



MASTERARBEIT | MASTER'S THESIS

Titel | Title

Einfluss von antioxidativ und antiinflammatorisch wirksamen Mikronährstoffen
auf oxidativen Stress bei jungen gesunden Frauen

verfasst von | submitted by

Pia Katharina Weiss BSc

angestrebter akademischer Grad | in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Master of Science (MSc)

Wien | Vienna, 2025

Studienkennzahl lt. Studienblatt |
Degree programme code as it appears on the
student record sheet:

UA 066 838

Studienrichtung lt. Studienblatt | Degree
programme as it appears on the student
record sheet:

Masterstudium Ernährungswissenschaften

Betreut von | Supervisor:

Univ.-Prof. Dr. Daniel König

DANKSAGUNG

Ich möchte mich für die Bereitstellung und Betreuung meiner Masterarbeit bei Univ.-Prof. Dr. Daniel König bedanken.

Bedanken möchte ich mich ebenfalls bei Markus Gassner MSc. für die umfassende und große Hilfe, sowie bei der Arbeitsgruppe des Forschungslabors für den Arbeitsbereich Ernährung, Bewegung und Gesundheit (NuTraLab).

ABSTRACT

Hintergrund dieser Arbeit ist die Wirkung der Nährstoffe Vitamin C, Vitamin E, β -Carotin, Magnesium, Zink sowie Kohlenhydrate und die Menge der aufgenommenen Energie auf antiinflammatorischer und antioxidativer Ebene. Intensives Krafttraining kann zu einer übermäßigen Beanspruchung des Organismus und in weiterer Folge auch zu oxidativen Schädigungen von Gewebe führen. Dem kann möglicherweise mithilfe von Ernährung entgegenwirkt werden. **Ziel** ist, den Zusammenhang zwischen Nährstoffaufnahme und der durch Krafttraining hervorgerufenen oxidativen Stress- und Entzündungsreaktion zu untersuchen. Dazu werden Inflammationsparameter genutzt. Der hier behandelte Teil der Studie betrachtet insbesondere die Ernährung der Probandinnen am Vortag der Intervention. Der **Methodikteil** beinhaltet eine Studie, die den Einfluss pflanzlicher Lebensmittel auf Entzündungsmarker nach dem Krafttraining bei Frauen untersucht. Definierte Lebensmittel (z.B. Bitterschokolade, Broccoli) wurden nach standardisierten Ruhe- und Belastungsphasen eingenommen. Zu verschiedenen Zeitpunkten wurden Blutproben entnommen, um Entzündungs- und Stressmarker zu analysieren. Die Ernährung wurde über 24-Stunden-Recalls dokumentiert und mit der Software NUT.s ausgewertet. **Ergebnis:** Es wurden beinahe signifikante inverse Zusammenhänge zwischen einer hohen Magnesiumaufnahme und Interleukin-6 Werten beobachtet. Zwischen den anderen Nährstoffen und oxidativen oder inflammatorischen Markern konnten keine signifikanten Zusammenhänge gezeigt werden.

Background of this thesis is the effect of the nutrients and minerals vitamin C, vitamin E, β -carotin, magnesium, zinc as well as carbohydrates and energy intake on anti-inflammatory and antioxidative markers. Muscle work in the form of intense strength training leads to oxidative harmful effects on muscle tissues. The **aim of work** is to assess the connection between nutrient intake and regeneration of resistance exercise induced oxidative stress and inflammation. The main interest of this thesis is the nutritional intake on the day before the study intervention. The **methods** include an assessment of the impact of plant foods on inflammation markers, after heavy strength training in women. Defined foods (e.g. dark chocolate, broccoli) were consumed within standardized regeneration and stress phases. Blood samples were taken at different timepoints to assess inflammation and oxidative stress. The nutritional intake was documented by 24-h recalls and evaluated with the help of the software NUT.s. **Outcomes** of the study were an almost significant association between high

magnesium intake and the inflammatory marker IL-6. Actual significant interactions between the other nutrients and oxidative or inflammatory markers were not observed.

