

Diplomarbeit

Nahrungsergänzungsmittel im Kraftsport
(Nutritional Supplements in Strength Sports Athletes)

eingereicht von

Hafner Robert

Mat.Nr.: 0311045

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt am

Institut für Physiologie

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dr. Günther Schwabegger

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

Unterschrift

Zusammenfassung

Kraftsportler benötigen eine optimal bilanzierte Ernährung. Da durch den Verzehr herkömmlicher Nahrungsmittel die notwendigen Nährstoffe oft weder in ausreichendem Umfang noch in idealer Dosierung aufgenommen werden, konsumieren Athleten der verschiedensten sportlichen Disziplinen so genannte Nahrungsergänzungsmittel, um Kohlenhydrate, Proteine, Kreatin, BCAAs u.a. ohne großen Aufwand vor, während und nach körperlicher Belastung.

Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es, auf der Grundlage aktueller Studienergebnisse das ergogene Potential, den optimalen Einnahmezeitpunkt, die Frage der Dosierung, aber auch die gesundheitlichen Risiken und Nebenwirkungen, die mit dem Konsum der verschiedenen Nahrungsergänzungsmittel einhergehen, kritisch und umfassend darzustellen.

Besonderes Gewicht wird dabei auf Protein-, Kohlenhydrat-, Kreatin- und BCAA-Präparate gelegt, wobei auch noch weitere gängige Supplemente besprochen werden.

Es ist zu hoffen, dass damit dem Sportler, vor allem aber dem beratenden Arzt eine Entscheidungshilfe geboten wird.

Abstract

Power athletes need to eat a well-balanced basic diet, but there are several nutritional factors that are difficult to obtain at a sufficient level from a normal diet. Thus, nutritional supplements containing carbohydrates, proteins, creatine, BCAAs, vitamins and other ingredients have been widely used in various sporting fields, partly because these supplements are easily taken before, during, and/or after exercise.

The purpose of this literature review was to describe the relevant physiological changes that occur during exercise and to determine the effectiveness of the various supplements on improvement of athletic performance, the best rate and time of ingestion and the potential side effects, based on the latest data.

This thesis will focus on protein-, carbohydrate-, creatine- as well as BCAA-products, but also on other supplements which are marketed as a means to enhance muscle growth, strength and power.

However, these foods should only be used when there is clear scientific evidence and with understanding of the physiological changes caused by exercise.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	I
Abstract	II
Inhaltsverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
1.1 Einführung, Problemstellung und Zielsetzung	1
1.2 Inhaltlicher Überblick	2
2 Protein-Präparate	3
2.1 Einführung	3
2.2 Grundlagen	4
2.3 Digestion und Absorption von Proteinen und Aminosäuren	5
2.4 Metabolismus von Proteinen und Aminosäuren	6
2.5 Protein-Supplementation	7
2.5.1 Proteingehalt und Zusammensetzung in Nahrungsmitteln	7
2.5.2 Methoden zur Qualitätsbestimmung von Proteinen	8
2.5.3 Der optimale Proteintyp	9
2.5.4 Proteinbedarf von Athleten im Kraftsport	10
2.5.5 Timing	10
2.6 Gesundheitliches Risikopotential	12
3 Kohlenhydrate	15
3.1 Einführung	15
3.2 Grundlagen	15
3.3 Kohlenhydrat-Supplementation	16
3.3.1 Effekte auf die Glykogenspeicher	16
3.3.2 Wirkungen	17
3.3.3 Glykämischer Index	18
3.3.4 Dosis und Timing	19
3.4 Gesundheitliche Risiken und Nebenwirkungen	21
4 Kreatin	23
4.1 Einführung	23
4.2 Grundlagen	23

4.3	Metabolismus	24
4.4	Kreatin-Supplementation	25
4.4.1	Effekte auf die muskulären Kreatin-Speicher	25
4.4.2	Responder und Nonresponder	26
4.4.3	Wirkungen von Kreatin	27
4.4.4	Dosierung	29
4.4.5	Timing	30
4.4.6	Verschiedene Präparate	30
4.5	Therapeutische Anwendungen	31
4.6	Gesundheitliche Risiken und Nebenwirkungen	31
5	Verzweigtkettige Aminosäuren (BCAAs)	33
5.1	Einführung	33
5.2	BCAA-Supplementation	34
5.2.1	Wirkungen	34
5.2.2	Dosierung	37
5.2.3	Therapeutische Anwendungen	37
5.3	Gesundheitliche Risiken und Nebenwirkungen	38
6	Aminosäuren und Aminosäurederivate	39
6.1	Arginin	39
6.1.1	Grundlagen	39
6.1.2	Supplementation	39
6.1.2.1	Wirkungen	39
6.1.2.2	Dosierung	40
6.1.3	Gesundheitliches Risikopotential	40
6.2	Glutamin	41
6.2.1	Grundlagen	41
6.2.2	Supplementation	41
6.2.2.1	Wirkungen	41
6.2.2.2	Dosierung	42
6.2.3	Gesundheitliches Risikopotential	42
6.3	HMB	43
6.3.1	Grundlagen	43
6.3.2	Wirkungen	43

6.3.3	Gesundheitliche Risiken und Nebenwirkungen	44
6.4	L-Carnitin	45
6.4.1	Grundlagen	45
6.4.2	Wirkungen	45
6.4.3	Gesundheitliche Risiken und Nebenwirkungen	46
7	Weitere Supplemente	47
7.1	Coffein	47
7.1.1	Grundlagen	47
7.1.2	Supplementation	47
7.1.2.1	Wirkungen	47
7.1.2.2	Dosierung	49
7.1.3	Gesundheitliches Risikopotential	49
7.2	NaHCO ₃ (Natriumhydrogencarbonat)	51
7.2.1	Grundlagen	51
7.2.2	Wirkungen	51
7.2.3	Gesundheitliche Risiken und Nebenwirkungen	52
7.3	Konjugierte Linolsäure (CLA)	53
7.3.1	Grundlagen	53
7.3.2	Wirkungen	53
7.3.3	Gesundheitliche Risiken und Nebenwirkungen	53
8	Schlussbetrachtung	55
	Literaturverzeichnis und Internetquellen	57

Abkürzungsverzeichnis

ADH	Antidiuretisches Hormon
ADP	Adenosindiphosphat
ALT	Alanin-Aminotransferase
Altgr.	Altgriechisch
AST	Aspartat-Aminotransferase
ATP	Adenosintriphosphat
BCAAs	Branched-Chain Amino Acids (Verzweigtkettige Aminosäuren)
BMR	Basal Metabolic Rate (Grundumsatz)
Bsp.	Beispiel
BW	Biologische Wertigkeit
C	Kohlenstoff
CK	Creatin-Kinase
CLA	Conjugated linoleic acid (konjugierte Linolsäure)
CO ₂	Kohlendioxid
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease (Chronisch obstruktive Lungenerkrankung)
CrM	Creatin-Monohydrat
D	Day (Tag)
DNA	Desoxyribonukleinsäure
DRI	Dietary Reference Intake (Ernährungsempfehlung)
e.g.	Exempli gratia (zum Beispiel)
Et al.	Et alii (und andere)
Etc.	Et cetera (und so weiter)
FFM	Fat-Free Mass (Fettfreie Masse)
g	Gramm
GH	Growth Hormone (Wachstumshormon)
GI	Glykämischer Index
GI-Trakt	Gastrointestinal-Trakt (Magen-Darm-Trakt)
GL	Glykämische Last
GOT	Glutamat-Oxalacetat-Transaminase

GPT	Glutamat-Pyruvat-Transaminase
H ⁺ -Ionen	Wasserstoff-Ionen
H ₂ CO ₃	Kohlensäure
H ₂ O	Wasser
HCO ₃ ⁻	Hydrogencarbonat
HDL	High Density Lipoprotein
HMB	Beta-Hydroxy-Beta-Methylbutyrat
i.d.R.	In der Regel
IFN	Interferon
IGF	Insulin-like growth factor
IL	Interleukin
Kcal	Kilokalorie
Kg	Kilogramm
KH	Kohlenhydrate
KIC	Ketoisocaproat
KJ	Kilojoule
LDH	Laktatdehydrogenase
LDL	Low Density Lipoprotein
mg	Milligramm
mmol	Millimol
MPB	Muscle protein breakdown (Muskelproteinabbau)
MPS	Muskelproteinsynthese
mRNA	Messenger-Ribonukleinsäure (Boten-Ribonukleinsäure)
NaHCO ₃	Natriumhydrogencarbonat
NO	Stickstoffmonoxid
NPB	Netto-Protein-Bilanz
O	Sauerstoff
PAL	Physical-Activity-Level (Aktivitätsniveau)
PAVK	Periphere arterielle Verschlusskrankheit
PDCAAS	Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score
PER	Protein Efficiency Ratio
pH	Potentia Hydrogenii (Kraft des Wasserstoffs)

RDA	Recommended Daily Allowance (Empfohlener Tagesbedarf)
RM	Repetition maximum (maximale Wiederholungen)
TNF	Tumornekrosefaktor
u.a.	Und andere
z.B.	Zum Beispiel

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Proteinogene Aminosäuren.....	5
Tabelle 2 - Glykämischer Index.....	19

1. Einleitung

1.1. Einführung, Problemstellung und Zielsetzung

Nahrungsergänzungsmittel oder Nahrungssupplemente sind Produkte zur erhöhten Versorgung des menschlichen Stoffwechsels mit exakt definierten Nähr- oder Wirkstoffen und werden üblicherweise in lebensmitteluntypischer Form, z.B. als Pulver, Kapseln, Granulat, Tabletten u.a. angeboten.

Diese Arbeit bietet in scharfer Abgrenzung zu anabolen Steroiden und anderen illegalen Dopingmittel einen Überblick über die beliebtesten legalen und damit am häufigsten eingesetzten Nahrungsergänzungsmittel im Kraftsport [1, 2, 3, 4], einer Sportgattung, bei der ein hohes Maß an maximaler Kraft und eine entsprechend entwickelte Muskelmasse die wichtigsten leistungsbegrenzenden Einflussgrößen darstellen.

Nahrungssupplemente - durch ihre äußere Erscheinung, ihre Werbung und ihren Preis eher an der Grenze zu Medikamenten angesiedelt - sind rechtlich gesehen Lebensmittel. Die öffentlichen Diskussionen zur Supplementation verschiedenster Präparate im Sport werden meist sehr polarisierend und aus wissenschaftlicher Sicht wenig fundiert geführt, was bei den Verbrauchern teils erhebliche Unsicherheiten hervorruft. Befürworter halten sie für unverzichtbar, um im Sport erfolgreich zu sein, Gegner hingegen sprechen ihnen weitgehend ihre Berechtigung ab.

Einerseits konsumieren Sportler die verschiedensten Produkte teils mit berechtigten Erwartungen, teils mit völlig überzogenen Hoffnungen auf ergogene Effekte und aus einer Unkenntnis über ihre Versorgungssituation mit Nährstoffen. Andererseits werden Supplemente teils mit berechtigten Argumenten, teils durch unbegründete Ängste und Vorurteile abgelehnt. Darüber hinaus weiß der Autor aus persönlicher Erfahrung, dass vor allem im Bereich des Hobby-Kraftsports aufgrund mangelnder fundierter Informationen, im blinden Glauben an die Werbeslogans der Industrie, Präparate sozusagen im Selbstversuch ausprobiert

und in massiv überhöhten Dosen eingenommen werden, was zu gesundheitlichen Schäden führen kann.

Das Ziel der Arbeit ist somit, durch eine Recherche der neuesten Literatur und Publikationen den aktuellen Status Quo im Bereich der Nahrungsergänzungsmittel darzustellen. Die einzelnen Präparate werden vorgestellt, ihre Wirkungsweise wird erklärt und es wird zu Themen wie ergogenes Potential, Dosierung und gesundheitliches Risiko Stellung genommen.

Durch die damit entstandene komprimierte Darstellung der neuesten Erkenntnisse wird dem Interessierten eine Informationsgrundlage und Entscheidungshilfe geboten.

1.2. Inhaltlicher Überblick

Die Arbeit ist in acht Abschnitte unterteilt, wobei die Kapitel 2 bis 7 den Hauptteil repräsentieren.

Besonderer Wert wurde auf die umfangreiche Darstellung der vier bei weitem am häufigsten und in höchster Dosierung eingesetzten Nahrungsergänzungsmittel gelegt. Dies sind Eiweiß-Präparate, Kohlenhydrate, Kreatin und die verzweigt-kettigen Aminosäuren (BCAAs) Valin, Leucin und Isoleucin.

Weniger ausführlich wird in den Kapiteln 6 und 7 zu weiteren Präparaten Stellung genommen, wobei aber auch hier die wesentlichen Themen, wie ergogenes Potential, Dosierung und gesundheitliches Risiko behandelt werden.

2. Protein-Präparate

2.1. Einführung

In allen Sportarten, jedoch besonders im Bereich des Kraftsports, führt das physische Training zu einem erhöhten Bedarf an Proteinen, um die entstandenen Aminosäure-Verluste zu kompensieren sowie neue Ressourcen für den Muskelaufbau bereitstellen zu können. Dieser Zusammenhang führt nun schon seit vielen Jahrzehnten dazu, dass die Protein-Supplementierung die im Kraftsport am häufigsten und in der höchsten Dosierung angewandte Nahrungsergänzung darstellt. Der Vorteil von Proteinkonzentraten gegenüber herkömmlichen Proteinquellen wie Fleisch, Fisch, Eiern, Milchprodukten und Soja liegt darin, dass sie es dem Athleten ermöglichen ausschließlich den Proteinanteil in seiner Ernährung zu erhöhen, ohne dabei Kohlenhydrate, Fette, Cholesterin und Purine zuzuführen. Obwohl in den letzten Jahren zahllose Studien und Untersuchungen über die optimale Dosierung der Proteinzufuhr im Bereich des Kraftsports durchgeführt, ausgewertet und verglichen worden sind, ist eine einheitliche wissenschaftlich fundierte Empfehlung immer noch ausständig. Zusätzlich zeigen jüngste Untersuchungen, dass sich neben der Dosierung auch andere Einflussgrößen wie Zeitpunkt der Einnahme und Zusammensetzung der Protein-Supplementierung entscheidend auf Leistungssteigerung und Muskelwachstum auswirken [3, 4].

In diesem Abschnitt der Arbeit soll nun Stellung genommen werden zum Protein- und Aminosäuren-Metabolismus, zur Bestimmung der Qualität der einzelnen Proteinarten, welche dann auch miteinander verglichen werden. Weiter sollen vernünftige Dosierungen, der optimale Zeitpunkt der Einnahme sowie gesundheitliche Risiken und Nebenwirkungen besprochen werden.

2.2.Grundlagen

"Proteine sind kettenförmige Makromoleküle, in denen die 21 proteinogenen Aminosäuren in einer jeweils spezifischen Sequenz miteinander verknüpft sind" [5].

Ungefähr 65% des körpereigenen Proteinvorkommens findet man beim Menschen in der Skelettmuskulatur. Neben der Bedeutung als Makronährstoff, bilden Proteine in den verschiedensten körpereigenen Strukturen und Systemen lebenswichtige Funktionseinheiten. Einige davon sollen hier kurz angeführt werden:

- Hormone (GH, Insulin, Glucagon, ADH, etc.)
- Enzyme
- Antikörper
- Steuerung der Flüssigkeitshomöostase (Albumin, Globuline)
- Transportmoleküle (Hämoglobin, Lipoproteine etc.)

Neben Kohlenhydraten (KH) und Lipiden bilden Proteine den dritten der drei Makronährstoffe. Wie Lipide sind sie essentielle Baustoffe und ähnlich wie KH verfügen sie über eine Energiedichte von ungefähr 17 kJ (4 kcal) pro Gramm. Der auf molekularer Ebene vorliegende große Unterschied zu den beiden anderen Makronährstoffen, welcher den Proteinen so spezifische Fähigkeiten gibt, ist der Stickstoffgehalt ihrer Untereinheiten (Aminosäuren). Es gibt 21 sogenannte proteinogene (proteinbildende) Aminosäuren, die üblicherweise in 'essentielle Aminosäuren' und 'nicht essentielle Aminosäuren' unterteilt werden. Essentiell sind jene Aminosäuren, die der Körper nicht eigenständig synthetisieren kann und die demnach mit der Nahrung zugeführt werden müssen. 'Nicht essentielle Aminosäuren' kann der Körper selbst synthetisieren, wobei das auf zwei Aminosäuren nur bedingt zutrifft, da für ihre Biosynthese eine essentielle Aminosäure benötigt wird, sodass für diese beiden der Begriff 'bedingt essentiell' (in der Tabelle als 'bedingt essentiell' (1) angeführt) am zutreffendsten erscheint. Eine Ausnahmesituation entsteht bei intensiver körperlicher Belastung, da diese

zu einer insuffizienten Synthese von vier normalerweise 'nicht essentiellen Aminosäuren' führt, welche demnach zusätzlich über die Nahrung zugeführt werden müssen. Diese bezeichnet man etwas unglücklich ebenso als 'bedingt essentiell' (in der Tabelle als 'bedingt essentiell' (2) angeführt). Die proteinogenen Aminosäuren sind in *Tabelle 1* zusammengestellt [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Tabelle 1 - Proteinogene Aminosäuren [3, 5]

Essentielle Aminosäuren	Nichtessentielle Aminosäuren
Histidin	Alanin
Isoleucine+	Arginin**
Leucin+	Asparagin
Lysin	Aspartat
Methionin	Cystein*
Phenylalanin	Glutamat
Threonin	Glutamin**
Tryptophan	Glycin**
Valin+	Prolin**
	Serin
	Tyrosin*

+BCAAs (Branched-Chain Amino Acids)

*Bedingt essentielle Aminosäuren (1)

**Unter Belastung bedingt essentielle Aminosäuren (2)

2.3. Digestion und Absorption von Proteinen und Aminosäuren

Im Gastrointestinaltrakt (GI-Trakt) werden Proteine mittels verschiedenster Enzyme gespalten und zerlegt, bis sie als Aminosäuren vorliegen und absorbiert (resorbiert) werden können. Nicht absorbierte Proteine werden insbesondere von Bakterien der Dickdarmflora zerlegt, wobei größere Mengen Methangas und Schwefelwasserstoff frei werden [3].

