirnbildgebung, SCAT-Test, Return-to-sport, Fragebögen) inkludiert, welche den Heilungsprozess betreffen. Diese Literaturrecherche zeigt auf, dass weitere, groß angelegte qualitativ hochwertige Studien erforderlich sind, um die Wirkung von einer Supplementation mit Omega 3-Fettsäuren auf den Heilungsprozess einer SRC bei Athleten beider Geschlechter und unterschiedlicher Sportarten zu untersuchen und einen aussagekräftigen Effekt feststellen zu können.

5.3 Praktische Empfehlungen

In der praktischen Sporternährung sollten Ernährungsfachkräfte den *food first approach* verfolgen. Ernährungsfachkräfte sollten auf eine ausreichende Zufuhr von Omega 3-Fettsäuren durch die tägliche Ernährung bei Athleten achten. Des Weiteren sollte über die Relevanz der gesundheitsförderlichen Aspekte aufgeklärt werden. Vor dem Hintergrund der potenziell neuroprotektiven Wirkung und gesicherten, unter anderem anti-entzündlichen, Wirkungen, kann besonders bei Athleten, welche Sportarten mit einem größeren Risiko für SRC betreiben, ein Augenmerk auf die adäquate Zufuhr dieser Fettsäuren gelegt werden. Speziell bei Sportlern, welche beispielsweise aus persönlichen Präferenzen kein Fisch verzehren, sollte über Alternativen beraten werden und ggf. eine Supplementierung in Erwägung gezogen werden. Auch eine Messung der Konzentrationen im Blut zur Überprüfung kann sinnvoll sein. Zudem können Nachhaltigkeitsaspekte berücksichtigt werden, indem aus Algen hergestellte Supplemente in Betracht gezogen werden.

6 Schlussfolgerung

Anhand der vorliegenden systematischen Literaturrecherche lässt sich zusammenfassend sagen, dass eine Supplementation von Omega 3-Fettsäuren einen wahrscheinlich positiven Einfluss auf den Heilungsprozess nach einer SRC zu haben scheint. Tierversuchsstudien mit Ratten zeigen vielversprechende Ergebnisse zu einer neuroprotektiven Wirkung und Verbesserung des Heilungsprozesses durch Supplementation. Die Anzahl der Humanstudien sind hingegen gering und liefern keine signifikanten Ergebnisse. Die fehlende statistische Signifikanz ist jedoch vor dem Hintergrund kleiner Stichprobengrößen, unterschiedlichen Outcome-Parametern sowie Supplementierungen und teilweise unzureichender Randomisierung zu interpretieren. Einzelne signifikante Befunde sind aufgrund methodischer Limitationen vorsichtig zu bewerten und erlauben keine verlässlich kausalen Schlussfolgerungen. Trotz dieser Einschränkungen deutet die Gesamtheit der Ergebnisse auf einen tendenziell positiven Effekt auf den Heilungsprozess einer SRC hin, die mit den neuroprotektiven Ergebnissen aus vorherigen Tiermodellen übereinstimmen. Die inkludierten

Studien inkludieren überwiegend männliche American Football-Athleten in der Studienpopulation auf. Eine Übertragung der Ergebnisse auf Sportler anderer Sportarten ist fraglich. Diese Arbeit kommt zu dem Schluss, dass weitere, groß angelegte Studien erforderlich sind, um die Wirkung von Supplementation mit Omega 3-Fettsäuren auf den Heilungsprozess nach einer SRC bei Athleten beider Geschlechter und unterschiedlicher Sportarten zu untersuchen. Auch bezüglich der Supplementation-Dosis sind weitere Studien nötig. Des Weiteren sollten zukünftige Studien bei präventiver Supplementation die tatsächlichen Kopfbelastung objektiv erfassen.