INHALT

Abstract	2
Abbildungsverzeichnis.....	5
Tabellenverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	1
Theoretische Grundlagen	2
Stressinduzierte Entzündungsreaktionen des Körpers	2
Marker und Messung der Entzündungsreaktionen.....	5
Vitamine und Nährstoffe	7
Vitamin C.....	7
β -Carotin	8
Vitamin E.....	10
Magnesium	11
Zink.....	12
Energie	13
Kohlenhydrate	14
Omega 3 und 6 Fettsäuren	14
Östrogen im Zusammenhang mit Entzündungen.....	15
Methodik	17
Allgemeine Informationen.....	17
Teilnahmebestimmungen für Probandinnen	17
Studiendesign	18
Ergebnisse	24
Auswertung.....	24
Hypothese.....	26
Diskussion.....	30
Fazit	33
Literaturverzeichnis.....	35

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Weithin genutzte Spin Traps	4
Abbildung 2: Vitamin C Gehalt in verschiedenen Lebensmitteln	8
Abbildung 3: β -Carotin Gehalt in verschiedenen Lebensmitteln	9
Abbildung 4: Strukturformeln der Tocopherol und Tocotrienol Isomere.....	10
Abbildung 5: Vitamin E Gehalt in verschiedenen ausgewählten Lebensmitteln	10
Abbildung 6: Magnesiumgehalt in verschiedenen Lebensmitteln	12
Abbildung 7: Zinkgehalt in verschiedenen Lebensmitteln	13
Abbildung 8: Auswirkungen von niedrigem Östrogenstatus bei Frauen	16
Abbildung 9: Trainingstag Ablauf	22
Abbildung 10: Veränderung der IL-6-Werte bei Rugbyspielern und Magnesium supplementierten Rugbyspielern	30

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Beispiel: Auswertung der Nährstoffe des Ernährungsprotokolls eines Tages	24
Tabelle 2: Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr	25
Tabelle 3: Kategoriengruppen der Nährstoffe. Nährstoffwerte in mg.	26
Tabelle 4: Auswertung der ROS Baseline	27
Tabelle 5: Auswertung der IL-6-Baseline.....	28
Tabelle 6: Individuelle Betrachtung der IL-6-Werte für die Magnesiumaufnahme unterschiedlicher Kategorien	29

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ATP	Adenosintriphosphat
BMI	Body Mass Index
DEPMPO	5-Diethoxyphosphoryl-5-methyl-1-pyrrolin-N-oxid
EDII	Empirical Dietary Inflammatory Index
EDTA	Ethylendiamintetra-essigsäure
EKG	Elektrokardiogramm
EMPO	5-Ethoxycarbonyl-5-methyl-pyrrolin-N-oxid
ESR	Elektronen-Spin-Resonanz
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
ID	Identifikator
IL-6	Interleukin-6
MDA	Malondialdehyd
NADPH	Nicotinamidadenindinukleotidphosphat
Nrf2	Nuclear Respiratory Factor 2
·OH	Hydroxyl Radikal
O ₂	Sauerstoff
PBN	N-tert-Butyl- α -phenylnitron
PI3K/Akt-Signalweg	Phosphatidylinositol 3-kinase/ protein kinase B-Signalweg
POBN	α (4-Pyridil-1-oxid)-N-tert-Butylnitron
RLS	Reaktive Lipidspezies
RNS	Reaktive Nitrogenspezies
ROS	Reaktive Sauerstoffspezies
TNF-alpha	Tumor-Nekrose-Faktor-alpha
T-Zellen	Thymuszellen

THEORETISCHE GRUNDLAGEN

STRESSINDUZIERTES ENTZÜNDUNGSGEWEBE DES KÖRPERS

Die Theorie der freien Radikale beschreibt das Entstehen dieser während des Energiestoffwechsels. Die freien Radikale werden in bestimmte Zellbereiche aufgenommen und dort reguliert. Ein Übermaß an freien Radikalen führt zu einer Steigerung von Entzündungsmarkern, sowie Oxidantien. (Alessio 1993) Eine Erweiterung der Theorie, ist die „oxidative stress hypothesis“. Sie besagt, dass die oxidativen Schäden ihren Ursprung nicht nur in der Entstehung von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS), sondern auch in anderen Oxidanten, wie reaktiven Nitrogenspezies (RNS) und reaktiven Lipidspezies (RLS) haben. Die Theorie beschreibt ebenso die wichtige Rolle der Antioxidanten als Abwehrsystem zur Aufrechterhaltung der Redoxsysteme im menschlichen Organismus. (Chung, et al. 2009) Im Allgemeinen bezieht sich „oxidativer Stress“ auf einen Zustand, in welchem das Gleichgewicht zwischen Oxidantien und Antioxidantien (Redoxgleichgewicht) zugunsten der Oxidantien ausfällt.