Im Gegensatz zur gängigen Meinung gibt es keine nachgewiesene Höchstmenge an Proteinen, die - mit einer Mahlzeit eingenommen - noch absorbiert werden kann. Es ist jedoch bekannt, dass ungefähr 95% von verdautem tierischem Eiweiß, sowie 85% von verdautem pflanzlichem Eiweiß absorbiert werden können [10].

2.4. Metabolismus von Proteinen und Aminosäuren

Der Proteinumsatz ist ein dynamischer Prozess, der eine ständige Aufnahme sowie Abgabe von Aminosäuren aus ihren Speichern voraussetzt. Die Aminosäuren werden herangezogen um Proteine oder andere Stickstoffverbindungen zu synthetisieren und um unter Energiegewinnung oxidiert zu werden. Bevor Aminosäuren zur Energiegewinnung herangezogen werden können, müssen sie jedoch ihre Aminogruppe abspalten, was mittels zweier Mechanismen möglich ist: (1) Transaminierung oder (2) Desaminierung. Hier ist es für Kraftsportler von Bedeutung, dass die sogenannten verzweigtkettigen Aminosäuren (BCAAs) Valin, Leucin und Isoleucin im Muskel in besonders hohen Mengen transaminiert werden. Das legt die Vermutung nahe, dass es sinnvoll wäre, diesem Verlust mit BCAA-Konzentraten entgegenzuwirken, was in Kapitel 5 ausführlich behandelt wird. Als *Transaminierung* bezeichnet man jene chemische Reaktion, bei der eine Aminosäure ihre Aminogruppe auf eine Ketosäure (v.a. alpha-Ketoglutarat) überträgt, wobei eine neue Ketosäure, sowie eine neue Aminosäure (i.d.R. Glutamat) entstehen. Für diese Reaktionen sind Enzyme notwendig, welche man als Transaminasen bezeichnet. Die wichtigsten zwei sollen hier genannt werden: Alanin-Aminotransferase (ALT oder GPT) und Aspartat-Aminotransferase (AST oder GOT).

Die beiden Enzyme ALT und AST werden in der Medizin als laborchemische Marker für eine hepatozelluläre Schädigung herangezogen, wobei an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen werden muss, dass es bei Kraftsportlern durch den bei intensivem Training gesteigerten Proteinumsatz physiologisch zu deutlichen Erhöhungen der Enzymaktivität kommen kann [3].

Bei der *Desaminierung* wird die Aminogruppe abgespalten, als toxischer Ammoniak freigesetzt, in der Leber als Harnstoff fixiert und über die Nieren sowie über die Schweißdrüsen ausgeschieden. Neben Harnstoff ist auch Kreatinin ein weiteres wichtiges Ausscheidungsprodukt des Proteinstoffwechsels. Die Harnstoffausscheidung korreliert direkt mit der Proteinzufuhr, wohingegen Kreatinin bei normaler Nierenfunktion ziemlich konstant ausgeschieden wird. Der Kreatinin-Clearance kommt jedoch die Besonderheit zu, direkt proportional mit der Muskelmasse zu steigen oder zu fallen, weshalb sie bei Sportlern neben der Glomerulären Filtrationsrate (GFR) als indirektes Maß zur Bestimmung der Muskelmasse eingesetzt werden kann [11].

2.5. Protein-Supplementation

2.5.1. Proteingehalt und Zusammensetzung in Nahrungsmitteln

Der Proteingehalt sowie die Proteinzusammensetzung, also das Aminosäurenprofil der unterschiedlichen Nahrungsmittel variiert in hohem Maße. Man unterscheidet bei Nahrungsproteinen zwischen 'kompletten Proteinen', also solchen, die alle neun essentiellen Aminosäuren enthalten und 'inkompletten Proteinen', also jenen, die zumindest eine der essentiellen Aminosäuren nicht enthalten. 'Komplette Proteine' sind vor allem in tierischem Eiweiß enthalten, wohingegen pflanzliches Eiweiß mit wenigen Ausnahmen wie etwa Soja überwiegend 'inkomplette Proteine' enthält [3]. Bei dem Konsum von Protein-Supplementen sollten demnach möglichst Präparate mit tierischem Eiweiß oder Sojaproteinen verwendet werden [3].

Um Angaben über den Proteingehalt der einzelnen Nahrungsmittel zu erlangen, kann man im Internet mittlerweile unter den verschiedensten Adressen diverse Nahrungstabellen aufrufen.

2.5.2. Methoden zur Qualitätsbestimmung von Proteinen

Die Proteinqualität ist ein Maß dafür, mit welcher Effizienz ein Nahrungseiweiß in ein körpereigenes Protein umgesetzt werden kann [12]. Die drei gängigsten Maßmethoden sind die 'Biologische Wertigkeit' (BW), die 'protein efficiency ratio' (PER) und der 'Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score' (PDCAAS).

Die 'Biologische Wertigkeit' bestimmt die Ähnlichkeit der Aminosäuren-Zusammensetzung von Nahrungseiweiß mit einem für den menschlichen Organismus repräsentativen Testprotein, wobei den essentiellen Aminosäuren besondere Bedeutung zukommt. Als Referenzwert dient hier das Vollei, dessen BW vor nahezu einem Jahrhundert willkürlich mit 100 festgelegt wurde, da angenommen wurde, es besäße die höchste biologische Wertigkeit, wobei mittlerweile bekannt ist, dass insbesondere durch die Kombination von Nahrungsmitteln eine deutlich höhere BW erzielt werden kann (Bsp.: 136 für Kartoffel + Ei).

a) Biologische Wertigkeit (BW):

Die BW ist ein solider Richtwert, um die Qualität von Proteinen beurteilen zu können, wobei erwähnt werden muss, dass mit der BW lediglich Aussagen über die Verwertbarkeit, nicht jedoch, wie bei dem PDCAAS, über die Verfügbarkeit von Proteinen getroffen werden können [3, 9, 12, 13].

b) Protein Efficiency Ratio (PER):

Die 'protein efficiency ratio' misst die Gewichtszunahme in Relation zur Proteinaufnahme bei Ratten ($PER = \text{g Gewichtszunahme} / \text{g Proteinaufnahme}$). Neben den Stoffwechselunterschieden zwischen Mensch und Ratte ist der PER-Wert einzelner Proteine in hohem Maße altersabhängig, daher wenig aussagekräftig und heute kaum mehr in Verwendung [3, 9, 12, 13].

c) Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score (PDCAAS):

Der 'Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score' ist eine neue, sehr komplexe Methode zur Qualitätsbestimmung von Proteinen, weshalb hier nur die beiden wesentlichsten Bestandteile genannt werden sollen. Einerseits

berücksichtigt der PDCAAS den Aminosäuregehalt und damit die Verwertbarkeit (das entspricht ungefähr der BW), andererseits die Absorbierbarkeit, also die Verfügbarkeit von Proteinen, wobei hier der Höchstwert 1.00 optimale Verhältnisse, wie sie beispielsweise beim Molkeprotein vorliegen, beschreibt [3, 9, 12, 13].

Damit ist der PDCAAS der wohl aussagekräftigste Wert für die Qualitätsbestimmung von Proteinen und sollte bei der Wahl von Protein-Supplementen mitberücksichtigt werden [3, 9, 12, 13].

2.5.3. Der optimale Proteintyp

Die besten Quellen für hochwertiges Eiweiß sind Milch-, Molke-, Casein-, Ei- und Sojaproteine, wobei die Molkeproteine bei Kraftsportlern als die besten gelten, da sie besonders hohe Mengen an BCAAs und Glutamin enthalten [14]. Jedoch haben alle gemeinsam, dass sie mit einem PDCAAS von 1.00 zu den Proteinen mit der höchsten Qualität zählen. An dieser Stelle soll nicht unerwähnt bleiben, dass bei den eben besprochenen Proteinen erhebliche Unterschiede in Bezug auf Verdauung und Absorption bestehen. So stehen einander insbesondere Casein als 'langsame' und Molke als 'schnelle' Proteine gegenüber. Studien, in denen untersucht wurde, welche der beiden Proteinarten als Supplementierung besser zum Aufbau von Muskulatur geeignet sei, konnten keine eindeutigen Vor- oder Nachteile aufzeigen. Aufgrund der Informationen über die unterschiedliche Geschwindigkeit bei Verdauung und Absorption, ist die gängige Strategie von Kraftsportlern, einerseits früh morgens sowie vor und nach dem Training vorwiegend Molkeproteine und vor dem Schlafengehen vorwiegend Caseinproteine einzunehmen. Generell wird jedoch empfohlen, bei der Nahrungsergänzung mit Eiweißpräparaten auf ein ausgewogenes Verhältnis der einzelnen Proteinkomponenten zu achten [4, 13].

2.5.4. Proteinbedarf von Athleten im Kraftsport

Eine der am häufigsten gestellten Fragen von Kraftsportlern, Trainern und Menschen, die sich für das Thema Kraftsport interessieren, ist, wieviel Protein der Körper benötigt um optimale Voraussetzungen für Muskelwachstum (Muskelfaser-Hypertrophie) und Kraftsteigerung zu haben. Diese sind das Ergebnis aus einer positiven Stickstoffbilanz (es wird mehr Eiweiß aufgenommen als abgegeben) kombiniert mit Krafttraining, dessen Effekt es ist, die positive 'Netto-Protein-Bilanz' zu erhöhen (Krafttraining führt zu gesteigerter Sezernierung von GH, Testosteron und anderen Wachstumsfaktoren) [14]. Unter 'Netto-Protein-Bilanz' (NPB) versteht man die Differenz aus Muskelproteinsynthese (MPS) und Muskelproteinabbau (MPB) ($NPB = MPS - MPB$) [15]. Studien zu diesem Thema zeigen, dass Krafttraining nachweislich zu einer Erhöhung der Proteinsynthese und damit zu einer Muskelfaser-Hypertrophie führt, was jedoch eine positive Stickstoffbilanz und demnach eine adäquate Proteinzufuhr als Grundvoraussetzung hat. Ist diese nicht erfüllt, befindet sich der Körper also in einer negativen Stickstoffbilanz, können weder Muskel- noch Kraftzuwächse verzeichnet werden [16-21]. Was nun aber die tatsächliche Höhe der optimalen Dosierung der Proteinzufuhr beim Kraftsportler betrifft, so muss man an dieser Stelle sagen, dass in der Fachliteratur, vor allem der vergangenen Jahre, sehr kontroverse Ansichten bestehen. Auch heute noch empfiehlt der 'Dietary Reference Intake' (DRI) für alle Personen eines Alters von 19 Jahren oder darüber eine Proteinzufuhr von 0,8 g/kg Körpergewicht unabhängig von deren körperlicher Aktivität [22]. Jüngere Studien zeigen jedoch, dass für Kraftsportler die optimale Dosierung deutlich höher anzusetzen ist, wobei die meisten eine Einnahme von 1,5 - 2,0 g Eiweiß/kg Körpergewicht bzw. 30 - 35% der täglichen Kalorienzufuhr in Form von Proteinen empfehlen [13, 14, 16, 17, 22].

2.5.5. Timing

Ein relativ junges Gebiet im Bereich der Sporternährung ist das sog. 'timing of nutrient ingestion' (zeitliche Planung der Nahrungsaufnahme), wobei dessen große Bedeutung mittlerweile durch zahlreiche Studien belegt ist.

So konnte gezeigt werden, dass der Konsum von Proteinkonzentraten *direkt nach* dem Krafttraining zu deutlich höherem Muskel- und Kraftzuwachs führt als eine Supplementierung zwei Stunden nach dem Krafttraining [14, 23, 24]. Weiter wurde nachgewiesen, dass die Einnahme von Eiweißpräparaten unmittelbar *vor* dem Training wiederum zu höheren Muskelzuwächsen führt als eine Einnahme nach dem Training [25].

Einen zusätzlichen Stimulus zur Maximierung des Muskelaufbaus kann man durch die kombinierte Einnahme mit *Kohlenhydraten* erzielen, da diese zu einer erhöhten Insulinsekretion führen, was über die anabolen Eigenschaften von Insulin die Proteinsynthese steigert und dem Katabolismus entgegenwirkt [14]. Flakoll et al. konnten nachweisen, dass die Einnahme von Proteinkonzentraten (10 g) *direkt nach* dem Training auch gesundheitliche Vorteile mit sich bringt. Es wurden in der Gruppe, die eine Protein-Supplementierung angewandt hatte, im Gegensatz zu den Kontrollgruppen (proteinfreie Kohlenhydrat-Supplementierung bzw. Placebo) um 28% geringere Raten an bakteriellen oder viralen Infektionen, 37% geringere Raten an Verletzungen des Bewegungsapparates, 83% weniger Fälle an Erschöpfungszuständen sowie deutlich geringere Raten an Muskelschmerzen beobachtet [26]. Darüberhinaus ist mittlerweile bekannt, dass insbesondere Molke-Proteine das Immunsystem positiv beeinflussen können, beispielsweise durch den hohen Gehalt an Cystein, einer für die Glutathionproduktion (wichtiger Bestandteil der körpereigenen Redoxsysteme) notwendigen Aminosäure [13].

Abschließend kann man sagen, dass Kraftsportler insbesondere in der Zeit unmittelbar vor und nach dem Training darauf achten sollten, hochwertige Proteinkonzentrate zu konsumieren, was auch von der 'International Society of Sports Nutrition' nach aktuellem Stand empfohlen wird [13].

2.6. Gesundheitliches Risikopotential

In den Medien und seitens der Medizin wird häufig berichtet, dass die chronische Einnahme von Proteinsupplementen in hoher Dosierung ungesund sei und zu Nieren- oder anderen Organschäden führen könne. Hier soll gleich vorweggenommen werden, dass der Autor keinerlei Evidenz für derartige Behauptungen finden konnte, wobei folgendes klar sein muss: 'Absence of evidence is not evidence of absence'.

Der in diesem Zusammenhang wohl wichtigste Punkt ist, ob der durch Proteinkonsum erhöhte glomeruläre Druck bei der *gesunden* Sportlerniere zu Schäden führt. Der Nachweis für eine solche Schädigung wurde bei Patienten mit schon vorbestehender Nierenerkrankung erbracht, was jedoch keinen Beweis für eine primär nierenschädigende Wirkung darstellt. Keine der in der Arbeit herangezogenen Studien, in denen die Nierenfunktion von gesunden Kraftsportlern und anderen Athleten mit erhöhtem Proteinkonsum untersucht wurde, zeigte eine mit dem Eiweißkonsum assoziierte schädigende Wirkung [27, 28]. Ebenso zeigt die aktuelle Literatur keine Evidenz für ein mit erhöhter Proteinzufuhr assoziiertes gesteigertes Risiko, an Nierensteinen zu erkranken [29].

Unter Berücksichtigung zahlreicher Studien scheint also keine nierenschädigende Wirkung bei gesunden Sportlern vorhanden zu sein, jedoch sollten Athleten mit eingeschränkter Nierenfunktion beim Eiweißkonsum vorsichtig sein, sich im unteren Dosierungsbereich bewegen und ihre Nierenfunktionsparameter regelmäßig vom Arzt überprüfen lassen [13, 27].

Eine weitere Behauptung ist, dass eine erhöhte Proteinzufuhr negative Auswirkungen auf den Knochenstoffwechsel hat. Vor allem in älteren Studien wurde die These vertreten, dass die durch Eiweiß verursachte Ansäuerung des Organismus einen verstärkten Kalziumabbau aus den Knochen zur Folge hätte, was auf Dauer gesehen zu Osteoporose führte. Jüngere Untersuchungen konnten diesen Zusammenhang jedoch *nicht* nachweisen. Dies ist auch insofern verständlich, als den allermeisten Eiweißpräparaten Elektrolyte, also auch

Kalzium, beigemischt sind. Vielmehr gibt es mittlerweile Studien, deren Ergebnisse es sinnvoll erscheinen lassen, Osteoporosepatienten zu raten, ihren täglichen Proteinkonsum auf über 0,8 g/kg Körpergewicht zu erhöhen, da man hier knochenprotektive Eigenschaften erwarten kann [13, 27].

Aktuellen Studienergebnissen zu Folge besteht auch kein mit erhöhter Eiweißaufnahme assoziiertes Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen [30, 31]. Vielmehr weisen neueste Daten darauf hin, dass die hochdosierte Einnahme von Sojaproteinen durch Senkung des LDL/HDL Quotienten eine bedeutende Rolle in der Prophylaxe von vaskulären Herzerkrankungen spielen könnte [29, 31].

Schließlich soll nun noch die Gefahr der Dehydratation besprochen werden. Hier liegen Daten vor, die ein gewisses, wenn auch geringes Risiko für einen erhöhten Wasserverlust über die Nieren bei hochdosierter Proteineinnahme aufzeigen [32, 33]. Obwohl hier nur minimale Veränderungen nachweisbar sind, muss darauf aufmerksam gemacht werden, dass schon Wasserverluste von 3% nachweislich zu Leistungsminderung und kardiovaskulärer Belastung führen [3]. Man kann daher empfehlen, mit erhöhter Proteinzufuhr auch die Flüssigkeitsaufnahme zu steigern sowie regelmäßige Gewichtskontrollen durchzuführen, um eine ausreichende Hydratation sicherzustellen (27, 28).

Wie in diesem Absatz gezeigt wurde, liegen dem Autor keine Ergebnisse über ein nennenswert erhöhtes Gesundheitsrisiko durch eine adäquate Protein-Supplementierung vor. Unter den zum Thema verfügbaren Studien gibt es jedoch keine einzige, die einen wirklich großen und erst damit repräsentativen Zeitraum umfasst, so dass es unmöglich ist, eine wissenschaftlich fundierte Aussage über die gesundheitlichen Langzeitr Risiken und Nebenwirkungen zu treffen.