Literaturverzeichnis

- Anzalone, A., Carbuhn, A., Jones, L., Gallop, A., Smith, A., Johnson, P., Swearingen, L., Moore, C., Rimer, E., McBeth, J., Harris, W., Kirk, M., Gable, D., Askow, A., Jennings, W., & Oliver, J. M. (2019). The Omega-3 Index in National Collegiate Athletic Association Division I Collegiate Football Athletes. *Journal of Athletic Training*, 54(1), 7-11.
<https://doi.org/10.4085/1062-6050-387-18>
- Armstrong, A., Anzalone, A. J., Pethick, W., Murray, H., Dahlquist, D. T., Askow, A. T., Heileson, J. L., Hillyer, L. M., Ma, D. W., & Oliver, J. M. (2021). An Evaluation of Omega-3 Status and Intake in Canadian Elite Rugby 7s Players. *Nutrients*, 13(11), 3777.
<https://doi.org/10.3390/nu13113777>
- Barrett, E. C., McBurney, M. I., & Ciappio, E. D. (2014). ω -3 Fatty Acid Supplementation as a Potential Therapeutic Aid for the Recovery from Mild Traumatic Brain Injury/Concussion. *Advances in Nutrition*, 5, 268-277. <https://doi.org/10.3945/an.113.005280>
- Beaudouin, F., Demmerle, D., Fuhr, C., Tröb, T., & Meyer, T. (2021). Head Impact Situations in Professional Football (Soccer). *Sports Medicine International Open*, 5, E37-E44.
<https://doi.org/10.1055/a-1336-8990>
- Bica, D. (2018). High Dose Omega-3 Fatty Acids in the Treatment of Sport Related Concussions. *o. J., o. S.* <https://doi.org/NCT01814527>
- Biesalski, H. K., Bischoff, S. C., Pirlich, M., & Weimann, A. (Eds.). (2018). *Ernährungsmedizin* (Vol. 5. Auflage). Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG. <https://doi.org/10.1055/b-004-132260>
- Broglio, S. P., Cantu, R. C., Gioia, G. A., Guskiewicz, K. M., Kutcher, J., Palm, M., & Valovich McLeod, T. C. (2014). National Athletic Trainers' Association Position Statement: Management of Sport Concussion. *Journal of Athletic Training*, 2, 245-265.
<https://doi.org/10.4085/1062-6050-49.1.07>
- Bundesinstitut für Risikobewertung. (2009). *Für die Anreicherung von Lebensmitteln mit Omega-3-Fettsäuren empfiehlt das BfR die Festsetzung von Höchstmengen*. Stellungnahme Nr. 030/2009.
- Carr, G., & Fleddermann, M.-T. (2025). The Influence of Menstrual Cycle Phases on Postconcussion Outcomes and Symptom Reporting: A Scoping Review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 35(7), e70093. <https://doi.org/10.1111/sms.70093>
- Cochrane Deutschland Stiftung, Institut für Evidenz in der Medizin, Institut für Medizinische Biometrie und Statistik, Freiburg, Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften - Institut für Medizinisches Wissensmanagement. (2020). *Manual Systematische Recherche für Evidenzsynthesen und Leitlinien*. (2.1 Auflage), 1-62. <https://doi.org/10.6094/UNIFR/174468>
- Daneshvar, D. H., Nowinski, C. J., McKee, A., & Cantu, R. C. (2011, Januar). The Epidemiology of Sport-Related Concussion. *Clinical Sports Medicine*, 30(5), 1-17.
<https://doi.org/10.1016/j.csm.2010.08.006>