Die Ausführung kraftintensiver Sporteinheiten kann zu trainingsinduzierten Muskelschäden führen, welche durch oxidativen Stress und Inflammation ausgelöst werden. Zugrunde liegen hier möglicherweise die Zerstörung des Bindegewebes durch den Einfluss schwerer mechanischer Lasten und metabolischer Belastungen, wodurch es zu einer vermehrten Zelldurchlässigkeit kommt. Die beim Sport vermehrte Verstoffwechselung von Sauerstoff führt zu einer höheren Anzahl an ROS und RNS/RLS. Auch ein geringeres Vorliegen von Energie liefernden Substraten nach sportlicher Belastung sowie Nebenprodukte der metabolischen Prozesse, welche beispielsweise zu einem Laktatanstieg in der Skelettmuskulatur führen, tragen zur Entstehung von Muskelschäden bei. Ein weiterer Auslöser für das Entstehen von Muskelschäden ist die Phase der Reparatur, sowie die Phase des Abtransports des zerstörten Gewebes und die Phase der Anpassung an den Reiz durch eine Verstärkung des Gewebes. Die weißen Blutkörperchen und die Neutrophile, welche im direkten Anschluss an sportliche Belastung und während der Reparaturprozesse vermehrt vorliegen, sind gleichzeitig dafür verantwortlich, dass pro- inflammatorische Zytokine freigesetzt werden. (O'Connor, Mündel und Barnes 2022)

Die Zerstörung der Muskelkompartimente beeinflusst die Leistung von Athleten und Sport ausübenden Personen durch verringerte Leistungsfähigkeit, Muskelschmerzen und erhöhte

intrazelluläre Enzymwerte, wie beispielsweise von Kreatinkinase, Myoglobin und Lactatdehydrogenase. Diese drei Werte sind wichtige Marker in der Diagnose von Muskel- und Gewebsschäden. (M. Sánchez Díaz, A. Martín-Castellanos, et al. 2022) Zu den in der Studie untersuchten Werten gehören reaktive Sauerstoffspezies. Diese werden mittels Spin-Traps spezifiziert. Weitere Parameter sind Malondialdehyd (MDA), Proteincarbonyl, 17- β -Östradiol, Progesteron, Polyphenole, Oxylipin und der Entzündungsparameter HS-IL6. Es werden außerdem lipidomische Parameter untersucht.

ROS sind ein Nebenprodukt der normalen Elektronentransportkette und können potenziell gesundheitsschädlich wirken, wenn sie das antioxidative Schutzsystem des Körpers überlasten und eine Dysbalance zwischen Oxidantien und Antioxidantien besteht. Bei den ROS handelt es sich um das Superoxid Radikal Anion ($O_2^{\cdot-}$), Hydroxyl Radikal ($\cdot OH$), und nicht-radikale Oxidantien, wie Hydrogenperoxid (H_2O_2) und Singulett-Sauerstoff. Im Normalzustand nehmen sie ca. 2% des verbrauchten Sauerstoffs in den Mitochondrien ein. Sowohl eine Über- als auch Unterversorgung der ROS kann gesundheitsschädliche Auswirkungen haben. Bei einer zu geringen Anzahl an ROS kann die normale Zellfunktion nicht stattfinden. ROS sind beispielsweise beteiligt an der Eliminierung von unerwünschten Mitochondrien oder Mitosezellen und haben Funktionen in anderen Zellarbeiten. Bei einer zu hohen Konzentration kommt es zu oxidativem Stress und dadurch zu einer unkontrollierten Ausführung der Zellfunktionen wie Zellwachstum, -teilung, -differenzierung, -tod und Immunfunktionen. Dadurch kann es unter anderem auch zu Schädigungen der DNS/RNS und Proteinen kommen. (Zorov , Juhaszova und Sollott 2014)

Die Elektronen-Spin-Resonanz (ESR) ist eine Möglichkeit die ROS zu analysieren. Aufgrund ihrer kurzen Halbwertszeit sind andere Methoden zur Analyse weniger aussagekräftig als die Elektronen-Spin-Resonanz. Die Funktionsweise entspricht größtenteils der Kernspinresonanz. Anders als bei der Kernspinresonanz, bei der Atomkerne angeregt werden, werden bei der ESR Elektronen angeregt. Elektronen besitzen eine Spinquantenzahl s die entweder $+\frac{1}{2}$ oder $-\frac{1}{2}$ magnetisch ist. Die Elektronen richten sich in einem externen Magnetfeld entweder parallel zu ihrem Spin oder senkrecht zu diesem Magnetfeld aus. Die senkrechte Ausrichtung zeigt dabei ein hohes Energielevel, die parallele ein geringes Energielevel. Das Energielevel kann geändert werden, sobald ausreichend Energie im Bereich der Mikrowellenfrequenzen des elektromagnetischen Spektrums absorbiert wird. (Liu, Wamer und Yin 2014) Ein ESR