Die Empfehlung an Kraftsportler und alle anderen Athleten mit gesteigertem Eiweißbedarf kann demnach nur lauten, sich an die heute als sicher geltenden Richtlinien der 'International Society of Sports Nutrition' mit 1,4 bis 2,0 g/kg/d zu halten und regelmäßige Gesundenuntersuchungen vornehmen zu lassen.

In einer Zeit, in der immer mehr Athleten immer höhere Mengen an Eiweiß in Form von konzentrierten Supplementen konsumieren, um im Leistungssport erfolgreich zu sein, aber auch um als Hobbysportler eine 'Idealfigur' zu erreichen, ist den Vertretern von Medizin, Sportwissenschaften und Ernährungswissenschaften nahezu legen, weitere und vor allem langfristige Untersuchungen zu diesbezüglichen Risiken und Nebenwirkungen durchzuführen [13, 27].

3. Kohlenhydrate

3.1. Einführung

Kohlenhydrate (KH) werden im menschlichen Organismus in Form von Glykogen, einem osmotisch inaktiven Polysaccharid, hauptsächlich in Muskel- und Leberzellen gespeichert. Es gilt als erwiesen, dass aufgeladene Glykogen-Speicher eine der Grundvoraussetzungen für eine optimale Leistung in den verschiedensten sportlichen Disziplinen bilden. Im Kraftsport zeigt sich Glykogen als eines der wichtigsten endogenen energetischen Substrate, da hoch-intensives Training eine massive Aktivierung der Glykogenolyse nach sich zieht, wodurch rapide Glykogen-Verluste (30 - 40%), vorrangig im Muskelgewebe beobachtet werden können [3, 34, 35]. Darüber hinaus spielen Kohlenhydrate eine entscheidende Rolle in der Beeinflussung der Sekretion anaboler Hormone (Insulin, GH) und in der Suppression des katabolen Hormons Cortison [24, 36]. Als essentielle Energielieferanten sowie als treibende Kraft im anabolen Hormon-Status zählen KH auch im Kraftsport zu den wichtigsten Ergänzungspräparaten.

3.2. Grundlagen

Kohlenhydrate oder Saccharide sind Moleküle, die aus den drei Atomen Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O) bestehen und prinzipiell die Bruttoformel $(CH_2O)_n$ aufweisen, wobei teilweise erhebliche Abweichungen von dieser Formel auftreten. Neben Lipiden und Proteinen bilden KH einen weiteren Makronährstoff und verfügen ähnlich wie Eiweiß über eine Energiedichte von ungefähr 17 kJ (4 kcal) pro Gramm [3, 8]. Die in der Nahrung vorkommenden KH sind nahezu ausschließlich aus den Monosacchariden Glucose, Galactose und Fructose aufgebaut und werden abhängig von der Anzahl ihrer Verknüpfungen untereinander, in Monosaccharide (keine Verknüpfung), Disaccharide (eine Verknüpfung), Oligosaccharide (wenige Verknüpfungen) und Polysaccharide (viele Verknüpfungen) unterteilt. Während des Verdauungsprozesses werden diese Verknüpfungen im GI-Trakt mittels verschiedenster Enzyme aufgetrennt und die dann als Monosaccharide vorliegenden KH absorbiert. [3, 7].

Die absorbierten KH werden nun primär von den Leberzellen aufgenommen und zu Glucose bzw. Glykogen umgewandelt und erfüllen neben der Funktion als Energieträger noch zahllose andere Aufgaben, auf die jedoch mangels Bedeutung für den Kraftsport hier nicht näher eingegangen wird. Ist die Glykogenspeicherkapazität von Leber (~ 100 g Glucose) und Muskulatur (~ 500 – 1000 g Glucose) überschritten, werden die aufgenommenen Kohlenhydrate in Fett umgewandelt und als solches gespeichert [7, 8].

Da bei jeder hoch-intensiven Belastung, wie etwa im Bereich des Kraftsports, Glucose zur Energiebereitstellung herangezogen wird, ist es unerlässlich, den Muskelglykogen-Gehalt sowie die Bereitstellung von KH während des Trainings über die Ernährung zu optimieren.

3.3. Kohlenhydrat-Supplementation

3.3.1. Effekte auf die Glykogenspeicher

Wie oben erwähnt wurde, induziert hoch-intensives Krafttraining eine Aktivierung der Glykogenolyse mit Glykogenverlusten von 30 - 40% [3, 34, 35]. Dies hat einerseits Einbußen in Leistungsfähigkeit und Körperkraft zur Folge, andererseits resultiert daraus eine katabole Stoffwechselsituation, welche einen Muskelgewebsabbau sowie eine Immunsuppression nach sich zieht [24].

Die Ernährungs-Strategien, diesem Phänomen entgegenzuwirken, bilden zwei unterschiedliche Ansätze. Einerseits versucht man durch KH-Supplementation vor und nach dem Training optimale Bedingungen für die Synthese und Resynthese der Glykogenspeicher zu schaffen, andererseits zielt die KH-Zufuhr während des Trainings darauf ab, dem Körper direkt durch Erhöhung der Blutglukose energetische Substrate bereitzustellen und damit den Abbau der endogenen Glykogenspeicher zu minimieren [3, 24].

3.3.2. Wirkungen

Kohlenhydrate, insbesondere in kombinierter Einnahme mit Proteinen bzw. Aminosäuren, führen nachweislich zu positiven Veränderungen in Bezug auf Leistung, Muskelmetabolismus, anabolen Hormonstatus und Immunsystem [24].

a) Leistung/Kraft

Neueren Studien zufolge scheint die hoch-dosierte Supplementation von KH im Kraftsport nicht unmittelbar zu einer Leistungssteigerung zu führen [24, 37, 38]. Beispielsweise haben Kulik et al. in einer aktuellen Studie für Kniebeugen-Training mit 85% 1RM (1 repetition maximum), keinen signifikanten Leistungsunterschied zwischen den Probanden mit KH-Supplementation und denen mit Placebo nachgewiesen [37]. Dass die zusätzliche Energiebereitstellung durch exogene KH-Zufuhr punktuell betrachtet keinen Benefit zeigt, wird auch durch die Tatsache unterstützt, dass die endogenen Glykogenspeicher auch bei Krafttraining hoher Intensität für einen Zeitraum von 90 - 180 Minuten in der Lage sind, dem Körper Glucose in ausreichendem Umfang zur Verfügung zu stellen [24].

Längerfristig betrachtet führt eine trainingsadaptierte hochdosierte KH-Zufuhr jedoch sehr wohl zu Kraft und Leistungssteigerung [3, 24]. Die dafür verantwortlichen Mechanismen (Steigerung der Proteinsynthese, anabole Hormonantwort usw.) werden anschließend besprochen.

b) Weitere Wirkungen

Einer der wohl wichtigsten Effekte der KH-Zufuhr, vor allem in Kombination mit einer Protein-Supplementation, ist die daraus resultierende anabole Stoffwechsellage. Neben einer Steigerung der Muskelprotein-Synthese, kommt es nach körperlicher Belastung zu einer verminderten Erhöhung der Konzentration von Serum-Markern, wie Myoglobin und Kreatinkinase, was auf einen reduzierten Muskelabbau/schaden schließen lässt.

Beispielsweise konnten Beelen et al. in einer 2008 durchgeführten Studie bei den Probanden, die ein Kombinationspräparat aus KH und Proteinen während eines zweistündigen Krafttrainings einnahmen, eine Verminderung des Muskelproteinabbaus von ~ 8% und einen Proteinsynthese-Gewinn von ~ 50% gegenüber der Placebogruppe nachweisen [39].

Beobachtungen auf hormoneller Ebene haben gezeigt, dass die anabolen Hormone Insulin und GH durch die Einnahme von KH in signifikantem Ausmaß vermehrt sezerniert werden, wohingegen die Serum-Konzentration des katabolen Hormons Cortison gegenüber Placebo deutlich absinkt. Diese verminderte Cortison-Sekretion lässt vermuten, dass auch die durch intensives Training induzierte Immunsuppression unter KH-Supplementation reduziert werden kann [24, 36, 38, 39].

3.3.3. Glykämischer Index

Wie bei anderen Nahrungsergänzungen stellt sich auch bei Kohlenhydraten die Frage, welche Art von KH zur Supplementation empfohlen wird. Um diese Frage beantworten zu können, muss zuerst der Begriff des Glykämischen Index (GI) erläutert werden. Der GI ist ein Referenzwert für den Blutzuckeranstieg, den kohlenhydrathaltige Nahrungsmittel in Relation zu reiner Glucose bewirken. Beispielsweise würde ein GI von 50% für ein bestimmtes Lebensmittel x, welches 100 g Kohlenhydrate enthält, bedeuten, dass die Zufuhr von 100 g Glukose einen exakt doppelt so hohen Blutzuckeranstieg zur Folge hätte [40].

Neben dem Ausmaß des Blutzuckeranstieges, liefert der GI als indirekter Parameter auch eine Information über die Höhe der Insulinsekretion. Nahrungsmittel mit einem hohen GI induzieren nämlich über die rapide Erhöhung des Blutzuckers eine massive Insulinproduktion, wohingegen Nahrungsmittel mit einem niedrigen GI zu niedrigen Insulinspiegel führen. Einige Beispiele für Nahrungsmittel mit einem hohen, mittleren und solche mit einem niedrigen GI sind in *Tabelle 2* angeführt.

Tabelle 2 - Glykämischer Index [3, 40, 41]

Hoher GI		Mittlerer GI		Niedriger GI	
Nahrungsmittel	GI	Nahrungsmittel	GI	Nahrungsmittel	GI
Maltose	105	Saccharose	65	Pflaumen	39
Glukose	100	Reis Vollkorn	59	Joghurt	38
Honig	91	Vollkornbrot	50	Bohnen	30
Reis Instant	88	Laktose	46	Fruktose	23
Weißbrot	72	Orange	43	Kirschen	22
Maltodextrin	60-100				

3.3.4. Dosis / Timing

Die endogenen Glykogen-Speicher sind limitiert und während hoch-intensiven Krafttrainings bestenfalls wenige Stunden (90 - 180 Minuten) in der Lage, Glucose bereitzustellen [24, 34, 35]. Sinkt die Kapazität der Speicher, führt dies zu Kraft- und Leistungsverlust, Muskelgewebsabbau und Immunsuppression [24]. Um diesen Phänomenen entgegenzuwirken, wird in der aktuellen Literatur eine gezielte KH-Supplementation empfohlen, die sich in folgende drei Bereiche gliedern lässt.

a) KH-Supplementation vor dem Training

Vor dem Training sollten Kohlenhydrate mit einem mittleren bis niedrigen glykämischen Index konsumiert werden, da diese während des Trainings gegenüber KH mit einem hohen GI den Blutzucker länger in einem normoglykämischen Bereich halten können und damit den Zeitpunkt des durch Substratmangel bedingten Leistungsabfalles hinauszögern [3, 42].

Die Einnahme sollte 3 - 4 Stunden vor Beginn des Trainings erfolgen, da die Digestion, Absorption und Speicherung der Kohlenhydrate ungefähr diesen Zeitraum benötigt.

Als adäquate Dosis empfiehlt die Literatur 1 - 2 g/kg, idealerweise in Kombination mit 0,15 – 0,25 g/kg Proteinen [3, 24].

b) KH-Supplementation während des Trainings

Während des Trainings sollten, nach aktuellen Empfehlungen, Kohlenhydrate mit hohem glykämischem Index zugeführt werden, da hier rasche Verfügbarkeit und hohe Blutzuckerspiegel erwünscht sind. Die Dosierungsangaben schwanken je nach Trainingsintensität zwischen 30 – 60 g/h, wobei alle 15 Minuten ein Viertel der Stundendosis eingenommen werden sollte [3, 24].

c. KH-Supplementation nach dem Training

Unmittelbar nach dem Training ist die Zufuhr von Kohlenhydraten in Kombination mit Proteinen besonders wichtig, da das durch Krafttraining hervorgerufene anabole Milieu die beste Voraussetzung für Glykogen-Synthese, Muskelprotein-Synthese und Verminderung des Muskelprotein-Abbaus bildet [3].

Nach aktueller Studienlage wird die Einnahme von Kohlenhydraten mit einem mittleren bis hohen GI, in der Höhe von 1 – 1,5 g/kg in Kombination mit 0,2 – 0,5 g/kg Proteinen in den ersten 30 Minuten nach Beendigung des Trainings empfohlen, wobei die Supplementation in den folgenden 3 - 4 Stunden mit den selben Dosierungen/h fortgesetzt werden sollte [24, 43].

Die im Kraftsport empfohlene tägliche Gesamtdosis an Kohlenhydraten liegt nach neuesten Studien bei 55 - 60% des Gesamtenergieumsatzes [24,43], der sich mit Hilfe der 'Harris-Benedict-Gleichung' und dem sogenannten 'PAL-Faktor' (PAL = physical activity level) näherungsweise bestimmen lässt [3]. Die 'Harris-Benedict-Gleichung' ist die wohl am häufigsten angewandte Gleichung, um die BMR (basal metabolic rate = Grundumsatz) zu bestimmen. Unter der Berücksichtigung der vier

Variablen Geschlecht, Größe, Gewicht und Alter eines Athleten, wird die Berechnung des täglichen Grundumsatzes möglich. Der 'PAL-Faktor' ist ein positiver numerischer Wert, dessen Größe von der durch Muskelarbeit verbrauchten Energie abhängt:

- Ein PAL-Faktor von 1,53 entspricht einer leichten Belastung
- Ein PAL-Faktor von 1,76 entspricht einer mittleren Belastung
- Ein PAL-Faktor von 2,25 entspricht einer starken Belastung

Wird nun der 'PAL-Faktor' mit der 'BMR' multipliziert, erhält man als Produkt einen Wert, der dem täglichen Gesamtenergieumsatz eines Athleten näherungsweise entspricht [3].

Zusammenfassend bleibt zu sagen, dass der Anteil an Kohlenhydraten bei 55% - 60% des täglichen Energieumsatzes liegen sollte, wobei abgesehen vom Zeitraum während des Trainings bis unmittelbar nach dem Training, KH mit einem mittleren bis niedrigen GI empfohlen werden [3, 24, 42, 43].

3.4. Gesundheitliche Risiken und Nebenwirkungen

Zu Beginn muss hier erwähnt werden, dass es dem Autor trotz intensivster Bemühungen nicht möglich war Studien zu finden, die den Zusammenhang von hochdosierter KH-Supplementierung im Sport und den daraus potentiell resultierenden gesundheitlichen Risiken untersucht haben.

Es existieren jedoch unzählige Studien, die den Zusammenhang von kohlenhydratreicher Ernährung und der Entstehung verschiedenster Erkrankungen untersucht haben [3, 43, 44, 45]. Eine der wohl aktuellsten ist eine umfangreiche Metaanalyse von Barclay et al., in der gezeigt wird, dass die Ernährung mit hohem GI und einer hohen 'glykämischen Last' ($GL = (GI/100) \times \text{KH-Gehalt pro 100 g}$) mit einer signifikanten Risikoerhöhung für das Auftreten folgender Krankheiten einhergeht [44]:

- Diabetes Typ II
- KHK
- Kolorektalkarzinom
- Endometriumkarzinom
- Mammakarzinom

Wie eingangs erwähnt wurde, liegen dem Autor keine Studien zum Risikoprofil der KH-Supplementation im Kraftsport vor, doch soll hier nochmals darauf hingewiesen werden, dass die Abwesenheit von Evidenz keinesfalls die Evidenz von Abwesenheit bedeuten muss. Es kann daher nur empfohlen werden, die Dosierungsangaben zu beachten und unter Berücksichtigung der oben erwähnten Ausnahmen, vorrangig Kohlenhydrate mit mittlerem bis niedrigem GI zu konsumieren.

4. Kreatin

4.1. Einführung

Kreatin, vor allem in der Form von Kreatin-Monohydrat (CrM), ist eines der am häufigsten und intensivsten untersuchten Nahrungsergänzungsmittel im Sport, insbesondere im Kraftsport. In den 60er Jahren erstmals im ehemaligen Ostblock von Sportlern zur Leistungssteigerung eingesetzt, erreichte Kreatin im Westen erst in den frühen 90er Jahren Popularität, nachdem Athleten wie Linford Christie oder Colin Jackson ihre Erfolge auf Kreatin zurückgeführt hatten [4].

Mittlerweile haben hunderte Studien gezeigt, dass mit adäquat dosierter Kreatin-Supplementierung eine Erhöhung der Kreatin-Konzentration in der Muskulatur erreicht wird, was einerseits im Kraftsport zu Leistungssteigerung und Muskelzuwachs führt und andererseits bei verschiedenen neuromuskulären und neurometabolischen Erkrankungen ein therapeutisches Potential verspricht [46, 47, 48].

4.2. Grundlagen

Kreatin (altgr.: κρέας = Fleisch) wurde 1834 von dem Franzosen Chevreul als Bestandteil der Fleischbrühe entdeckt und von Justus von Liebig 1857 im Fleisch verschiedener Säugetierarten nachgewiesen. Kreatin ist eine Substanz die in Leber und den Nieren aus den Aminosäuren Arginin, Glycin und Methionin synthetisiert wird und über die Nahrung, vor allem mit Fleisch und Fisch aufgenommen wird. In einem durchschnittlichen Körper einer Person von 70 kg sind ungefähr 120 g Kreatin vorhanden, wobei 95% auf die Skelettmuskulatur entfallen und der Rest vorwiegend auf Herzmuskel und Gehirn. Es liegt in der Muskulatur zu ungefähr 40% als freies Kreatin und zu 60% als Kreatinphosphat vor. Kreatinphosphat ist eine energiereiche Verbindung, die mittels Phosphatübertragung auf Adenosindiphosphat (ADP) den wichtigsten Energieträger des Intermediärstoffwechsels Adenosintriphosphat (ATP) resynthetisieren kann. Diese

Reaktion ist reversibel, was bedeutet, dass bei Energieüberschuss durch Dephosphorylierung von ATP Kreatinphosphat synthetisiert wird. Das für beide Reaktionsrichtungen verantwortliche Enzym bezeichnet man als Kreatinkinase. Das ATP-Kreatinphosphat-System greift sehr schnell (in den ersten Sekunden bei körperlicher Belastung), kann jedoch nur, abhängig von der Trainings-Intensität, maximal für eine Dauer von ungefähr 30 Sekunden aufrechterhalten werden; parallel dazu, jedoch nicht ganz so schnell verfügbar, arbeiten auch andere Systeme, vor allem die anaerobe Glykolyse. Sowohl aus Kreatin als auch aus Kreatinphosphat entsteht das Stoffwechselprodukt Kreatinin, das über die Nieren in einer Höhe von ungefähr 2 g/d ausgeschieden wird, so dass für eine ausgeglichene Kreatinbilanz die Kombination aus Zufuhr mit der Nahrung und endogener Synthese in ähnlicher Höhe erforderlich ist [5, 6, 8, 49, 50, 51, 52].