- Gänsslen, A., Krutsch, W., Schmehl, I., & Rickels, E. (2016). Chronisch Traumatische Enzephalopathie: Wie Sportverletzungen das Gehirn schädigen können. *Deutsches Ärzteblatt Online*(2), o.S. <https://doi.org/10.3238/PersNeuro.2016.09.16.03>
- Giza, C. C., Kutcher, J. S., Ashwal, S., Barth, J., Getchius, T. S., Gioia, G. A., Gronseth, G. S., Guskiewicz, K., Mandel, S., Manley, G., McKeag, D. B., Thurman, D. J., & Zafonte, R. (2013). Summary of evidence-based guideline update: Evaluation and management of concussion in sports. *American Academy of Neurology*(80), 2250-2257. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e31828d57dd>
- Guo, S., Zhou, D., Zhang, M., Li, T., Liu, Y., Xu, Y., Chen, T., & Li, Z. (2017). Monitoring changes of docosahexaenoic acid-containing lipids during the recovery process of traumatic brain injury in rat using mass spectrometry imaging. *Scientific Reports*, 7(1), 5054. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05446-2>
- Harmon, K. G., Clugston, J. R., Dec, K., Hainline, B., Herring, S., Kane, S. F., Kontos, A. P., Leddy, J. J., McCrea, M., Poddar, S. K., Putukian, M., Wilson, J. C., & Roberts, W. O. (2019). American Medical Society for Sports Medicine position statement on concussion in sport. *British Journal of Sports Medicine*, 213-225. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100338>
- Harris, W. S. (2010). The Omega-3 Index: Clinical Utility for Therapeutic Intervention. *Current Cardiology Reports*(12), 503-508. <https://doi.org/10.1007/s11886-010-0141-6>
- Heileson, J. L., Anzalone, A. J., Carbuhn, A. F., Askow, A. T., Stone, J. D., Turner, S. M., Hillyer, L. M., Ma, D. W., Luedke, J. A., Jagim, A. R., & Olivier, J. M. (2021). The effect of omega-3 fatty acids on a biomarker of head trauma in NCAA football athletes: a multisite, non-randomized study. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 18(1), 65. <https://doi.org/10.1186/s12970-021-00461-1>
- Heileson, J. L., Macartney, M. J., Watson, N. L., Sergi, T. E., Jagim, A. R., Anthony, R., & Peoples, G. E. (2024, October). Nutritional Optimization for Brain Health in Contact Sports: A Systematic Review and Meta-Analysis on Long-Chain ω -3 Fatty Acids and Neurofilament Light. *Nutrition and physical performance*, 8(10), o.S. <https://doi.org/10.1016/j.cdnut.2024.104454>
- König, D., & Carlsohn, A. (Eds.). (2025). *Praxis der Sporternährung - Ein Leitfaden für Studierende und Fachkräfte der Ernährungs- und Sportwissenschaften*. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-68974-5>
- Langlois, J. A., Rutland-Brown, W., & Wald, M. M. (2006, Sep-Oct). The epidemiology and impact of traumatic brain injury: a brief overview. *The Journal of head trauma rehabilitation*, 21(5), 375-378. <https://doi.org/10.1097/00001199-200609000-00001>
- Lust, C. A., Burns, J. L., Jones, M. T., Smith, S. B., Choi, S. H., Kirk, M., Gable, D. A., Oliver, J. M., & Ma, D. W. (2023). The Dose-Response Effect of Docosahexaenoic Acid on the Omega-3 Index in American Football Athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 55(5), 865-872. <https://doi.org/10.1249/MSS.00000000000003117>
- Lust, C. A., Mountjoy, M., Robinson, L. E., Oliver, J. M., & Ma, D. W. (2020). Sports-related concussions and subconcussive impacts in athletes: incidence, diagnosis, and the emerging