benötigt einen Magneten, der ein Magnetfeld erzeugt und moduliert; ein Mikrowellenversorgungssystem mit elektromagnetischer Strahlungsquelle und Detektor der Mikrowellenleistung. Außerdem besitzt es einen Hohlraum, in dem Proben eingefügt werden können und auf den die Mikrowellenenergien gerichtet sind. Die Ergebnisse werden mit Datenverarbeitungssystemen gezeigt. Jedes freie Radikal hat ein für sich charakteristisches Spektrum bei der ESR-Messung. Dieses Spektrum hat je nach Quantität der Radikale eine proportionale Intensität. Diese beiden Faktoren erlauben sowohl eine quantitative als auch eine qualitative Bestimmung der Sauerstoffspezies. (Ke, et al. 1999) Da ROS normalerweise hoch reaktiv sind und eine geringe Halbwertszeit besitzen, wird für die ESR auf die Spin-Trapping Methode zurückgegriffen. Die Spin-Trapping Methode beruht auf der Reaktion von freien Radikalen mit chemischen Spin-Trap Molekülen, die die Halbwertszeit der freien Radikale verlängern und die Reaktivität herabsetzen. Zu den meist genutzten Spin-Traps gehören die mit einem β -Wasserstoff, der wichtige Informationen über das gefangene Radikal gibt und dadurch die Analyse der Radikale ermöglicht. (Bae, et al. 2011) Oft genutzte Spin-Traps sind beispielsweise N-tert-Butyl- α -phenylnitron (PBN), α (4-Pyridil-1-oxid)-N-tert-Butylnitron (POBN), 5-Diethoxyphosphoryl-5-methyl-1-pyrrolin-N-oxid (DEPMPO) und 5-Ethoxycarbonyl-5-methyl-pyrrolin-N-oxid (EMPO). (Haseloff, et al. 1997) (Marchand, et al. 2017) Die folgende Abb. 1 zeigt die Strukturformeln dieser Spin Traps.

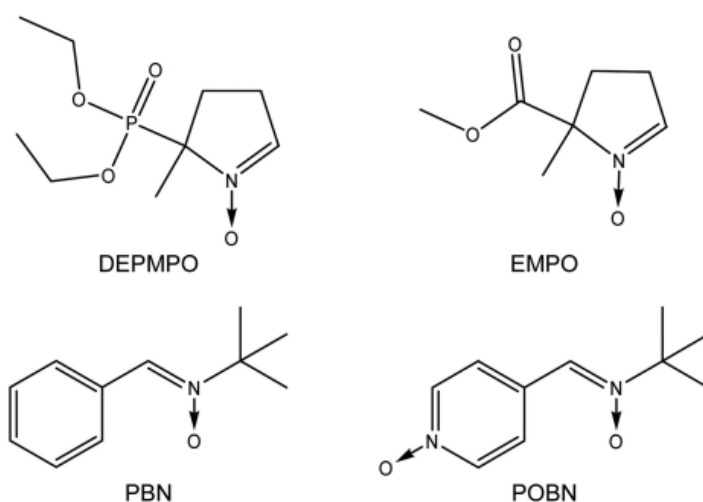


ABBILDUNG 1: WEITHIN GENUTZTE SPIN TRAPS: 5-DIETHOXYPHOSPHORYL-5-METHYL-1-PYRROLIN-N-OXID (DEPMPO), 5-ETHOXYCARBONYL-5-METHYL-PYRROLIN-N-OXID (EMPO), N-TERT-BUTYL- α -PHENYLNITRON (PBN), α (4-PYRIDIL-1-OXID)-N-TERT-BUTYLNITRON (POBN) (MARCHAND, ET AL. 2017)

MARKER UND MESSUNG DER ENTZÜNDUNGSREAKTIONEN

Malondialdehyd (MDA) ist ein Endprodukt des oxidativen Fettabbaus. Es kann sowohl enzymatisch durch Lipoxygenasen als auch nicht enzymatisch durch ROS gebildet werden und ist somit ein Marker für Zellschädigung durch ROS. Die Messung dieses sekundären Oxidationsproduktes wird als Parameter in zahlreichen Studien zu oxidativem Stress verwendet, da die Quantifizierung primärer Lipid-Hydroperoxid-Produkte, aufgrund ihrer Instabilität und Reaktivität schwierig ist. Diese entstehen in der frühen Phase der Lipidoxidation und sind Zwischenprodukte, die zu sekundären Oxidationsprodukten weiter reagieren. (Morales und Munné-Bosch 2019)