4.3. Metabolismus

Kreatinphosphat spielt eine entscheidende Rolle in der Energiebereitstellung für die Muskulatur in den ersten Sekunden bei körperlicher Belastung hoher Intensität. Wie oben erwähnt ist der Hauptenergieträger des Intermediärstoffwechsels das Adenosintriphosphat (ATP), womit klar ist, dass die Muskelfunktion von der Verfügbarkeit von ATP abhängt. Die ATP-Konzentration des Skelettmuskels liegt bei ungefähr 24 mmol/kg Trockenmasse, was eine derart geringe Menge darstellt, dass auch bei moderater Muskelarbeit die Speicher innerhalb der ersten beiden Sekunden nahezu vollständig erschöpft wären, würde nicht eine ständige Resynthesierung von ATP in der Atmungskette stattfinden [4, 5, 50].

Wird bei hoch-intensivem Krafttraining die Kapazität der Atmungskette überschritten, kommen die anaeroben Systeme zur Energiegewinnung zum Tragen. Das ATP-Kreatinphosphat-System und die anaerobe Glykolyse führen zu einer zusätzlichen Bereitstellung von ATP in der Höhe von ungefähr 15 mmol/ kg Trockenmasse pro Sekunde in den ersten 6 Sekunden [5, 50]. Danach nimmt die Energieflussrate jedoch deutlich ab, sinkt nach 30 Sekunden auf 20% und zieht somit einen Abfall der ATP-Resynthese nach sich was durch eine rapide

Leistungsminderung in diesem Zeitintervall sichtbar wird. Hierfür verantwortlich sind einerseits die schnell erschöpften Kreatinphosphatspeicher und andererseits die sehr schnell zunehmende Blockierung der anaeroben Glykolyse durch Zunahme der dabei entstehenden Stoffwechselprodukte [50]. Die Abnahme der anaeroben Glykolyse ist demnach nicht auf einen Substratmangel zurückzuführen und daher kaum beeinflussbar. Anders verhält es sich beim ATP-Kreatinphosphat-System, dessen Wirkungsverlust über die Zeit ganz klar mit der Entleerung der muskulären Speicher zusammenhängt, was insofern von großer Bedeutung ist, als hier eine Beeinflussung des Systems durch eine Kapazitätssteigerung der Kreatinphosphatspeicher möglich ist, wie im Anschluss gezeigt wird.

4.4. Kreatin-Supplementation

Wenn in den folgenden Abschnitten von Kreatin-Supplementierung gesprochen wird, bezieht sich der Autor auf die am intensivsten untersuchte und am weitesten verbreitete ergogene Substanz Kreatin-Monohydrat (CrM).

4.4.1. Effekte auf die muskulären Kreatin-Speicher

Wie zahlreiche Studien gezeigt haben, können die muskulären Kreatin- und Kreatinphosphatspeicher durch die Supplementierung von CrM je nach Ausgangslage um einen Prozentsatz von 10 - 40% erhöht werden [3]. Entscheidend dafür ist die Kreatin-Konzentration des Muskels vor der Supplementierung, da alle bisherigen Daten darauf hinweisen, dass ein Kreatin-Höchstwert von ~ 160 mmol/kg Trockenmuskelmasse nicht übertroffen werden kann [6, 50].

So profitieren Sportler mit einer niedrigen Ausgangslage deutlich mehr von einer CrM-Einnahme (20 - 40%) als solche, die schon vor der Supplementierung über hohe körpereigene Kreatin-Spiegel verfügen (10 - 20%). Bei Vegetariern, die in der Regel ernährungsbedingt eine geringe Kreatin-Konzentration in der Muskulatur aufweisen, konnte im Vergleich zu Nicht-Vegetariern dementsprechend eine deutlich größere Zunahme des muskulären Kreatins beobachtet

werden [4, 53]. Dies ist insofern interessant, als eine deutliche Korrelation zwischen der Zunahme des muskulären Kreatins und der Leistungssteigerung bei Kraftsportarten nachgewiesen worden ist [4, 50].

Nach dem Absetzen der Supplementierung sinkt der Kreatinspiegel innerhalb von 4 - 6 Wochen auf seinen Ausgangswert zurück, fällt jedoch nicht darunter ab, was eine Suppression der endogenen Kreatin-Produktion durch die Einnahme von Konzentraten eher ausschließt [3, 54].

4.4.2. Responder und Nonresponder

In der Literatur wird berichtet, dass 20 - 30% der Menschen sog. Kreatin-Nonresponder sind. Das bedeutet, dass diese Menschen nach einer adäquaten 'loading dose' einen Zuwachs von weniger als 10 mmol Kreatin/kg Muskelrockenmasse verzeichnen. Die bisher gefundenen Hauptgründe dafür sind:

- ein hoher physiologischer intramuskulärer Kreatinspiegel
- ein niedriger Prozentsatz an Typ II Muskelfasern
- ein hoher Körperfettanteil.

Diese Daten legen nahe, dass die Muskelfaser- und Körperzusammensetzung einen entscheidenden Einfluss auf die Empfänglichkeit für CrM hat. Neueste Studien lassen jedoch vermuten, dass die Ursachen für die Variabilität im Ansprechen auf Kreatin auch auf molekularer Ebene zu suchen sind. So sind etwa die 'Kreatin-Transporter' (für den Transport von Kreatin in die Muskelzelle verantwortlich) Gegenstand derzeitiger Untersuchungen [52].

4.4.3. Wirkungen von Kreatin

a) Veränderungen auf genetischer Ebene

Neueste Studien zeigen, dass die CrM-Supplementation eine gesteigerte Aktivierung verschiedenster Gene induziert. So wurden bei Probanden in der Skelettmuskulatur erhöhte Konzentrationen von mRNA und Proteinen - 'Transkriptions- wie Translationsprodukte' von unterschiedlichsten Genen - gemessen. Einige der Funktionen der durch CrM vermehrt exprimierten mRNA und Proteine sollen hier kurz aufgelistet werden [55, 56, 57]:

- Osmoregulation und Signaltransduktion (hier wird eine der Ursachen für die durch CrM induzierte Zellschwellung vermutet)
- 'Cytoskeleton Remodeling' (Expression von Kollagen und Reorganisation des Aktin-Zytoskeletts)
- Protein- und Glycogenbiosynthese
- Expression von Signalproteinen für die Myoblastenproliferation
- Satellitenzellproliferation (myogene Stammzellen), IGF-I- und IGF-II-Expression (Insulin-like-growth-factor = Wachstumsfaktor), Verminderung der Expression von Myostatin (ein physiologisch gebildetes Protein zur Hemmung des Muskelwachstums)
- Positive Regulation der DNA-Reparatur

Es wird vermutet, dass die beschriebenen molekularen Veränderungen ursächlich an den in zahlreichen anderen Studien beobachteten Zuwächsen an Kraft, Körpergewicht, Muskulatur und Körperwasser beteiligt sind [55, 56, 57].

b) Veränderungen auf zellulärer Ebene

Die Supplementation von CrM führt nachweislich zu einer Erhöhung der FFM (fat-free-mass ~ Muskulatur + Körperwassergehalt). Wie oben bereits erwähnt wurde, induziert CrM über osmotische Mechanismen eine Zell-Schwellung, die als anaboles Signal zu einer gesteigerten Proteinsynthese und zu einer verminderten Proteolyse führt. Daraus ergibt sich die Vermutung, dass CrM per se, also ohne

Berücksichtigung der durch Leistungssteigerung hervorgerufenen anabolen Einflüsse, einen Muskelzuwachs induziert [3, 4, 55, 56].

c) Leistung und Kraft

Kreatin ist in den letzten Jahren zu einem sehr beliebten Nahrungsergänzungsmittel bei Athleten der unterschiedlichsten Disziplinen, jedoch bevorzugt im Bereich von Kraftsportarten geworden. So verwundert es wenig, dass mittlerweile Hunderte von Studien vorliegen, die die Effekte einer CrM-Supplementation auf Muskelphysiologie und körperliche Leistungsfähigkeit evaluiert haben. Ungefähr 70% der Studien weisen eine statistisch signifikante Leistungssteigerung nach, der Rest kann keine Unterschiede zu Placebo festmachen. Letztere Studien zeigen jedoch häufig eine mangelhafte Versuchsanordnung, wie etwa:

- zu geringe Anzahl an Testpersonen (dadurch ergibt sich häufig ein relativ zu hoher Anteil an 'Non-Respondern')
- Weglassen der 'Auflade-Dosierung'
- Zu geringe Einnahmemenge
- insuffiziente Einnahmezeit.

Unter Berücksichtigung dieses Umstandes kann man sagen, dass die überwältigende Mehrheit der wissenschaftlichen Resultate leistungssteigernde Effekte nachweist. Einige davon sollen nun kurz angeführt werden:

- Steigerung der Maximalkraft um 5 - 15%
- Steigerung der Gesamtleistung während wiederholtem hoch-intensivem Training um 5 - 15%
- Steigerung der Sprintleistung um 1 - 5%
- Steigerung der Gesamtleistung bei wiederholtem Sprinttraining 5 - 15%
- Weitere signifikante Ergebnisse wurden gemessen bei: Bankdrücken, Kniebeugen, Sprungkraft u.a. [3, 54, 58, 59, 60, 61, 62, 63].

Die Erklärung für diese Leistungssteigerung nach CrM-Supplementierung liegt aller Wahrscheinlichkeit nach in der Erhöhung der muskulären Kreatin- und Kreatinphosphat-Konzentration. Diese optimiert über eine vermehrte Re-

synthetisierung von ATP, die Verfügbarkeit dieses Energieträgers in der Muskulatur [50, 59].

Darüberhinaus scheint CrM, neben dem oben erwähnten primär anabolen Einfluss, auch über den Umweg der physischen Leistungssteigerung zu vermehrtem Muskelzuwachs beizutragen [3,4].

4.4.4. Dosierung

Die in der Literatur am häufigsten angewandte und empfohlene Kreatin-Dosierung beginnt mit einer sogenannten 'loading dose' (Auflade-Dosierung) von 4×5 g/Tag für die ersten 5 - 7 Tage, nach denen die Maximalkonzentration von ~ 160 mmol Kreatin/Trockenmuskelmasse erreicht wird. Um diese Konzentration aufrecht zu erhalten, wird die Einnahme von weiteren 3 – 5 g CrM/Tag empfohlen, eine relativ niedrige Dosierung also, mit der die Maximalkonzentration jedoch erwiesenermaßen aufrechterhalten werden kann. Hier soll erwähnt werden, dass es derzeit keinen Hinweis darauf gibt, den in bisherigen Studien ermittelten Höchstwert von 160 mmol/kg durch höhere Dosierungen übertreffen zu können [50].

Jüngere Untersuchungen weisen darauf hin, dass die gleichzeitige Einnahme von 100 g Kohlenhydraten (KH) beziehungsweise von 50 g KH und 50 g Proteinen zu einer beschleunigten Kreatinaufnahme in die Muskulatur führt, wodurch sich die Zeitspanne bis zum Erreichen der Maximalkonzentration auf 2 - 3 Tage verkürzt. Studien, in denen die Probanden, ohne mit einer 'loading dose' zu beginnen, 3 g Kreatin/Tag für 28 Tage zu sich nahmen, zeigen, dass auch mit dieser Dosierungsmöglichkeit allmählich (nach ~ 28 Tagen) die Maximalkonzentration erreicht werden kann.

In Anbetracht der Tatsache, dass Athleten über unterschiedliche Mengen an Muskulatur verfügen, scheint es am sinnvollsten zu sein, keine absoluten Dosierungen zu empfehlen, wie dies in vielen Studien gemacht wird, sondern das in Relation zum Körpergewicht zu tun. Hieraus ergibt sich eine 'loading dose' von ~ 0,3 g/kg, was beispielsweise für einen 70 kg Athleten in etwa 20 g bedeuten

würde. Die Erhaltungsdosis liegt dann bei etwa 15 - 25% der 'loading dose'. CrM wird meist zyklisch eingenommen, e.g. 4 - 8 Wochen mit 4 Wochen Pause, wobei derzeit keine Daten über die Sinnhaftigkeit eines solchen Einnahmeschemas vorliegen [4, 52, 54, 64, 65].

4.4.5. Timing

Krafttraining führt erwiesenermaßen zu einer erhöhten Ausschüttung von anabolen Hormonen und Wachstumsfaktoren, nicht zuletzt also auch von Insulin [14]. Diese anabole Stoffwechsellage lässt sich durch die Supplementierung von Kohlenhydraten, Proteinen und Aminosäuren noch weiter steigern [3, 66, 67].

Da hohe Insulinspiegel zu einer beschleunigten und verbesserten Kreatinaufnahme in die Muskulatur führen, empfiehlt es sich insbesondere für den Zeitraum der Erhaltungsdosierung, CrM *direkt nach* dem Training in Kombination mit Kohlenhydraten und Proteinen einzunehmen [68].

4.4.6. Verschiedene Präparate

Aufgrund der zunehmenden Beliebtheit der Kreatin-Supplementation im Sport sind heute verschiedenste Kreatin-Präparate am Markt verfügbar. Nahezu in sämtlichen Studien ist jedoch mit Kreatin-Monohydrat (CrM) gearbeitet worden, so dass bei anderen Präparaten eine mangelhafte Evidenz für Wirksamkeit besteht. Die wenigen Untersuchungen, in denen die Effizienz von moderneren Präparaten (beispielsweise Kreatin-Citrat, Kreatin-Pyruvat u.a.) gegenüber CrM getestet worden ist, konnten keinerlei Vorteile nachweisen. Jedoch besteht ein großer Nachteil dieser Präparate im Kaufpreis, der meist deutlich höher ist als der von herkömmlichen CrM-Supplementen [3, 4].

4.5. Therapeutische Anwendungen

Wie insbesondere in Kapitel 3.4.3. gezeigt wurde, ist Kreatin in eine ganze Reihe von metabolischen Prozessen involviert. Aus diesem Grund untersucht die medizinische Forschung nun seit über 30 Jahren dessen therapeutisches Potenzial. Einige der Erkrankungen, bei denen man eine positive Beeinflussung durch Kreatin-Supplementation auf Verlauf und Progression beobachtet hat bzw. vermutet, werden hier kurz angeführt [3, 47, 48, 69, 70]:

- Atrophia gyrata
- Muskeldystrophie des Typs Becker und Duchenne
- Steroid-Myopathie
- Amyotrophe Lateralsklerose
- Chorea Huntington
- Traumatische Gehirn-Verletzungen u.a.

Weitere Studien haben gezeigt, dass die CrM-Supplementierung das Verletzungsrisiko bei verschiedensten Sportarten signifikant senken kann [3, 71].

Abschließend bleibt zu sagen, dass das therapeutische Potential von Kreatin in der Behandlung verschiedenster Erkrankungen vielversprechend zu sein scheint, weitere Daten, insbesondere von Langzeitstudien, jedoch unbedingt nötig sind.

4.6. Gesundheitliche Risiken und Nebenwirkungen

In der populärwissenschaftlichen Literatur wird der CrM-Supplementation häufig ein hohes gesundheitliches Risikopotential angedichtet, wobei üblicherweise über Nebenwirkungen wie Nieren-, Leber- oder andere Organschäden sowie über ein erhöhtes Risiko für Dehydration, Muskelkrämpfe und Sportverletzungen berichtet wird.

Erwiesenermaßen führt die Einnahme von Kreatin über die Erhöhung der FFM zu einer Zunahme an Körpergewicht, was in manchen Sportarten als unangenehmer Nebeneffekt gesehen wird. Darüberhinaus gibt es Hinweise auf ein gehäuftes

Auftreten von Diarrhoe bei höheren Dosierungen von CrM, wie sie etwa in dem Zeitraum der 'loading dose' üblich sind.

Neben den gastrointestinalen Problemen und der vermehrten Wasserspeicherung, liefert die Mehrzahl an Studien keinen Hinweis auf weitere Nebenwirkungen, wie sie oftmals proklamiert werden [3, 72, 73, 74, 75].

5. Verzweigtkettige Aminosäuren (BCAAs)

5.1. Einführung

BCAAs (branched-chain amino acids) sind die essentiellen Aminosäuren Valin, Leucin und Isoleucin, deren Metabolismus und Potential als Nahrungsergänzung im Sport seit den frühen 80er Jahren einen der Forschungsschwerpunkte der Wissenschaften für Sporternährung bildet [6, 76]. Die BCAAs bilden einen Anteil von 35 - 40% an den in den Muskelproteinen enthaltenen essentiellen Aminosäuren und werden im Gegensatz zu den meisten anderen Aminosäuren in der Muskulatur und nicht in der Leber oxidiert. Dies ist insoweit von Bedeutung, als die Oxidierung bei körperlicher Belastung zunimmt und damit der Verbrauch an BCAAs steigt [3, 77, 78, 79]. Aus diesem Grund wurde früher angenommen, dass verzweigtkettige Aminosäuren neben Fetten und Kohlenhydraten einen weiteren wichtigen 'Kraftstoff' für die Muskulatur darstellen, was durch die Mehrheit der später durchgeführten Studien jedoch nicht verifiziert werden konnte [79]. Wenn also die Rolle als energetisches Substrat nicht nennenswert erscheinen mag, so zeigen neueste Daten, dass BCAAs, vor und nach dem Training konsumiert, zu verminderter trainingsinduzierter Muskel-Proteolyse und zu gesteigerter Proteinsynthese beitragen. Darüberhinaus scheinen sie zur Protektion des Immunsystems beizutragen, sowie in der Prävention und Therapie verschiedenster Erkrankungen vorteilhaft eingesetzt werden zu können [76, 77, 78, 79, 80].