- role of EPA and DHA. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*(45), 886-892.
<https://doi.org/10.1139/apnm-2019-0555>
- Matissek, R., & Hahn, A. (2023). *Lebensmittelchemie* (Vol. 10. Auflage). Springer Spektrum.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-66925-9>
- Maughan, R. J., Burke, L. M., Dvorak, J., Larson-Meyer, D. E., Peeling, P., Phillips, S. M., Rawson, E. S., Walsh, N. P., Garthe, I., Geyer, H., Meeusen, R., van Loon, L. J., Shirreffs, S. M., Spriet, L. L., Stuart, M., Vernec, A., Currell, K., Ali, V. M., Budgett, R. G., Ljungqvist, A., . . . Engebretsen, L. (2018). IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *British Journal of Sports Medicine*(52), 439-455.
<https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099027>
- Max Rubner-Institut. (2008). *Nationale Verzehrsstudie II - Ergebnisbericht, Teil 2*. Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel.
- McCuen, E., Svaldi, D., Breedlove, K., Kraz, N., Cummisky, B., Breedlove, E. L., Traver, J., Desmond, K. F., Hannemann, R. E., Zanath, E., Guerra, A., Leverenz, L., Talavage, T. M., & Nauman, E. A. (2015). Collegiate women's soccer players suffer greater cumulative head impacts than their high school counterparts. *Journal of Biomechanics*, 48, 3720-3723.
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2015.08.003>
- Mettler, S., Mannhart, C., & Colombani, P. C. (2009). Development and Validation of a Food Pyramid für Swiss Athletes. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 19, 504-518. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.19.5.504>
- Miller, S. M., Zynda, A. J., Sabatino, M. J., Jo, C., Ellis, H. B., & Dimeff, R. J. (2022). A Pilot Randomized Controlled Trial of Docosahexaenoic Acid for the Treatment of Sport-Related Concussion in Adolescents. *Clinical Pediatrics*, 61(11), 785-794.
<https://doi.org/10.1177/00099228221101726>
- Mullins, V. A., Graham, S., Cummings, D., Wood, A., Ovando, V., Skulas-Ray, A. C., Polian, D., Wang, Y., Hernandez, G. D., Lopez, C. M., Raikes, A. C., Brinton, R. D., & Chilton, F. H. (2022). Effects of Fish Oil on Biomarkers of Axonal Injury and Inflammation in American Football Players: A Placebo-Controlled Randomized Controlled Trial. *Nutrients*, 14, 2139.
<https://doi.org/10.3390/nu14102139>
- Mullins, V. A., Snider, J. M., Michael, B., Porter, L. R., Brinton, R. D., & Chilton, F. H. (2024). Impact of fish oil supplementation on plasma levels of highly unsaturated fatty acid-containing lipid classes and molecular species in American football athletes. *Nutrition & Metabolism*, 21(43), o. S. <https://doi.org/10.1186/s12986-024-00815-x>
- Nahrungsergänzungsmittelverordnung vom 24. Mai 2004 (BGBl. I S. 1011), die zuletzt durch Artikel 11 der Verordnung vom 5. Juli 2017 (BGBl. I S. 2272) geändert worden ist
- NFL Football Operations. (o.D.). *Updates: Concussions Decrease to Historic Low in 2024 NFL Season*. Retrieved Januar 13, 2026, from NFL football operations.
<https://operations.nfl.com/updates/football-ops/concussions-decrease-to-historic-low-in-2024-nfl-season/>
- Oliver, J. M., Jones, M. T., Kirk, M., Gable, D. K., Repshas, J. T., Johnson, T. A., Andreasson, U., Norgren, N., Blennow, K., & Zetterberg, H. (2016). Effect of Docosahexaenoic Acid on a