Interleukin-6 (IL-6) ist ein Zytokin, das in Immunzellen produziert wird. Es entsteht als Reaktion auf Infektionen und Gewebeschäden und trägt durch die Anregung von Akutphasenreaktionen, Hämatopoese und Immunreaktionen zur Abwehr bei. Es ist dadurch ein Marker und hat gleichzeitig verschiedene Wirkungen auf Entzündungen, Immunantworten und Krankheitsentstehung. (Tanaka, Narazaki und Kishimoto 2014) Die in der Studie ausgeübten Trainingsreize wirken als Gewebeschäden, beziehungsweise Gewebereizung und stellen somit einen Auslöser für die Produktion von IL-6-Zytokinen dar.

17- β -Östradiol ist ein weibliches Sexualhormon, dem eine protektive Wirkung gegen Apoptose zugesagt wird, welche durch den Tumor Nekrose Faktor-alpha (TNF-alpha) ausgelöst wird. Bei TNF-alpha handelt es sich um ein pro-inflammatorisches Zytokin, das einen Marker für Entzündungsprozesse im Körper darstellt. Zugrundeliegend ist hierbei eine Hochregulierung des PI3K/Akt Signalweges, welcher eine wichtige Rolle in der Zellgesundheit spielt. Bei Individuen, die eine Krebserkrankung erleiden, liegt dieser Signalweg häufig in einer veränderten Form vor. (Wang, et al. 2016)

Progesteron ist ein Steroidhormon der Gonaden, das vor allem in der Plazenta während der Schwangerschaft und nach dem Eisprung produziert und mit der weiblichen Fertilität in Verbindung steht. Zusammen mit 17- β -Östradiol wird es als das wichtigste weibliche Sexualhormon gesehen. Es entsteht aus Cholesterol und kann zu weiteren neuroaktiven Steroiden metabolisiert werden. Im Verlauf des weiblichen Zyklus kommt es zu deutlichen Veränderungen der Serumkonzentration von Progesteron, sodass es nach dem Eisprung zu

Konzentrationen von 10–35 ng/mL kommt, während es in der Follikular Phase (12-14 Tag) zu einem geringen Wert von ca. 1 ng/mL kommt. Progesteron wird eine immunprotektive Eigenschaften zugesagt, da es unter anderem proinflammatorische Zytokine hemmt und die Entwicklung von regulatorische T-Zellen fördert. (Kolatorova, et al. 2022)

Die Untersuchung von Lipidparametern ist aufgrund von vielfältigen Zusammenhängen zwischen Fettstoffwechselvorgängen und Entzündungen ein wichtiger Forschungsansatz. Fettsäuren spielen eine wichtige Rolle bei Entzündungssignalwegen und bei Aufrechterhaltung der Homöostase. In Studien, die den Zusammenhang zwischen Trainingsreizen und Lipiden untersuchten, wurden deutliche Veränderungen in Lipidzusammensetzungen als Folge der Trainingsintervention beobachtet. (Wang, Shen und Xu 2019) (Latino, et al. 2021) So sind in einer Studie von Wang et al., in der Lipide und Inflammation im Rahmen eines sechswöchigen Intervall-Sprint-Trainings betrachtet wurden, 33 von 296 Lipidmarkern signifikant verändert. (Wang, et al. 2023) Betrachtet wurden dabei auch Oxylipine, oxidierte Verbindungen von mehrfach ungesättigten Fettsäuren. Oxylipine können im Körper bei Krankheiten in veränderter Form vorliegen. Sie werden auch durch Ernährungsstatus, sowie psychologische und physiologische Stressoren, wie akute oder chronische, insbesondere lang andauernde und intensive Trainingsreize, beeinflusst. (Signini, et al. 2020)