Diese beobachteten anabolen, antikatabolen und immunoprotektiven Effekte haben dazu geführt, dass die BCAA-Supplementation im Kraftsport weit verbreitet ist [3].

5.2. BCAA-Supplementation

5.2.1. Wirkungen

a) Leistung und Kraft

Aktuellen Studien zufolge scheint die Supplementierung von BCAAs im Kraftsport nicht unmittelbar zu einer Leistungssteigerung zu führen [76, 77]. Das ist auch insofern verständlich, als detaillierte Studien zur BCAA-Oxidation gezeigt haben, dass der in Relation geringe Umsatz dieser Aminosäuren während körperlicher Belastung lediglich um das Zwei- bis Dreifache vermehrt ist, während die Oxidation von Fetten und Kohlenhydraten auf bis zu zwanzigfach erhöhte Werte ansteigt [79]. Demnach ist die Rolle als Energieträger offenbar von so untergeordneter Bedeutung, dass die Supplementation von Valin, Leucin und Isoleucin punktuell betrachtet keinen Benefit für Kraft- und Leistungszuwachs während des Trainings bringt.

Die dauerhafte Zufuhr von BCAAs in empfohlener Dosierung kann jedoch sehr wohl eine Leistungssteigerung nach sich ziehen, wobei die Mechanismen dafür im Anschluss besprochen werden [3].

b) Antikatabole Wirkung

Studien haben gezeigt, dass der durch Training induzierte Proteinabbau in der Muskulatur durch erhöhte Blutspiegel an BCAAs reduziert werden kann [76, 77, 78, 81].

MacLean et al. [82] konnten nachweisen, dass die orale BCAA-Supplementation in der Höhe von 77 mg/kg zu einer Verdopplung der arteriellen Konzentration dieser Aminosäuren und zu einer vermehrten intramuskulären Speicherung führt. Darüberhinaus wurde durch weitere Messungen der Nachweis erbracht, dass der trainingsbedingte endogene Proteinabbau durch diese Supplementation in statistisch signifikantem Ausmaß reduziert werden kann [82]. Diese Resultate

unterstützend haben weitere Untersuchungen ergeben, dass die Applikation von BCAAs, zu einem verminderten Anstieg der Serumkonzentration von Markern für Muskelschädigung wie CK und LDH führt [83].

c) Anabole Wirkung

Die aktuelle Literatur zeigt, dass die Supplementation von BCAAs neben den oben besprochenen *antikatabolen* Eigenschaften auch durch *anabole* Effekte eine nicht unbedeutende Rolle im Kraftsport spielt.

In diesem Zusammenhang scheint die Aminosäure Leucin von besonderer Bedeutung zu sein [13]. Koopman et al. konnten zeigen, dass im Kraftsport die kombinierte Applikation von KH und Proteinen mit Leucin, verglichen mit der Supplementation von KH und Proteinen ohne Leucin zu signifikant höheren Raten an sezerniertem Insulin und synthetisierten Muskelproteinen führt [84]. Darüber hinaus wurde auch hier eine verminderte Oxidation des Muskeleiweißes und damit ein verminderter Proteinabbau festgestellt [84].

Obwohl die Wirkungsmechanismen, die der BCAA-Supplementation zugrunde liegen, im Detail noch nicht geklärt sind, scheint die Kombination aus antikatabolen (Verminderung der Proteolyse) und anabolen (Steigerung der Proteinsynthese) Eigenschaften entscheidend zu sein [78].

d) Protektion des Immunsystems

Bekanntermaßen führt hoch-intensives Training zu einer Immunsuppression, wobei hier die verschiedensten Komponenten des Immunsystems betroffen sind. Die verantwortlichen Vorgänge werden noch nicht in vollem Umfang verstanden, denn neben den bekannten immunsuppressiven hormonellen Veränderungen (vermehrte Cortison- und Catecholaminproduktion), scheint noch eine ganze Reihe anderer Mechanismen, wie etwa ein erhöhter Verbrauch an Glutamin, zum Tragen zu kommen [76].

Neueste Daten weisen darauf hin, dass die Zufuhr von Valin, leucin und Isoleucin der durch körperliche Belastung hervorgerufenen Suppression des Immunsystems entgegenwirken kann. Messungen verschiedenster Parameter für die Integrität des Immunsystems zeigen einen signifikant verminderten Abfall der Lymphozytenproduktion und der verschiedensten Zytokine, wie etwa $\text{TNF-}\alpha$, IL-1 und $\text{IFN-}\gamma$ (4).

Auch hier ist die Wirkungsweise unklar, wobei die Eigenschaft der BCAAs, als Substrat für die Glutaminsynthese herangezogen werden zu können, einen häufigen Erklärungsansatz darstellt [79].

e) Reduktion von Ermüdungserscheinungen

Es wird vermutet, dass die Einnahme von BCAAs die Entstehung von zentraler Ermüdung hemmt. Einerseits stützt sich diese Hypothese auf Erfahrungsberichte von Sportlern, andererseits auf die sogenannte 'central fatigue hypothesis', welche hier kurz skizziert werden soll: Während länger anhaltender körperlicher Belastung werden vermehrt Fettsäuren mobilisiert, die ,gemeinsam mit der Aminosäure Tryptophan, im kompetitiven Wettstreit um dieselbe Bindungsstelle an dem Transporteiweiß Albumin stehen. Das führt zu einer teilweisen Verdrängung des gebundenen Anteils dieser Aminosäure, wodurch es unter Belastung zu erhöhten Konzentrationen an freiem Tryptophan kommt. Dieses passiert nun in vermehrtem Umfang die Blut-Hirn-Schranke und wird zu Serotonin konvertiert, einem Hormon, dem in der Entstehung von zentraler Ermüdung große Bedeutung zugeschrieben wird. Die Aminosäuren Valin, Leucin und Isoleucin haben nun die Eigenschaft mit demselben Transportsystem wie Tryptophan die Blut-Hirn-Schranke zu überwinden.

Es wird daher vermutet, dass durch hohe BCAA-Konzentrationen, wie sie durch eine Supplementation erreicht werden können, eine Verdrängung des freien Tryptophan am Transporter stattfindet, wodurch intrazerebral weniger Serotonin gebildet wird und das Ermüdungsempfinden weniger stark ausgeprägt ist [13, 79].

5.2.2. Dosierung

Da Valin, Leucin und Isoleucin im Regenerationsprozess des Körpers nach intensiver körperlicher Belastung eine entscheidende Rolle zu spielen scheinen, wird von der 'Internationalen Gesellschaft für Sporternährung' die Zufuhr von BCAAs vor, während und nach dem Training empfohlen. Die RDA (Recommended Daily Allowance) für Leucin sollte bei mindestens 45 mg/kg/Tag liegen, jene für Valin und Isoleucin bei je mindestens 22,5 mg/kg/Tag. Es wird ein 2:1:1-Verhältnis empfohlen, da dies der Zusammensetzung in tierischen Muskelproteinen am besten entspricht [13, 78].

In diesem Zusammenhang sollte jedoch nicht vergessen werden, dass die mit der Nahrung aufgenommenen Proteine, in der Regel einen nicht unbeträchtlichen BCAA-Anteil haben. Darüberhinaus enthalten hochwertige Protein-Präparate meist besonders hohe BCAA-Konzentrationen, womit die zusätzliche Zufuhr dieser Aminosäuren meist unnötig wird [13].

5.2.3. Therapeutische Anwendungen

In den vergangenen drei Jahrzehnten haben zahlreiche Studien das Wirkungsspektrum einer Supplementation der Aminosäuren Valin, Leucin und Isoleucin unter physiologischen Bedingungen beschrieben. Neuere Studien zeigen, dass die Applikation von BCAAs auch unter pathologischen Bedingungen sinnvoll sein kann und demnach ein gewisses therapeutisches Potential verspricht, welches durch einige Beispiele veranschaulicht werden soll [85].

Studien haben gezeigt, dass die Supplementation von BCAAs zusätzlich zur Standardtherapie von septischen Patienten oder Verbrennungsoptern zu einer Verbesserung des Ernährungsstatus und des Krankheitsverlaufes führen kann [85]. Bei Patienten mit Niereninsuffizienz kann eine Verbesserung der Insulinsensitivität, des Ernährungsstatus, sowie eine Reduktion des sekundär auftretenden Hyperparathyroidismus erreicht werden [86]. Als supportive Maßnahme in der Therapie der Leberzirrhose, wurde ebenso eine Verbesserung des Ernährungszustandes sowie ein vermindertes Auftreten an Komplikationen

beobachtet [87]. Weitere Untersuchungen zeigen, dass die im Alter auftretende Sarkopenie sowie die durch krankheitsbedingte Immobilisation hervorgerufene Muskelatrophie durch die Supplementation von BCAAs positiv beeinflusst werden können [88, 89].

In der Literatur finden sich noch viele weitere Hinweise und Vermutungen auf das therapeutische Potential der drei verzweigkettigen Aminosäuren, wobei jedoch ein Mangel und demnach ein Bedarf an klinischen Langzeitstudien besteht [80].

5.2.4. Gesundheitliche Risiken und Nebenwirkungen

Trotz intensiver Recherchen war es dem Autor nicht möglich, Studien zu finden, die den Zusammenhang von hoch-dosierter BCAA-Supplementierung im Kraftsport und den daraus potentiell resultierenden gesundheitlichen Risiken untersucht haben.

Die Empfehlung für Kraftsportler und alle anderen Athleten mit gesteigerter BCAA-Einnahme kann demnach nur lauten, sich an die heute als sicher geltenden Richtlinien der 'International Society of Sports Nutrition' mit ungefähr 100 mg/kg/d in einem Verhältnis von 2:1:1 für Leucin, Valin und Isoleucin zu halten und regelmäßige Gesundenuntersuchungen vornehmen zu lassen [13].

In einer Zeit, in der immer mehr Sportler hohe Mengen an Proteinen, Aminosäuren und Kreatin in Form von konzentrierten Supplementen konsumieren, um im Leistungssport erfolgreich zu sein, aber auch um als Hobbysportler eine 'Idealfigur' zu erreichen, ist den Vertretern von Medizin, Sportwissenschaften und Ernährungswissenschaften naheulegen, weitere und vor allem langfristige Untersuchungen zu Risiken und Nebenwirkungen durchzuführen.

6 Aminosäuren und Aminosäurederivate

6.1 Arginin

6.1.1 Grundlagen

Arginin ist unter Belastung eine 'bedingt essentielle' Aminosäure (siehe Kap.1 Tab.1) und dient als Substrat im Syntheseprozess verschiedenster Verbindungen, wie Stickstoffmonoxid (NO), Kreatin, Glutamat, Harnstoff und Muskeleiweiß, um einige davon zu nennen [90].

Neben diesen physiologischen Funktionen wurde und wird immer wieder von einem zusätzlichen *ergogenen* Potential dieser Aminosäure berichtet. Einerseits soll die Supplementation von Arginin zu einer gesteigerten *GH-Sekretion* (growth-hormone) führen, andererseits eine vermehrte *NO-Produktion*, sowie eine physische Leistungssteigerung nach sich ziehen [3, 90, 91, 92, 93, 94].

6.1.2 Supplementation

6.1.2.1 Wirkungen

a) Arginin und GH (growth hormon)

Neueste Studienergebnisse zeigen, dass die Supplementation von Arginin eine Veränderung in der endogenen GH-Ausschüttung zur Folge hat. So scheint die Zufuhr von Arginin-Präparaten die so genannten 'resting GH-levels' (GH-Spiegel unter körperlicher Ruhe) um über 100% erhöhen zu können, wohingegen die durch Training normalerweise induzierte Steigerung der GH-Ausschüttung um 300% - 500%, durch die zusätzliche Applikation von Arginin auf ungefähr 200% vermindert wird [90, 91, 92, 93]. Die Mechanismen, die einerseits der Erhöhung der 'resting GH-levels' und andererseits der verminderten GH-Ausschüttung unter körperlicher Belastung zugrunde liegen, sind noch unklar [90, 93].

b) Arginin und NO

Arginin dient als Substrat für die Synthese von Stickstoffmonoxid, einer Verbindung, deren entscheidende Wirkung in der Erweiterung der Blutgefäße liegt. Durch physisches Training induziert, wird vermehrt NO gebildet, was zu einer Vasodilatation in der Muskulatur und damit zu einer verbesserten Substrataufnahme führt.

Nach aktueller Datenlage führt die Supplementierung von Arginin jedoch zu *keiner* erhöhten NO-Produktion, wobei es ohnehin fraglich ist, ob diese für Kraftsportler wünschenswert wäre [90, 94].

c) Arginin und Leistungssteigerung

Neueste Untersuchungen zeigen, dass auch hinsichtlich der Leistungsfähigkeit bei gesunden, trainierten Kraftsportlern durch die Zufuhr von Arginin-Präparaten kein Benefit zu erwarten ist [90, 94]. Anders verhält es sich jedoch bei Personen mit kardiovaskulären Erkrankungen oder mit pulmonaler Hypertension. Hier lassen die vorliegenden Daten ein nicht unerhebliches Potential zur Steigerung der physischen Leistungsfähigkeit vermuten, welche möglicherweise auf eine NO-bedingte Verbesserung der koronaren und pulmonalen Perfusion zurückzuführen ist [3, 90].

6.1.2.2 Dosierung

Die optimale Dosierung bewegt sich in einem Intervall von 8 g/d bis 20 g/d, wobei für die Erhöhung der GH-Sekretion die Einnahme von mindestens 250 mg/kg vor dem Schlafengehen empfohlen wird [3].

6.1.3 Gesundheitliches Risikopotential

Bei Dosierungen von mehr als 20 g/d können gastrointestinale Beschwerden auftreten. Darüberhinaus kann eine hohe Zufuhr von Arginin die renalen Verluste an Lysin erhöhen [4].

6.2 Glutamin

6.2.1 Grundlagen

Glutamin ist ebenfalls eine unter Belastung 'bedingt essentielle' Aminosäure (siehe Kap.1 Tab.1) und wie Arginin an einer Vielzahl von Stoffwechselfvorgängen beteiligt [3, 4, 5]. Das Hauptreservoir bildet die Skelettmuskulatur, in der Glutamin mehr als die Hälfte aller Aminosäuren ausmacht, wobei nur etwa ein Zehntel in den Proteinen enthalten ist und der Rest frei im Gewebe vorliegt [4]. Glutamin dient als wichtiges Substrat für die Proliferation von Lymphozyten und die Produktion von verschiedensten Zytokinen, ist also für die Integrität des Immunsystems essentiell [95].

Die Literatur zeigt, dass intensives Training über einen gesteigerten Umsatz an Glutamin zu verminderten Serumkonzentrationen führt [96, 97]. Aus diesen Zusammenhängen könnte man ein gewisses *ergogenes*, und vor allem *immunoprotektives* Potential durch die Supplementation dieser Aminosäure vermuten, was sich auch am Angebot zahlreicher Glutamin-Präparate zeigt.

6.2.2. Supplementation

6.2.2.1. Wirkungen

a) Ergogenes Potential

Die aktuelle Datenlage zeigt aber, dass die Supplementation von Glutamin zu *keiner* signifikanten Steigerung der Proteinsynthese und der physischen Leistungsfähigkeit führt. Das durch Training induzierte Absinken der Glutamin-Serumkonzentration kann zwar verhindert werden, doch scheint daraus, zumindest im messbaren Bereich, kein ergogenes Potential zu entstehen [3, 96, 97, 98, 99, 100].

b) Immunoprotektives Potential

Auch in diesem Punkt zeigen die neusten Studien, dass die zusätzliche Applikation von Glutamin-Präparaten für gesunde Kraftsportler *keinen* Erfolg verspricht. So konnten Krzywkowski et al. in einer detaillierten Studie für die Glutamin-Supplementation nachweisen, dass zwar das Absinken der Glutamin-Spiegel nach dem Training verhindert werden konnte, dies jedoch völlig ohne Effekt auf die verschiedensten Komponenten des Immunsystems blieb [97].

Anders scheint es sich jedoch bei Personen mit Immunschwäche zu verhalten, da beispielsweise für Patienten nach einer Knochenmarktransplantation, unter erhöhter Glutamin-Zufuhr signifikant verkürzte Spitalsaufenthalte beobachtet werden konnten [95].

6.2.2.2 Dosierung

Wie bei Arginin bewegt sich die optimale Dosierung in einem Intervall von 8 g/d bis 20 g/d [3, 4].

6.2.3 Gesundheitliches Risikopotential

Dem Autor sind neben leichten gastrointestinalen Beschwerden, die bei allen osmotisch aktiven Substanzen auftreten können, keine weiteren Nebenwirkungen bekannt [3, 6, 101].

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Supplementation von Arginin- und Glutamin-Präparaten für gesunde, trainierte Kraftsportler wenig effizient erscheint. Für Personen mit kardiovaskulären oder pulmonal-hypertensiven Erkrankungen kann eine *Arginin*-Supplementation jedoch durchaus empfohlen werden, wohingegen jene mit immunsuppressiven Erkrankungen von einer *Glutamin*-Supplementation profitieren können.