- Biomarker of Head Trauma in American Football. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(6), 974-982. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000875>
- Patch, C. S., Hill-Yardin, E. L., Lewis, M., Ryan, L., Daly, E., & Pearce, A. J. (2021). The More, the Better: High-Dose Omega-3 Fatty Acids Improve Behavioural and Molecular Outcomes in Preclinical Models in Mild Brain Injury. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 21, 45. <https://doi.org/10.1007/s11910-021-01132-z>
- Patricios, J. S., Schneider, K. J., Dvorak, J., Ahmed, O. H., Blauwet, C., Cantu, R. C., Davis, G. A., Echemendia, R. J., Makdissi, M., McNamee, M., Broglio, S., Emery, C. A., Feddermann-Demont, N., Fuller, G. W., Giza, C. C., Guskiewicz, K. M., Hainline, B., Iverson, G. L., Kutcher, J. S., Leddy, J. J., . . . Meeuwisse, W. (2023). Consensus statement on concussion in sport: the 6th International Conference on Concussion in Sport-Amsterdam, October 2022. *British Journal of Sports Medicine*(57), 695-711. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106898>
- Prien, A., Grafe, A., Rössler, R., Junge, A., & Verhagen, E. (2018). Epidemiology of Head Injuries Focusing on Concussions in Team Contact Sports: A Systematic Review. *Sports Medicine*(48), 953-969. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0854-4>
- Raikes, A. C., Hernandez, G. D., Mullins, V. A., Wang, Y., Lopez, C., Killgore, W. D., Chilton, F. H., & Brinton, R. D. (2022). Effects of docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid supplementation on white matter integrity after repetitive sub-concussive head impacts during American football: Exploratory neuroimaging findings from a pilot RCT. *Frontiers in Neurology*, 13, 1664-2295. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.891531>
- Scharhag, J., & Araújo, C. G. (2016). Athlete: a working definition for medical and health sciences research. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 26(1), 4-7. <https://doi.org/10.1111/sms.12632>
- Schröger, E., Grimm, S., & Müller, D. (2022). *Biologische Psychologie* (Vol. 2. Auflage). (J. Kriz, Ed.) Springer-Verlag GmbH Deutschland. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-65179-7>
- Silverberg, N. D., & Iverson, G. L. (2023). The American Congress of Rehabilitation Medicine Diagnostic Criteria for Mild Traumatic Brain Injury. (A. B., & A. M., Eds.) *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*(104), 1343-1355. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2023.03.036>
- Stehle, P., & Ellinger, S. (2024). *Einführung in die Humanernährung - Physiologische Grundlagen, Nährstoffe, Ernährungsformen*. Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-68399-6>
- von Schacky, C., Kemper, M., Haslbauer, R., & Halle, M. (2014). Low Omega-3 Index in 106 German Elite Winter Endurance Athletes: A Pilot Study. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 24, 559-564. <https://doi.org/10.1123/ijnsnem.2014-0041>
- Zech, A., Hollander, K., Junge, A., Steib, S., Groll, A., Heiner, J., Nowak, F., Pfeiffer, D., & Rahlf, A. L. (2022). Sex differences in injury rates in team-sport athletes: A systematic review and meta-regression analysis. *Journal of Sport and Health Science*, 11, 104-114. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.04.003>

- Zetterberg, H., Smith, D. H., & Blennow, K. (2013). Biomarkers of mild traumatic brain injury in cerebrospinal fluid and blood. *Nature Reviews Neurology*, 9(4), 201-210.
<https://doi.org/10.1038/nrneurol.2013.9>
- Ziegenhagen, R., Braun, H., Carlsohn, A., Großhauser, M., Heseker, H., König, D., Mosler, S., Nieß, A., Oberritter, H., Schäbenthal, K., Schek, A., Stehle, P., Virmani, K., & Lampen, A. (2020). Sicherheitsaspekte bei Nahrungsergänzungsmitteln im Sport. Position of the working group sports nutrition of the German Nutrition Society (DGE). *Ernährungs Umschau*, 67(2), 42-50. <https://doi.org/10.4455/eu.2020.012>
- Zuckerman, S. L., Kerr, Z. Y., Yengo-Kahn, A., Wasserman, E., Covassin, T., & Solomon, G. S. (2015). Epidemiology of Sports-Related Concussion in NCAA Athletes From 2009-2010 to 2013-2014. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(11).
<https://doi.org/10.1177/0363546515599634>

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.



Jeanette Kathrin Olbrich

Hamburg, den 13.02.2026