Polyphenole sind pflanzliche sekundäre Metabolite, die in die vier Untergruppen Flavaonoide, Stilbene, Phenolsäuren und Lignane unterteilt werden können. Sie können günstige Effekte auf die Regenerationszeit nach sportlicher Belastung mit sich bringen und sind Forschungsgegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Studien. Unter Berücksichtigung der Konsumdosis, Ernährungsmustern, Arten von konsumierten Polyphenolen, Redox- und Trainingsstatus der Athleten sowie der Trainingsbelastung, wurden in einem systematischen Review die Einflüsse der Polyphenole auf Entzündungswerte betrachtet. Die Ergebnisse dieser systematischen Überprüfung deuten darauf hin, dass die Einnahme von Polyphenolen die Leistung und Muskelfunktion verbessert und Muskelkater sowie oxidative Stress-Biomarker bei MannschaftssportlerInnen nach exzessiver exzentrischer Muskularbeit (EIMD) reduziert. (M. Sánchez Díaz, A. Martín-Castellanos, et al. 2022)

Die FRAP-Methode beschreibt eine Methode zur Messung der „Ferric Reducing Antioxidative Power“, die die Proteinverteilung und -bindung in den Zellen bestimmt und Aufschluss über

Membran-, intrazelluläre und allgemeine Zelldynamiken gibt. (Lippincott-Schwartz,, Snapp und Phair 2018)

Der Comet Assay ist eine Messmethode, die DNS-Schäden wie DNS-Strangbrüche, DNS-DNS-Querverbindungen, UV-induzierte Cyclobutan-Pyrimidin-Dimere sowie diverse chemisch induzierte DNS-Addukte misst. Der Comet Assay basiert auf der Struktur der DNS im Zellkern, insbesondere auf den Schleifen von DNS, die durch die Bindung des linearen Moleküls an die Kernmatrix entstehen, sowie auf der Verwicklung des Doppelstrangs um Proteinkerne, wodurch Nukleosome gebildet werden. (Collins, et al. 2023)

VITAMINE UND NÄHRSTOFFE

Der folgende Abschnitt setzt sich mit den Vitaminen und Nährstoffen auseinander, die durch die in der Studie getesteten Lebensmittel von den Probandinnen aufgenommen wurden. Grundlegendes über den Aufbau, Funktionsweise und ihre antioxidative Wirkungen auf Sport induzierte Entzündungsreaktionen wird erörtert.

Vitamin C

Vitamin C ist ein wasserlöslicher essenzieller Mikronährstoff, der insbesondere für die Immunzellen und somit für das Immunsystem eine wichtige Rolle spielt. Aufgrund seiner Fähigkeit, Elektronen abzugeben, weist Vitamin C eine antioxidative Wirkung auf, indem es oxidativen Substanzen entgegenwirkt, die während des Energiestoffwechsels entstehen. Der Oberbegriff des Vitamin C, Ascorbinsäure, beinhaltet dabei L-Ascorbinsäure, Semihydro-L-Ascorbinsäure, eine radikalische Zwischenstufe und die oxidierte Dehydro-L-Ascorbinsäure. Zusammen ergeben diese Formen ein reversibles Redoxsystem. Es ist durch die Wirkung als Reduktase ein Cofaktor von Monooxygenase und Dioxygenase Enzymen. Diese sind Teil der Synthese von Kollagen, Catecholaminen und Carnitin. Vitamin C ist als Cofaktor von Lysyl- und Prolylhydroxylasen auch für die Stabilität von Kollagenen mitverantwortlich. Da Vitamin C nicht im menschlichen Körper selbst synthetisiert werden kann, kann ein Vitamin C Mangel auch in Ländern mit einer breiten Lebensmittelauswahl und -verfügbarkeit auftreten, sofern nicht auf eine abwechslungsreiche, gemüsebetonte Ernährung geachtet wird. (Huskisson, Maggini und Ruf 2007) Ein Vitamin C Mangel ist charakterisiert durch eine Schwächung der Kollagenstrukturen, was mit einer geringeren Immunfunktion in Verbindung steht. Eine geringere Immunfunktion wiederum erhöht das Risiko für Infektionen und Erkrankungen. Infektionen stehen in Zusammenhang mit einer geringeren Plasma Vitamin C Konzentration,

da das Bekämpfen einer Infektion Vitamin C Vorräte des menschlichen Organismus angreift. (Carr und Maggini 2017) Abb. 2 zeigt den Vitamin C Gehalt verschiedener ausgewählter Lebensmittel auf. (Dosedel, et al. 2021)