6.3 HMB (Beta-Hydroxy-Beta-Methylbutyrat)

6.3.1 Grundlagen

Beta-Hydroxy-Beta-Methylbutyrat (HMB) ist ein natürlicher Metabolit der essentiellen Aminosäure Leucin (BCAA). Diese wird im Körper zunächst in KIC (Ketoisocaproat) und dann zu HMB umgewandelt. Der positive Einfluss von Leucin auf den Muskelprotein-Metabolismus ist seit langem bekannt und wurde in Kapitel 4 näher beschrieben. Weitere Studien haben gezeigt, dass auch die alleinige Zufuhr von KIC diese Effekte auslösen kann, woraus die Hypothese entstand, dass möglicherweise ein weiterer Metabolit, nämlich HMB, für die Wirkungen von Leucin und KIC verantwortlich sein könnte [3, 4].

6.3.2 Wirkungen

Neueste Untersuchungen weisen darauf hin, dass die HMB-Supplementation durch eine ganze Reihe von Wirkungen in den Muskelprotein-Metabolismus eingreifen kann. Es werden einerseits signifikante Zuwächse an Muskelkraft, Leistungsfähigkeit und FFM (Fat-Free Mass) beobachtet, andererseits verminderte Serumkonzentrationen von Cortison und Kreatinkinase, was auf einen verminderten Muskelprotein-Abbau schließen lässt [102, 103, 104, 105, 106, 107, 108]. Darüberhinaus konnten Kraemer et al. in einer Studie für die Supplementation eines HMB enthaltenden Präparats in Kombination mit Krafttraining eine signifikante Steigerung der Sekretion von Testosteron und GH nachweisen [102].

Diese Wirkungen von HMB wurden jedoch ausschließlich bei wenig bis mittelmäßig trainierten Probanden nachgewiesen, wohingegen Studien mit Athleten eines hohen Trainingsniveaus keinerlei Wirkungsnachweis für die Supplementation mit HMB erbringen konnten [3, 109, 110].

6.3.3 Gesundheitliche Risiken und Nebenwirkungen

Über das gesundheitliche Risikopotential von HMB liegen dem Autor nur Kurzzeit-Studien vor, deren Daten kein solches erkennen lassen, sondern vielmehr darauf hinweisen, dass Atherosklerose-Marker wie Gesamt-Cholesterin, LDL-Cholesterin und systolischer Blutdruck günstig beeinflusst werden können [108, 111, 112]. Weitere Studien zum therapeutischen Potential von HMB konnten bei COPD-Patienten eine signifikante Verbesserung der Lungenfunktion sowie bei Karzinom- und Trauma-Patienten eine verminderte Proteolyse und gesteigerte Proteinsynthese nachweisen [113, 114].

Zusammenfassend mag die Supplementation von Beta-Hydroxy-Beta-Methylbutyrat für mäßig trainierte Sportler durchaus geeignet sein, wohingegen dies auf Athleten eines höheren Leistungsniveaus nicht zuzutreffen scheint.

6.4 L-Carnitin

6.4.1 Grundlagen

Carnitin ist ein Metabolit der essentiellen Aminosäuren Methionin und Lysin und ausschließlich als L-Carnitin metabolisch aktiv. Bekanntermaßen dient es einerseits dem Transport von langkettigen Fettsäuren in die Mitochondrien, andererseits ist es Bestandteil verschiedenster Enzyme. Durch die Eigenschaft als Transportmolekül für Fettsäuren in die Mitochondrien eine Rolle zu spielen, werden L-Carnitin-Präparate oftmals als Schlankheitsmittel und als Energielieferanten zur Leistungssteigerung im Sport beworben [6].

6.4.2 Wirkungen

Neueste Studien zeigen, dass die Zufuhr von L-Carnitin bei hoch-intensivem Training über einen erhöhten Sauerstoffverbrauch der Muskulatur die Konzentration von Serummarkern für 'oxidativen Stress' senken kann [115, 116]. Dem liegt möglicherweise eine gesteigerte Fettsäureoxidation zugrunde, wobei das Ausmaß derselben eher als gering und damit der proklamierte gesteigerte Abbau von Fettgewebe als hypothetisch einzustufen sind [6, 117]. In Bezug auf das Potential zur Leistungssteigerung im Kraftsport, ist die Datenlage kontroversiell. Einerseits liegen Untersuchungen vor, die bei Athleten signifikante Kraft- und Leistungssteigerungen sowie verminderte Blutkonzentrationen an Laktat nachweisen konnten [118, 119, 120, 121]. Andererseits gibt es Studien, die gezeigt haben, dass die Supplementation von L-Carnitin kein ergogenes Potential und damit weder kraft- noch leistungssteigernde Effekte besitzt [122, 123, 124]. Während die Wirksamkeit als Nahrungssupplement im Sport demnach fraglich ist und weiteren Studien bedarf, wird L-Carnitin in der Therapie von kardiovaskulären und angiologischen Erkrankungen erfolgreich eingesetzt [6]. Beispielsweise konnten jüngste Studien bei Patienten mit PAVK (periphere arterielle Verschlusskrankheit), durch orale Zufuhr eines L-Carnitin-Präparats signifikante

Verbesserungen im Bereich der Mikrozirkulation der betroffenen Extremitäten nachweisen (125, 126).

6.4.3 Gesundheitliche Risiken und Nebenwirkungen

Ein Überschuss an L-Carnitin wird über die Nieren vollständig ausgeschieden. Dem Autor sind neben leichten gastrointestinalen Beschwerden (Diarrhoe), die bei allen osmotisch aktiven Substanzen auftreten können, keine weiteren Nebenwirkungen bekannt [3, 6, 127].

Abschließend bleibt festzustellen, dass aufgrund der widersprüchlichen Datenlage die Supplementation von L-Carnitin im Kraftsport weder empfohlen, noch abgelehnt werden kann und die Entscheidung damit im Ermessen des Sportlers liegt.

7 Weitere Supplemente

7.1 Coffein

7.1.1 Grundlagen

Coffein (1,3,7-Trimethylxanthin) ist ein altbekanntes Stimulans und ist in Beeren, Blättern und Samen des Kaffeebaumes, des Teestrauchs, der Matepflanze, des Guaranastrauchs, des Kakao- und Kolabaumes enthalten. In den üblichen Mengen zugeführt (ab etwa 0,1 g), erregt Coffein bekanntermaßen das ZNS (Zentralnervensystem), insbesondere die Großhirnrinde, wobei Funktionen wie die Assoziationsfähigkeit verbessert und Gefühle geistiger aber auch körperlicher Erschöpfung unterdrückt werden. Es führt zu einer Steigerung der Herzfrequenz und induziert darüberhinaus eine Vaso- und Bronchodilatation. Im GI-Trakt bewirkt Coffein eine Anregung der Peristaltik und in der Niere über eine Hemmung der Wasser-Rückresorption, eine gesteigerte Diurese [3, 4, 6].

Neben diesen bekannten Wirkungen von Coffein soll anschließend geklärt werden, wie es um das häufig beworbene Potential, eine Steigerung der physischen Leistungsfähigkeit, der Lipolyse und der Thermogenese induzieren zu können, bestellt ist.

7.1.2 Supplementation

7.1.2.1 Wirkungen

a) Ergogenes Potential

Unter Sportlern der verschiedensten Disziplinen ist der Gebrauch von Coffein-Präparaten weit verbreitet [4]. Während der Einfluss des Coffeins auf den Energiestoffwechsel im Ausdauersport mehrheitlich zu einer Leistungssteigerung

führt, liefern Studien für das ergogene Potential im Kraftsport widersprüchliche Ergebnisse [4, 128].

Einerseits ergeben Untersuchungen, wie etwa jene von Hudson et al. [129], Hinweise auf eine signifikante Kraft- und Leistungssteigerung unter Coffein-Anwendung [129, 130, 131, 132, 133, 134, 135], andererseits gibt es eine Reihe von Studien, die keine signifikanten Effekte nachweisen konnten [136, 137, 138], was jedoch möglicherweise darauf zurückzuführen ist, dass die Dosierung zu niedrig angesetzt war.

Um das ergogene Potential sowie dessen eventuelle Abhängigkeit von einer Minimal-Dosis an Coffein abschließend beurteilen zu können, sind demnach weitere umfangreiche Untersuchungen nötig.

b) Lipolyse und Thermogenese

Coffein ist neben L-Carnitin einer der am häufigsten in sogenannten 'Abnehm-Produkten' ('Fatburner') enthaltenen Wirkstoffe. Über eine Erhöhung der Adrenalin-Sekretion induziert es, neben anderen bislang unbekanntem Mechanismen, eine gesteigerte Lipolyse und Thermogenese [3, 4, 6, 139, 140]. Der durch die gesteigerte Thermogenese *erhöhte Energieverbrauch* sowie die vermehrte Fettoxidation, legen demnach einen gewichtsreduzierenden Effekt von Coffein per se nahe.

Diese Vermutung wird jedoch durch die Ergebnisse zahlreicher Studien *nicht* bestätigt, da die Steigerung der Wärmeproduktion den Energieumsatz scheinbar nur minimal erhöht und die vermehrte Fettoxidation durch den verminderten Verbrauch anderer energetischer Substrate ebenso keinen Benefit für eine Gewichtsreduktion zeigt [6].

Zusammenfassend kann man sagen, dass die Supplementation von Coffeinpräparaten über eine Steigerung der Thermogenese sowie der Lipolyse zu keiner signifikanten Gewichtsreduktion führt und Coffein per se (ohne Sport) damit als 'Abnehm-Produkt' ineffektiv erscheint.

7.1.2.2 Dosierung

Die empfohlenen Dosierungsangaben für eine Coffein-Supplementation schwanken zwischen 3 mg/kg/d und 6 mg/kg/d (~ 3 – 6 Tassen Kaffee), wobei die optimale Einnahmezeit zwischen 30 bis 60 Minuten vor dem Training anzusetzen ist, da die Halbwertszeit in etwa 4 Stunden beträgt [4, 129, 131, 136, 137, 138, 141].

7.1.3 Gesundheitliches Risikopotential

Die Grenze von coffein-assoziierten Nebenwirkungen ist individuell sehr unterschiedlich angesetzt, liegt jedoch meist bei Dosierungen von über 6 mg/kg Körpergewicht. Zu den häufigsten Symptomen zählen Kopfschmerzen, Schwindel, GI-Probleme, Nervosität und Schlaflosigkeit.

Megadosen an Coffein können zu einer Vergiftung führen, deren Symptome von Unruhe, Gedankenflucht, Übelkeit, Schweißausbrüchen und Magenproblemen über Tachykardie und Blutdruckanstieg bis hin zu manchmal tödlich verlaufenden Krämpfen reichen [4]. Die dafür nötige Dosis (~ 30 - 50 Tassen Kaffee) wird üblicherweise von gesunden Personen nicht erreicht, wobei jedoch bei bestimmten Erkrankungen besondere Vorsicht geboten ist. So sollten Personen mit *Leberzirrhose* (mögliche Coffein-Anreicherung), *Herzarrhythmien* (mögliche Verstärkung), *Hyperthyreose* (mögliche Verstärkung der Nebenwirkungen von Coffein) und *Angstsyndromen* (mögliche Exazerbation) Coffein nur in geringen Dosen (etwa 100 mg/Tag) einnehmen [142]. Bei länger anhaltendem hohem Coffein-Konsum kommt es auf zellulärer Ebene zu Veränderungen in der Signaltransduktion, was eine Toleranz-Entwicklung gegenüber Coffein und damit eine verminderte Wirkung zur Folge hat. Wird der Konsum nun abrupt verringert, treten Entzugserscheinungen wie Kopfschmerzen und Übelkeit auf [4].

Wie oben dargestellt wurde, gibt es einerseits keinen Anhaltspunkt für eine gewichtsreduzierende Wirkung von Coffein, andererseits scheint das ergogene Potential ebenso fragwürdig und bestenfalls marginal zu sein. Die für die

Beliebtheit im Sport wohl entscheidenden Effekte von Coffein sind demnach die zentrale Stimulation und die verbesserte Motivation, wobei diese aktivierenden Wirkungen umso deutlicher in Erscheinung tritt, je größer die Erschöpfung des Athleten ist.

Die Supplementation von Coffein, scheint für Kraftsportler also insoweit sinnvoll zu sein, als einerseits die Motivation erhöht wird, andererseits über die zentral aktivierende Wirkung das Eintreten eines subjektiven Ermüdungsempfindens hinausgezögert wird, woraus ein effektiveres Training resultieren kann.

7.2 NaHCO₃ (Natriumhydrogencarbonat)

7.2.1 Grundlagen

Bei intensiver körperlicher Belastung, wie etwa auch beim Krafttraining, kommt neben oxidativen Stoffwechselfvorgängen, auch die sogenannte anaerob-laktazide Energiegewinnung zum Tragen [8]. Dabei fallen neben Laktat auch Wasserstoff-Ionen (H⁺-Ionen) an, was eine pH-Verschiebung in den sauren Bereich zur Folge hat [8]. Die dabei entstehende Azidose ist letztlich mitverantwortlich für den während des Trainings beobachtbaren Leistungsabfall [3, 8]. Um diese Azidose abschwächen zu können, verfügt der menschliche Organismus über eine Reihe von Puffersystemen, wobei das potenteste das sogenannte CO₂-Bikarbonat-Puffersystem bildet, welches hier nur kurz dargestellt werden soll. Die bei Muskelarbeit vermehrt anfallenden H⁺-Ionen reagieren mit HCO₃⁻ (Hydrogencarbonat) zu Kohlensäure (H₂CO₃), wobei diese im Blut zu CO₂ (Kohlendioxid) und H₂O (Wasser) zerfällt. CO₂ kann jedoch abgeatmet werden und das pH-neutrale H₂O verbleibt im Körper [8].

7.2.2 Wirkungen

Die Idee der Supplementation von NaHCO₃ liegt nun darin, die Puffer-Kapazität des Körpers bei hoch-intensiver Belastung zu erhöhen.

Messungen haben ergeben, dass die Zufuhr von NaHCO₃ zu einer signifikanten Senkung der intra- und extrazellulären H⁺-Ionen-Konzentration nach körperlicher Belastung führt, was als Erklärung für die beobachtete zeitliche Verzögerung der muskulären Ermüdung sowie für die beschleunigte physische Regeneration dient [3]. Auch neueste Studien zeigen, dass die Natriumhydrogencarbonat-Supplementation bei wiederholter hoher körperlicher Belastung, wie sie im Kraftsport üblich ist, den Leistungsabfall hinauszögern und damit ein intensiveres Training ermöglichen kann [123, 143, 144, 145, 146].

7.2.3 Gesundheitliche Risiken und Nebenwirkungen

Neben dem ergogenen Potential dieses Präparates sind auch die gesundheitlichen Risiken beachtenswert. Als basische Substanz kann NaHCO_3 eine Alkalose induzieren, deren Symptome durch Elektrolytverschiebungen von Parästhesien über Krämpfe bis hin zu Herzrhythmusstörungen reichen können. Weitere Nebenwirkungen sind gastrointestinale Beschwerden und das sogenannte Milch-Alkali-Syndrom, bei dem es zu Kalziumablagerungen in den Nieren kommt [147].

Die Supplementation von NaHCO_3 scheint auch im Kraftsport nach aktueller Studienlage effizient zu sein, ist jedoch mit höchster Vorsicht durchzuführen, sodass die empfohlenen Dosierungsangaben ($\sim 300 \text{ mg/kg}$) keinesfalls überschritten werden [3, 143, 144, 145, 146].

7.3 Konjugierte Linolsäure (CLA)

7.3.1 Grundlagen

Die konjugierten Linolsäuren sind Fettsäuren, die durch Hydrierung von Linolsäuren sowie anderen mehrfach ungesättigten Fettsäuren entstehen und natürlicherweise ausschließlich in Fleisch und Milchprodukten von Wiederkäuern vorkommen [6]. Studien an Tieren, denen CLA appliziert wurde, zeigten teilweise deutliche Effekte bezüglich des Zuwachses an FFM, sowie einer Abnahme der Fettmasse [3, 148, 149]. Diese Beobachtungen haben dazu geführt, dass CLA-Präparate nun seit über 10 Jahren als Nahrungsergänzungsmittel erhältlich sind und den Ruf genießen anabol sowie adipolytisch wirksam zu sein [4].

7.3.2 Wirkungen

In einem 2004 im 'American Journal of Clinical Nutrition' veröffentlichten Review hat die Auswertung der Daten der bis dahin vorliegenden Humanstudien zur CLA-Supplementation ergeben, dass kein Hinweis für eine signifikante Reduktion des Körpergewichts besteht. Darüberhinaus konnten lediglich zwei der Studien eine geringe, wenn auch signifikante Abnahme des Körperfettanteils und damit eine Erhöhung der FFM nachweisen, sodass neben dem adipolytischen auch ein anaboles Potential der CLA eher auszuschließen ist [150]. Auch die Ergebnisse jüngster Studien weisen darauf hin, dass die zusätzliche Applikation von konjugierter Linolsäure weder eine Reduktion des Körpergewichts und des Körperfettanteils noch eine Zunahme der FFM induzieren kann [151, 152, 153].

7.3.3 Gesundheitliche Risiken und Nebenwirkungen

Eine akute Toxizität scheint nicht vorhanden zu sein, doch zeigte eine längerfristige Einnahme von CLA-Präparaten negative Auswirkungen auf das Lipidprofil sowie auf die Insulinsensitivität der Probanden. Darüberhinaus besteht die aus Tierversuchen abgeleitete Vermutung, dass eine CLA-Supplementation mit einem erhöhten Krebsrisiko verbunden sein könnte [6].

Die in Tierversuchen beobachteten positiven Wirkungen scheinen beim Menschen demnach nicht einzutreten, so dass eine Supplementation von CLA im Kraftsport, insbesondere unter Berücksichtigung der potentiellen Nebenwirkungen, nicht erfolgsversprechend erscheint.

8 Schlussbetrachtung

Die in der Arbeit besprochenen Substanzen repräsentieren selbstverständlich nur einen kleinen Teil des gigantischen Angebots an verfügbaren Nahrungsergänzungsmitteln. Die Begründung für die Auswahl besteht darin, dass die angeführten Präparate einerseits die absolute Mehrheit der von Kraftsportlern legal eingenommenen Supplemente bilden [1, 2, 3, 4] und andererseits durch zahlreiche Studien auf Effizienz und Nebenwirkungen überprüft worden sind, woraus natürlich nicht abgeleitet werden kann, dass weitere am Markt verfügbare Nahrungsergänzungsmittel hinsichtlich einer Leistungssteigerung sowie eines Kraft- und Muskelzuwachses ineffizient wären.

Besonders wichtig ist es dem Autor, auf ein grundsätzliches Problem, welches im Rahmen einer Literaturrecherche häufig auftritt, hinzuweisen. Bei umfangreichen Themen, zu denen eine Vielzahl von Studien vorliegt, liefern die Untersuchungen meist inkongruente Ergebnisse, wobei deren Variabilität vom Gegenstand der Untersuchung abhängt.

Wie schon in der Einleitung angesprochen, werden die Diskussionen zur Supplementation verschiedenster Präparate im Sport sehr polarisierend geführt, was auf eine besonders hohe Variabilität und teilweise Widersprüchlichkeit der Untersuchungsdaten zurückzuführen ist.

Da es dem Autor selbstverständlich nicht möglich war, sämtliche Studien zu dem jeweiligen Präparat zu beschaffen, zu lesen und deren Ergebnisse zu berücksichtigen, stand er vor dem Problem, die vorhandenen Studien in einem repräsentativen Verhältnis zu wählen. Der Autor hat dies nach bestem Wissen und Gewissen getan, wobei letztendlich keine Sicherheit über die angenommene Repräsentativität herrschen kann. Die Ergebnisse der Arbeit können somit nur in Relation zu den herangezogenen Studien, welche eine zwar nicht willkürliche jedoch subjektive Auswahl bilden, ohne Anspruch auf Vollständigkeit gelesen werden.

Abschließend muss darauf hingewiesen werden, dass die vorliegende Arbeit lediglich als Orientierungshilfe und nicht als Anleitung zur Einnahme und Dosierung dienen soll. Die Anwendung der besprochenen Substanzen sollte idealerweise erst nach Absprache mit einem erfahrenen Sportarzt erfolgen.

Literaturverzeichnis und Internetquellen

1. Huang S.H., Johnson K., Pipe A.L.: The use of dietary supplements and medications by Canadian athletes at the Atlanta and Sydney Olympic Games. *Clinical Journal of Sport Medicine* 2006; Vol. 16(1); 27-33.
2. Maughan R.J.: Nutritional ergogenic aids and exercise performance. *Nutrition Research Reviews* 1999; Vol. 12(2); 255-280.
3. Antonio J., Kalman D., Stout J.R., Greenwood M., Willoughby D.S., Haff G.G. (2008): *Essentials of Sports Nutrition and Supplements*. Humana Press.
4. Arndt K. (2005): *Handbuch Nahrungsergänzungen*. 3. Auflage, Novagenics Verlag: D-59755 Arnsberg.
5. Löffler G. (2003): *Basiswissen Biochemie mit Pathobiochemie*. 5. Auflage, Springer-Verlag: Berlin. Heidelberg, New York.
6. Hahn A. (2006): *Nahrungsergänzungsmittel und ergänzende bilanzierte Diäten*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart.
7. Biesalski H.K., Grimm P. (2004): *Taschenatlas der Ernährung*. 3., erweiterte und aktualisierte Auflage, Georg Thieme Verlag: Stuttgart, New York.
8. Klinker R., Silbernagl S. (2003): *Lehrbuch der Physiologie*. 4. Auflage, Georg Thieme Verlag: Stuttgart, New York.
9. http://209.85.129.132/search?q=cache:G64PQWSPvhIJ:www.asaim-europe.org/PPT/module_a_d.ppt+Vernon+R.+Young+Protein-Qualit%C3%A4t&cd=1&hl=de&ct=clnk&gl=at
10. Young V.R., Pellett P.L.: Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. *American Journal of Clinical Nutrition* 1994; Vol. 59; 1203-1212.
11. Heymsfield S.B., Arteaga C., McManus C., Smith J., Moffitt S.: Measurement of muscle mass in humans: validity of the 24-hour urinary creatinine method. *American Journal of Clinical Nutrition* 1983; Vol 37; 478-494.
12. http://de.wikipedia.org/wiki/Biologische_Wertigkeit

13. Campbell B., Kreider R.B., Ziegenfuss T., La Bounty P., Roberts M., Burke D., Landis J., Lopez H., Antonio J.: International Society of Sports Nutrition position stand: protein and exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2007; Vol. 4; 8.
14. Aoi W., Naito Y., Yoshikawa T.: Exercise and functional foods. *Nutrition Journal* 2006; Vol. 5; 15.
15. Phillips Stuart M., Hartman Joseph W., Wilkinson MSc., Sarah B.: Dietary Protein to Support Anabolism with Resistance Exercise in Young Men. *Journal of the American College of Nutrition* 2005; Vol. 24; 134-139.
16. Andersen L., Tufekovic G., Zebis M., Crameri R., Verlaan G., Kjær M., Suetta C., Magnusson P., Aagaard P.: The effect of resistance training combined with timed ingestion of protein on muscle fiber size and muscle strength. *Metabolism* 2005; Vol. 54 (2); 151-156.
17. Lemon P.W., Tarnopolsky M.A., MacDougall J.D., Atkinson S.A.: Protein requirements and muscle mass/strength changes during intensive training in novice bodybuilders. *Journal of Applied Physiology* 1992; Vol. 73 (2); 767-775.
18. Tarnopolsky M.A., Atkinson S.A., MacDougall J.D., Chesley A., Phillips S., Schwarcz H.P.: Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. *Journal of Applied Physiology* 1992; Vol. 73 (5); 1986-1995.
19. Chesley A., MacDougall J.D., Tarnopolsky M.A., Atkinson S.A. and Smith K.: Changes in human muscle protein synthesis after resistance exercise. *Journal of Applied Physiology* 1992; Vol. 73 (4); 1383-1388.
20. Phillips S.M., Tipton K.D., Aarsland A., Wolf S.E., Wolfe R.R.: Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *American Journal of Physiology- Endocrinology and Metabolism* 1997; Vol. 273; 99-107.
21. Biolo G., Maggi S.P., Williams B.D., Tipton K.D., Wolfe R.R.: Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in humans. *American Journal of Physiology- Endocrinology and Metabolism* 1995; Vol. 268; 514-520.

22. Phillips S.M.: Dietary protein for athletes: from requirements to metabolic advantage. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* 2006; Vol. 31(6); 647-654.
23. Esmarck B., Andersen J.L., Olsen S., Richter E.A., Mizuno M., Kjaer M.: Timing of postexercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans. *Journal of Physiology* 2001; Vol. 535; 301-311.
24. Kerksick C., Harvey T., Stout J., Campbell B., Wilborn C., Kreider R., Kalman D., Ziegenfuss T., Lopez H., Landis J., Ivy J.L., Antonio J.: International Society of Sports Nutrition position stand: Nutrient timing. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2008; Vol. 5; 17.
25. Tipton K.D., Rasmussen B.B., Miller S.L., Wolf S.E., Owens-Stovall S.K., Petrini B.E., Wolfe R.R.: Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise. *American Journal of Physiology- Endocrinology and Metabolism* 2001; Vol. 281(2); 197-206.
26. Flakoll P.J., Judy T., Flinn K., Carr C., Flinn S.: Postexercise protein supplementation improves health and muscle soreness during basic military training in Marine recruits. *Journal of Applied Physiology* 2004; Vol. 96(3); 951-956.
27. Lowery L.M., Devia L.: Dietary protein safety and resistance exercise: what do we really know? *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2009; Vol. 6; 3.
28. Poortmans J.R., Dellalieux O.: Do regular high protein diets have potential health risks on kidney function in athletes? *International Journal of Sports Nutrition and Exercise Metabolism* 2000; Vol. 10(1); 28-38.
29. Hermansen K., Dinesen B., Hoie L.H., Morgenstern E., Gruenwald J.: Effects of soy and other natural products on LDL:HDL ratio and other lipid parameters: a literature review. *Advances in Therapy* 2003; Vol. 20(1); 50-78

30. Hu F.B., Stampfer M.J., Manson J.E., Rimm E., Colditz G.A., Speizer F.E., Hennekens C.H., Willett W.C.: Dietary protein and risk of ischemic heart disease in women. *American Journal of Clinical Nutrition* 1999; Vol. 70(2); 221-227.
31. <http://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/what-should-you-eat/protein-full-story/index.html>
32. <http://sportsmedicine.about.com/od/sportsnutrition/a/proteindehydrat.htm>
33. Martin W.F., Cerundolo L.H., Pikosky M.A., Gaine P.C., Maresh C.M., Armstrong L.E., Bolster D.R., Rodriguez N.R.: Effects of dietary protein intake on indexes of hydration. *Journal of the American Dietetic Association* 2006; Vol. 106(4); 587-589.
34. Robergs R.A., Pearson D.R., Costill D.L., Fink W.J., Pascoe D.D., Benedict M.A., Lambert C.P., Zachweija J.J.: Muscle glycogenolysis during differing intensities of weight-resistance exercise. *Journal of Applied Physiology* 1991; Vol. 70; 1700-1706.
35. Tesch P.A., Colliander E.B., Kaiser P.: Muscle metabolism during intense, heavy-resistance exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 1986; Vol. 55(4); 362-366.
36. Chandler R.M., Byrne H.K., Patterson J.G., Ivy J.L.: Dietary supplements affect the anabolic hormones after weight-training exercise. *Journal of Applied Physiology* 1994; Vol. 76(2); 839-845.
37. Kulik J.R., Touchberry C.D., Kawamori N., Blumert P.A., Crum A.J., Haff G.G.: Supplemental carbohydrate ingestion does not improve performance of high-intensity resistance exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2008; Vol. 22(4); 1101-1107.
38. Baty J.J., Hwang H., Ding Z., Bernard J.R., Wang B., Kwon B., Ivy J.L.: The effect of a carbohydrate and protein supplement on resistance exercise performance, hormonal response, and muscle damage. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2007; Vol. 21(2); 321-329.
39. Beelen M., Koopman R., Gijsen A.P., Vandereydt H., Kies A.K., Kuipers H., Saris W.H., van Loon L.J.: Protein coingestion stimulates muscle protein synthesis during resistance-type exercise. *American Journal of Physiology- Endocrinology and Metabolism* 2008; Vol. 295(1); 70-77.

40. http://www.diabeteszentrum-heidelberg.de/patienten-info/glykaemische_index.htm
41. <http://myogenic.de/wiki/physio:maltodextrin>
42. Kirwan J.P., Cyr-Campbell D., Campbell W.W., Scheiber J., Evans W.J.: Effects of moderate and high glycemic index meals on metabolism and exercise performance. *Metabolism: clinical and experimental* 2001; Vol. 50(7); 849-855.
43. Lambert C.P., Frank L.L., Evans W.J.: Macronutrient considerations for the sport of bodybuilding. *Sports Medicine (Auckland N.Z.)* 2004; Vol. 34(5); 317-327.
44. Barclay A.W., Petocz P., McMillan-Price J., Flood V.M., Prvan T., Mitchell P., Brand-Miller J.C.: Glycemic index, glycemic load, and chronic disease risk—a meta-analysis of observational studies. *American Journal of Clinical Nutrition* 2008; Vol. 87; 627-637.
45. Nikolić M., Nikić D., Petrović B., Rancić N., Arandelović M.: Influence of dietary glycemic index and glycemic load on the occurrence of ischemic heart disease. *Vojnosanit Pregl* 2009; Vol. 66(3); 212-217.
46. Balsom P.D., Söderlund K., Ekblom B.: Creatine in humans with special reference to creatine supplementation. *Sports Medicine (Auckland N.Z.)* 1994; Vol. 18(4); 268-280.
47. Pearlman J.P., Fielding R.A.: Creatine monohydrate as a therapeutic aid in muscular dystrophy. *Nutrition Reviews* 2006; Vol. 64(2 Pt 1); 80-88.
48. Tarnopolsky M.A.: Clinical use of creatine in neuromuscular and neurometabolic disorders. *Subcellular Biochemistry* 2007; Vol. 46; 183-204.
49. Mendes R.R., Tirapegui J.: Creatine: the nutritional supplement for exercise - current concepts. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion* 2002; Vol. 52(2); 117-127.
50. Casey A., Greenhaff P.L.: Does dietary creatine supplementation play a role in skeletal muscle metabolism and performance? *American Journal of Clinical Nutrition* 2000; Vol. 72; 607-617.
51. <http://www.kreasup.ch/>

52. Schoch R.D., Willoughby D., Greenwood M.: The Regulation and Expression of the Creatine Transporter: A Brief Review of Creatine Supplementation in Humans and Animals. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2006; Vol. 3; 60-66.
53. Burke D.G., Chilibeck P.D., Parise G., Candow D.G., Mahoney D., Tarnopolsky M.: Effect of creatine and weight training on muscle creatine and performance in vegetarians. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2003; Vol. 35(11); 1946-1955.
54. Vandenberghe K., Goris M., Van Hecke P., Van Leemputte M., Vangerven L., Hespel P.: Long-term creatine intake is beneficial to muscle performance during resistance training. *Journal of Applied Physiology* 1997; Vol. 83(6); 2055-2063.
55. Safdar A., Yardley N.J., Snow R., Melov S., Tarnopolsky M.A.: Global and targeted gene expression and protein content in skeletal muscle of young men following short-term creatine monohydrate supplementation. *Physiological Genomics* 2008; Vol. 32; 219-228.
56. Deldicque L., Atherton P., Patel R., Theisen D., Nielens H., Rennie M.J., Francaux M.: Effects of resistance exercise with and without creatine supplementation on gene expression and cell signaling in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology* 2008; Vol. 104(2); 371-378.
57. Hespel P., Derave W.: Ergogenic effects of creatine in sports and rehabilitation. *Subcellular Biochemistry* 2007; Vol. 46; 245-259.
58. Kreider R.B.: Effects of creatine supplementation on performance and training adaptations. *Molecular and Cellular Biochemistry* 2003; Vol. 244(1-2); 89-94.
59. Jäger R., Metzger J., Lautmann K., Shushakov V., Purpura M., Geiss K.R., Maassen N.: The effects of creatine pyruvate and creatine citrate on performance during high intensity exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2008; Vol.5; 4.
60. Koenig C.A., Benardot D., Cody M., Thompson W.R.: Comparison of creatine monohydrate and carbohydrate supplementation on repeated jump height performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2008; Vol. 22(4); 1081-1086.

61. Branch J.D.: Effect of creatine supplementation on body composition and performance: a meta-analysis. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2003; Vol. 13(2); 198-226.
62. Terjung R.L., Clarkson .P, Eichner E.R., Greenhaff P.L., Hespel P.J., Israel R.G., Kraemer W.J., Meyer R.A., Spriet L.L., Tarnopolsky M.A., Wagenmakers A.J., Williams M.H.: American College of Sports Medicine roundtable. The physiological and health effects of oral creatine supplementation. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2000; Vol. 32(3); 706-717.
63. Bemben M.G., Lamont H.S.: Creatine supplementation and exercise performance: recent findings. *Sports Medicine (Auckland, N. Z.)* 2005; Vol. 35(2); 107-125.
64. Hultman E., Söderlund K., Timmons J.A., Cederblad G., Greenhaff P.L.: Muscle creatine loading in men. *Journal of Applied Physiology* 1996; Vol. 81(1); 232-237.
65. Steenge G.R., Simpson E.J., Greenhaff P.L.: Protein- and carbohydrate-induced augmentation of whole body creatine retention in humans. *Journal of Applied Physiology* 2000; Vol. 89(3); 1165-1171.
66. Borsheim E., Aarsland A., Wolfe R.R.: Effect of an amino acid, protein, and carbohydrate mixture on net muscle protein balance after resistance exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2004; Vol. 14(3); 255-271.
67. Tang J.E., Manolagos J.J., Kujbida G.W., Lysecki P.J., Moore D.R., Phillips S.M.: Minimal whey protein with carbohydrate stimulates muscle protein synthesis following resistance exercise in trained young men. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism* 2007; Vol. 32(6); 1132-1138.
68. Preen D., Dawson B., Goodman C., Beilby J., Ching S.: Creatine supplementation: a comparison of loading and maintenance protocols on creatine uptake by human skeletal muscle. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2003; Vol. 13(1); 97-111.

69. Sipilä I., Rapola J., Simell O., Vannas A.: Supplementary creatine as a treatment for gyrate atrophy of the choroid and retina. *The New England Journal of Medicine* 1981; Vol. 304(15); 867-870.
70. Sullivan P.G., Geiger J.D., Mattson M.P., Scheff S.W.: Dietary supplement creatine protects against traumatic brain injury. *Annals of Neurology* 2000; Vol. 48(5); 723-729.
71. Greenwood M., Kreider R.B., Greenwood L., Byars A.: Cramping and Injury Incidence in Collegiate Football Players Are Reduced by Creatine Supplementation. *Journal of Athletic Training* 2003; Vol. 38(3); 216-219.
72. Persky A.M., Rawson E.S.: Safety of creatine supplementation. *Subcellular Biochemistry* 2007; Vol. 46; 275-289.
73. Ostojic S.M., Ahmetovic Z.: Gastrointestinal distress after creatine supplementation in athletes: are side effects dose dependent? *Research in Sports Medicine* 2008; Vol. 16(1); 15-22.
74. Gualano B., Ugrinowitsch C., Novaes R.B., Artioli G.G., Shimizu M.H., Seguro A.C., Harris R.C., Lancha A.H. Jr.: Effects of creatine supplementation on renal function: a randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. *European Journal of Applied Physiology* 2008; Vol. 103(1); 33-40.
75. Groeneveld G.J., Beijer C., Veldink J.H., Kalmijn S., Wokke J.H., van den Berg L.H.: Few adverse effects of long-term creatine supplementation in a placebo-controlled trial. *International Journal of Sports Medicine* 2005; Vol. 26(4); 307-313.
76. Negro M., Giardina S., Marzani B., Marzatico F.: Branched-chain amino acid supplementation does not enhance athletic performance but affects muscle recovery and the immune system. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 2008; Vol. 48(3); 347-351.
77. Shimomura Y., Yamamoto Y., Bajotto G., Sato J., Murakami T., Shimomura N., Kobayashi H., Mawatari K.: Nutraceutical Effects of Branched-Chain Amino Acids on Skeletal Muscle. *The Journal of Nutrition* 2006; Vol.136 (2); 529-532.