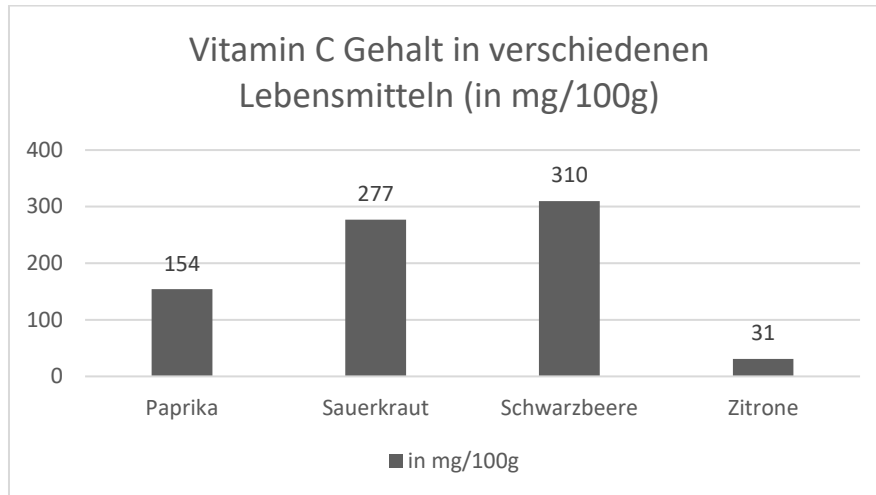


ABBILDUNG 2: VITAMIN C GEHALT IN VERSCHIEDENEN LEBENSMITTELN (IN MG/100G) (DOSEDEL, ET AL. 2021)

β -CAROTIN

β -Carotin gehört zu der Gruppe der Carotinoide und ist ausschließlich pflanzlichen Ursprungs. β -Carotin stellt die wichtigste Vitamin A Vorstufe unter den Carotinoiden dar. Da β -Carotin von Menschen und Tieren nicht synthetisiert werden kann, muss es über die Nahrung aufgenommen werden. In Obst und Gemüse ist es weit verbreitet und ist eines der am häufigsten vorkommenden fettlöslichen Phytochemikalien. Wie auf Abb.3 ersichtlich, ist β -

Carotin insbesondere in Karotten, Petersilie, Grünkohl, Spinat vorzufinden.

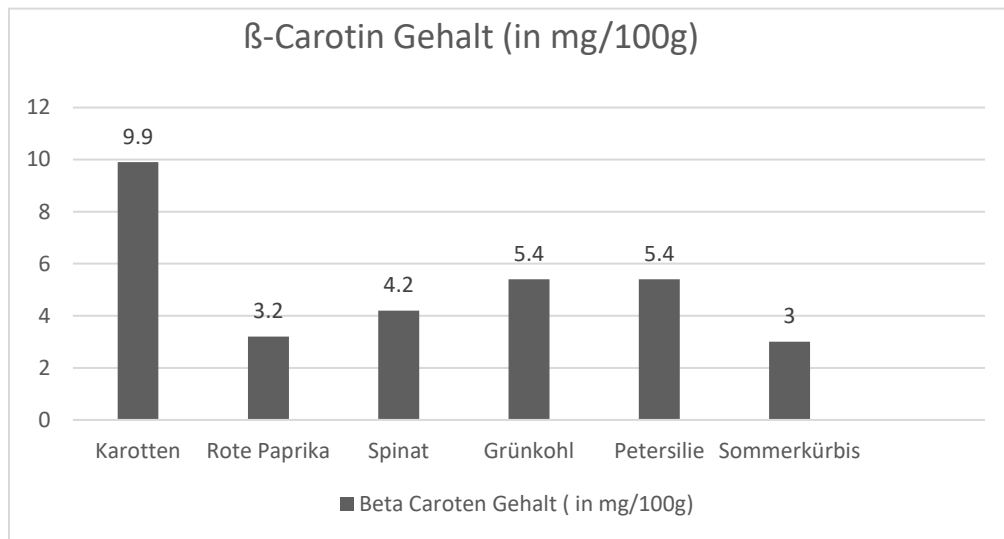


ABBILDUNG 3: β-CAROTIN GEHALT IN VERSCHIEDENEN LEBENSMITTELN (VERÄNDERT NACH: (BOGACZ-RADOMSKA UND HARASYM 2018))

Wegen der hohen Bioaktivität wird es auch in der Medizin genutzt. Hervorzuheben ist der Einfluss auf das menschliche Wachstum, die Sehfähigkeit und auch die antikanzerogene und antioxidative Wirkung. (Bogacz-Radomska und Harasym 2018) In einer Studie, die den Anti-Aging Effekt von β-Carotinen In vitro an Mesenchym Zellen untersuchte, wurde außerdem die antiinflammatorische Wirkung beschrieben. Es kam zu einer Verringerung der Entzündungsmarker IL-1 β, IL-6 und TNF-α in den mit β-Carotin behandelten Zellen. (Zheng, et al. 2022) (Hadad und Levy 2012)