78. Shimomura Y., Murakami T., Nakai N., Nagasaki M., Harris R.A.: Exercise Promotes BCAA Catabolism: Effects of BCAA Supplementation on Skeletal Muscle during Exercise. *The Journal of Nutrition* 2004; Vol. 134; 1583-1587.
79. Gleeson M.: Interrelationship between Physical Activity and Branched-Chain Amino Acids. *The Journal of Nutrition* 2005; Vol. 135; 1591-1595.
80. Bianchi G., Marzocchi R., Agostini F., Marchesini G.: Update on nutritional supplementation with branched-chain amino acids. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* 2005; Vol. 8(1); 83-87.
81. Matsumoto K., Mizuno M., Mizuno T., Dilling-Hansen B., Lahoz A., Bertelsen V., Münster H., Jordening H., Hamada K., Doi T.: Branched-chain amino acids and arginine supplementation attenuates skeletal muscle proteolysis induced by moderate exercise in young individuals. *The International Journal of Sports Medicine* 2007; Vol. 28(6); 531-538.
82. MacLean D.A., Graham T.E., Saltin B.: Branched-chain amino acids augment ammonia metabolism while attenuating protein breakdown during exercise. *The American Journal of Physiology* 1994; Vol. 267(6 Pt. 1); 1010-1022.
83. Coombes J.S., McNaughton L.R.: Effects of branched-chain amino acid supplementation on serum creatine kinase and lactate dehydrogenase after prolonged exercise. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 2000; Vol.40(3); 240-246.
84. Koopman R., Wagenmakers A.J., Manders R.J., Zorenc A.H., Senden J.M., Gorselink M., Keizer H.A., van Loon L.J.: Combined ingestion of protein and free leucine with carbohydrate increases postexercise muscle protein synthesis in vivo in male subjects. *American Journal of Physiology- Endocrinology and Metabolism* 2005; Vol. 288(4); 645-653.
85. De Bandt J.P., Cynober L.: Therapeutic use of branched-chain amino acids in burn, trauma, and sepsis. *The Journal of Nutrition* 2006; Vol. 136(1 Suppl); 308-313.
86. Cano N.J., Fouque D., Leverve X.M.: Application of branched-chain amino acids in human pathological states: renal failure. *The Journal of Nutrition* 2006; Vol. 136(1 Suppl); 299-307.

87. Charlton M.: Branched-chain amino acid enriched supplements as therapy for liver disease. *The Journal of Nutrition* 2006; Vol. 136(1 Suppl); 295-298.
88. Fujita S., Volpi E.: Amino acids and muscle loss with aging. *The Journal of Nutrition* 2006; Vol. 136 (1 Suppl); 277-280.
89. Stein T.P., Donaldson M.R., Leskiw M.J., Schluter M.D., Baggett D.W., Boden G.: Branched-chain amino acid supplementation during bed rest: effect on recovery. *Journal of Applied Physiology* 2003; Vol. 94(4); 1345-1352.
90. Campbell B.I., La Bounty P.M., Roberts M.: The Ergogenic Potential of Arginine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2004; Vol. 1(2); 35–38.
91. Kanaley J.A.: Growth hormone, arginine and exercise. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* 2008; Vol. 11(1); 50-54.
92. Fayh A.P., Friedman R., Sapata K.B., Oliveira A.R.: Effect of L-arginine supplementation on secretion of human growth hormone and insulin-like growth factor in adults. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabologia* 2007; Vol. 51(4); 587-592.
93. Collier S.R., Collins E., Kanaley J.A.: Oral arginine attenuates the growth hormone response to resistance exercise. *Journal of Applied Physiology* 2006; Vol. 101(3); 848-852.
94. Liu T.H., Wu C.L., Chiang C.W., Lo Y.W., Tseng H.F., Chang C.K.: No effect of short-term arginine supplementation on nitric oxide production, metabolism and performance in intermittent exercise in athletes. *Journal of Nutritional Biochemistry* 2009; Vol. 20(6); 462-468.
95. Calder P.C., Yaqoob P.: Glutamine and the immune system. *Amino Acids* 1999; Vol. 17(3); 227-241.
96. Gleeson M.: Dosing and efficacy of glutamine supplementation in human exercise and sport training. *The Journal of Nutrition* 2008; Vol. 138(10); 2045-2049.

97. Krzywkowski K., Petersen E.W., Ostrowski K., Kristensen J.H., Boza J., Pedersen B.K.: Effect of glutamine supplementation on exercise-induced changes in lymphocyte function. *American Journal of Physiology- Cell Physiology* 2001; Vol. 281(4); 1259-1265.
98. Antonio J., Sanders M.S., Kalman D., Woodgate D., Street C.: The effects of high-dose glutamine ingestion on weightlifting performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 2002; Vol. 16(1); 157-160.
99. Falk D.J., Heelan K.A., Thyfault J.P., Koch A.J.: Effects of effervescent creatine, ribose, and glutamine supplementation on muscular strength, muscular endurance, and body composition. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 2003; Vol. 17(4); 810-816.
100. Phillips G.C.: Glutamine: the nonessential amino acid for performance enhancement. *Current Sports Medicine Reports* 2007; Vol. 6(4); 265-268.
101. Watford M.: Glutamine metabolism and function in relation to proline synthesis and the safety of glutamine and proline supplementation. *The Journal of Nutrition* 2008; Vol. 138(10); 2003-2007.
102. Kraemer W.J., Hatfield D.L., Volek J.S., Fragala M.S., Vingren J.L., Anderson J.M., Spiering B.A., Thomas G.A., Ho J.Y., Quann E.E., Izquierdo M., Häkkinen K., Maresh C.M.: Effects of Amino Acids Supplement on Physiological Adaptations to Resistance Training. *Medicine and Science in Sports Exercise* 2009; Vol. 41(5); 1111-1121.
103. Gallagher P.M., Carrithers J.A., Godard M.P., Schulze K.E., Trappe S.W.: Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate ingestion, Part I: effects on strength and fat free mass. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2000; Vol. 32(12); 2109-2115.
104. Panton L.B., Rathmacher J.A., Baier S., Nissen S.: Nutritional supplementation of the leucine metabolite beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (hmb) during resistance training. *Nutrition* 2000; Vol. 16(9); 734-739.

105. Van Someren K.A., Edwards A.J., Howatson G.: Supplementation with beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) and alpha-ketoisocaproic acid (KIC) reduces signs and symptoms of exercise-induced muscle damage in man. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2005; Vol. 15(4); 413-424.
106. Nissen S., Sharp R., Ray M., Rathmacher J.A., Rice D., Fuller J.C. Jr., Connelly A.S., Abumrad N.: Effect of leucine metabolite beta-hydroxy-beta-methylbutyrate on muscle metabolism during resistance-exercise training. *Journal of Applied Physiology* 1996; Vol. 81(5); 2095-2104.
107. Slater G.J., Jenkins D.: Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) supplementation and the promotion of muscle growth and strength. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)* 2000; Vol. 30(2); 105-116.
108. Nissen S.L., Sharp R.L.: Effect of dietary supplements on lean mass and strength gains with resistance exercise: a meta-analysis. *Journal of Applied Physiology* 2003; Vol. 94(2); 651-659.
109. O'Connor D.M., Crowe M.J.: Effects of six weeks of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) and HMB/creatine supplementation on strength, power, and anthropometry of highly trained athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2007. Vol. 21(2); 419-423.
110. O'Connor D.M., Crowe M.J.: Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate and creatine monohydrate supplementation on the aerobic and anaerobic capacity of highly trained athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 2003; Vol. 43(1); 64-68.
111. Gallagher P.M., Carrithers J.A., Godard M.P., Schulze K.E., Trappe S.W.: Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate ingestion, part II: effects on hematology, hepatic and renal function. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2000; Vol. 32(12); 2116-2119.
112. Palisin T., Stacy J.J.: Beta-hydroxy-beta-Methylbutyrate and its use in athletics. *Current Sports Medicine Reports* 2005; Vol. 4(4); 220-223.

113. Hsieh L.C., Chien S.L., Huang M.S., Tseng H.F., Chang C.K.: Anti-inflammatory and anticatabolic effects of short-term beta-hydroxy-beta-methylbutyrate supplementation on chronic obstructive pulmonary disease patients in intensive care unit. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 2006; Vol. 15(4); 544-550.
114. Kuhls D.A., Rathmacher J.A., Musngi M.D., Frisch D.A., Nielson J., Barber A., MacIntyre A.D., Coates J.E., Fildes J.J.: Beta-hydroxy-beta-methylbutyrate supplementation in critically ill trauma patients. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care* 2007; Vol. 62(1); 125-131.
115. Spiering B.A., Kraemer W.J., Hatfield D.L., Vingren J.L., Fragala M.S., Ho J.Y., Thomas G.A., Häkkinen K., Volek J.S.: Effects of L-carnitine L-tartrate supplementation on muscle oxygenation responses to resistance exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2008; Vol. 22(4); 1130-1135.
116. Broad E.M., Maughan R.J., Galloway S.D.: Carbohydrate, protein, and fat metabolism during exercise after oral carnitine supplementation in humans: *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2008; Vol.18(6); 567-584.
117. Müller D.M., Seim H., Kiess W., Löster H., Richter T.: Effects of oral L-carnitine supplementation on in vivo long-chain fatty acid oxidation in healthy adults. *Metabolism: Clinical and Experimental* 2002; Vol. 51(11); 1389-1391.
118. Jacobs P.L., Goldstein E.R., Blackburn W., Orem I., Hughes J.J.: Glycine propionyl-L-carnitine produces enhanced anaerobic work capacity with reduced lactate accumulation in resistance trained males. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2009; Vol. 6(1); 9.
119. Karlic H., Lohninger A.: Supplementation of L-carnitine in athletes: does it make sense? *Nutrition* 2004; Vol. 20(7-8); 709-715.

120. Kraemer W.J., Spiering B.A., Volek J.S., Ratamess N.A., Sharman M.J., Rubin M.R., French D.N., Silvestre R., Hatfield D.L., Van Heest J.L., Vingren J.L., Judelson D.A., Deschenes M.R., Maresh C.M.: Androgenic responses to resistance exercise: effects of feeding and L-carnitine. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2006; Vol. 38(7); 1288-1296.
121. Volek J.S., Kraemer W.J., Rubin M.R., Gómez A.L., Ratamess N.A., Gaynor P.: L-Carnitine L-tartrate supplementation favorably affects markers of recovery from exercise stress. *American Journal of Physiology, Endocrinology and Metabolism* 2002; Vol. 282(2); 474-482.
122. Smith W.A., Fry A.C., Tschume L.C., Bloomer R.J.: Effect of glycine propionyl-L-carnitine on aerobic and anaerobic exercise performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2008; Vol. 18(1); 19-36.
123. Spriet L.L., Perry C.G., Talanian J.L.: Legal pre-event nutritional supplements to assist energy metabolism. *Essays in Biochemistry* 2008; Vol. 44; 27-43.
124. Brass E.P.: Carnitine and sports medicine: use or abuse? *Annals of the New York Academy of Sciences* 2004; Vol. 1033; 67-78.
125. Allegra C., Antignani P.L., Schachter I., Koverech A., Messano M., Virmani A.: Propionyl-L-carnitine in Leriche-Fontaine stage II peripheral arterial obstructive disease. *Annals of Vascular Surgery* 2008; Vol. 22(4); 552-558.
126. Brevetti G., Attisano T., Perna S., Rossini A., Policicchio A., Corsi M.: Effect of L-carnitine on the reactive hyperemia in patients affected by peripheral vascular disease: a double-blind, crossover study. *Angiology* 1989; Vol. 40(10); 857-62.
127. Hathcock J.N., Shao A.: Risk assessment for carnitine. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 2006; Vol. 46(1); 23-38.
128. Paluska S.A.: Caffeine and exercise. *Current Sports Medicine Reports* 2003; Vol. 2(4); 213-219.

129. Hudson G.M., Green J.M., Bishop P.A., Richardson M.T.: Effects of caffeine and aspirin on light resistance training performance, perceived exertion, and pain perception. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2008 Nov; Vol. 22(6); 1950-1957.
130. Jones G.: Caffeine and other sympathomimetic stimulants: modes of action and effects on sports performance. *Essays in Biochemistry* 2008; Vol. 44; 109-123.
131. McNaughton L.R., Lovell R.J., Siegler J., Midgley A.W., Moore L., Bentley D.J.: The effects of caffeine ingestion on time trial cycling performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2008; Vol. 3(2); 157-163.
132. Tarnopolsky M.A.: Effect of caffeine on the neuromuscular system--potential as an ergogenic aid. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 2008; Vol. 33(6); 1284-1289.
133. Green J.M., Wickwire P.J., McLester J.R., Gendle S., Hudson G., Pritchett R.C., Laurent C.M.: Effects of caffeine on repetitions to failure and ratings of perceived exertion during resistance training. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 2007; Vol. 2(3); 250-259.
134. Beck T.W., Housh T.J., Schmidt R.J., Johnson G.O., Housh D.J., Coburn J.W., Malek M.H.: The acute effects of a caffeine-containing supplement on strength, muscular endurance, and anaerobic capabilities. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2006; Vol. 20(3); 506-510.
135. Sökmen B., Armstrong L.E., Kraemer W.J., Casa D.J., Dias J.C., Judelson D.A., Maresh C.M.: Caffeine use in sports: considerations for the athlete. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2008; Vol. 22(3); 978-986.
136. Tunnicliffe J.M., Erdman K.A., Reimer R.A., Lun V., Shearer J.: Consumption of dietary caffeine and coffee in physically active populations: physiological interactions. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* 2008; Vol. 33(6); 1301-1310.

137. Williams A.D., Cribb P.J., Cooke M.B., Hayes A.: The effect of ephedra and caffeine on maximal strength and power in resistance-trained athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2008; Vol. 22(2); 464-470.
138. Jacobs I., Pasternak H., Bell D.G.: Effects of ephedrine, caffeine, and their combination on muscular endurance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2003; Vol. 35(6); 987-994.
139. Belza A., Toubro S., Astrup A.: The effect of caffeine, green tea and tyrosine on thermogenesis and energy intake. *European Journal of Clinical Nutrition* 2009; Vol. 63(1); 57-64.
140. Westerterp-Plantenga M.S., Lejeune M.P., Kovacs E.M.: Body weight loss and weight maintenance in relation to habitual caffeine intake and green tea supplementation. *Obesity Research* 2005; Vol. 13(7); 1195-1204.
141. Astorino T.A., Rohmann R.L., Firth K., Kelly S.: Caffeine-induced changes in cardiovascular function during resistance training. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2007; Vol. 17(5); 468-477.
142. http://www.parcelmed.de/schlaf-und%20nerven/leistungsschwaechep4584676_coffeinum-n-0-2-g-tabletten.html
143. Lindh A.M., Peyrebrune M.C., Ingham S.A., Bailey D.M., Folland J.P.: Sodium bicarbonate improves swimming performance. *International Journal of Sports Medicine* 2008; Vol. 29(6); 519-523.
144. Pruscino C.L., Ross M.L., Gregory J.R., Savage B., Flanagan T.R.: Effects of sodium bicarbonate, caffeine, and their combination on repeated 200-m freestyle performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2008; Vol. 18(2); 116-130.
145. Douroudos I.I., Fatouros I.G., Gourgoulis V., Jamurtas A.Z., Tsitsios T., Hatzinikolaou A., Margonis K., Mavromatidis K., Taxildaris K.: Dose-related effects of prolonged NaHCO₃ ingestion during high-intensity exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2006; Vol. 38(10); 1746-1753.

146. Bishop D., Claudius B.: Effects of induced metabolic alkalosis on prolonged intermittent-sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 2005; Vol. 37(5); 759-767.
147. <http://www.dopinginfo.ch/faktenblatter/natrium-bikarbonat-natrium-citrat/seite-3.html>
148. West D.B., Blohm F.Y., Truett A.A., DeLany J.P.: Conjugated Linoleic Acid Persistently Increases Total Energy Expenditure in AKR/J Mice without Increasing Uncoupling Protein Gene Expression. *Journal of Nutrition* 2000; Vol. 130(10); 2471-2477.
149. Moloney F., Toomey S., Noone E., Nugent A., Allan B., Loscher C.E., Roche H.M.: Antidiabetic Effects of cis-9, trans-11–Conjugated Linoleic Acid May Be Mediated via Anti-Inflammatory Effects in White Adipose Tissue. *Diabetes* 2007; Vol. 56(3); 574-582.
150. Terpstra A.H.: Effect of conjugated linoleic acid on body composition and plasma lipids in humans: an overview of the literature. *American Journal of Clinical Nutrition* 2004; Vol. 79(3); 352-361.
151. Lambert E.V., Goedecke J.H., Bluett K., Heggie K., Claassen A., Rae D.E., West S., Dugas J., Dugas L., Meltzer S., Charlton K., Mohede I.: Conjugated linoleic acid versus high-oleic acid sunflower oil: effects on energy metabolism, glucose tolerance, blood lipids, appetite and body composition in regularly exercising individuals. *British Journal of Nutrition* 2007; Vol. 97(5); 1001-1011.
152. Silveira M.B., Carraro R., Monereo S., Tébar J.: Conjugated linoleic acid (CLA) and obesity. *Public Health Nutrition* 2007; Vol. 10(10A); 1181-1186.
153. Adams R. E., Hsueh A., Alford B., King C., Mo H., Wildman R.: Conjugated Linoleic Acid Supplementation Does Not Reduce Visceral Adipose Tissue in Middle-Aged Men Engaged in a Resistance-Training Program. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2006; Vol. 3; 28-36.