VITAMIN E

Das lipophile Vitamin E umfasst chemische Verbindungen, die im Molekül ein Ringsystem mit einer freien oder veresterten OH-Gruppe und eine gesättigte oder ungesättigte isoprenoide Seitenkette (16 Kohlenstoffatome) haben. Es ist ein potentes Antioxidans, welches aufgrund seiner schützenden Funktionen für Membranen, in allen Geweben vorkommt. Zu seiner Familie gehören acht Isomere, vier Tocopherole (α -, β -, γ - und δ -Tocopherol) und vier Tocotrienole (α -, β -, γ - und δ -Tocotrienol). Abb.3 zeigt die Strukturformeln der Vitamin E Tocotrienole und Tocopherole. (Azzi und Stocker 2000)

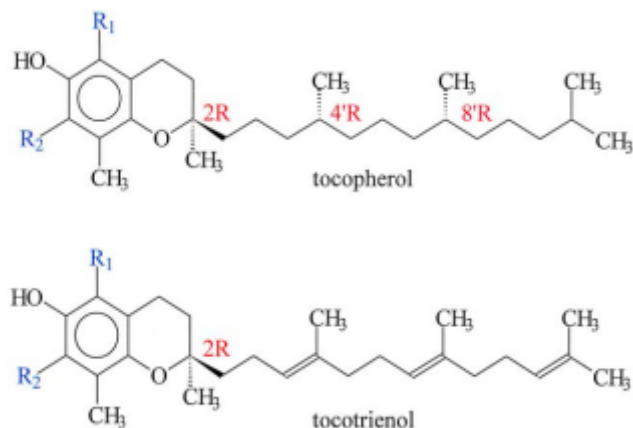


ABBILDUNG 4: STRUKTURFORMELN DER TOCOPHEROL UND TOCOTRIENOL ISOMERE (VERÄNDERT NACH: (AZZI UND STOCKER 2000))

Nahrungsquellen für das Vitamin sind pflanzliche Öle, Nüsse und Getreidekörner sowie einige Obst und Gemüsesorten und der Fettanteil von Fleisch.

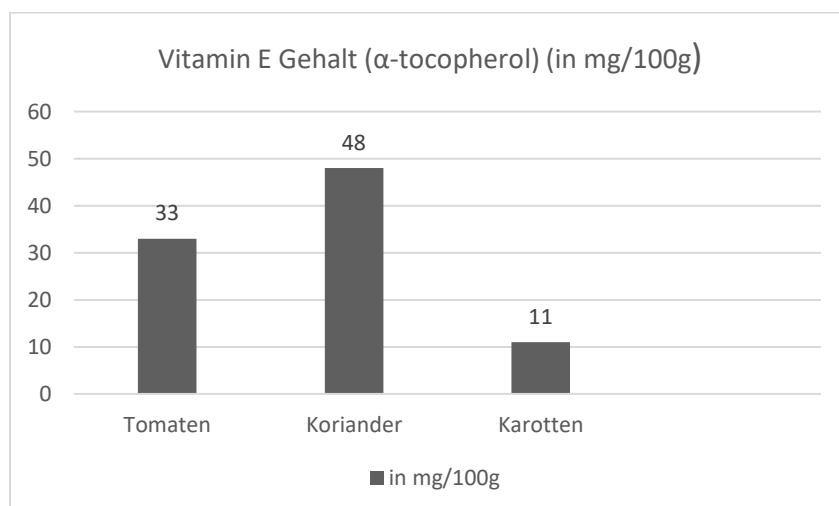


ABBILDUNG 5: VITAMIN E GEHALT IN VERSCHIEDENEN AUSGEWÄHLTEN LEBENSMITTELN (EFSA 2006)

Schätzwerte für die Zufuhr von Vitamin E müssen im Zusammenhang mit der Zufuhr von ungesättigten Fettsäuren betrachtet werden, da die Hauptaufgabe des Vitamins die

Prävention der Oxidation dieser Fettsäuren ist. Sie betragen für gesunde Erwachsene zwischen 11-15 mg Tocopherol Äquivalent/Tag. (EFSA 2006) Vitamin E hat verschiedene potenziell vorteilhafte Wirkungen auf die menschliche Gesundheit, darunter eine entzündungshemmende, antiallergische, anti-atherogene, krebshemmende, kardiovaskuläre, antidiabetische, anti-lipidämische, blutdrucksenkende, fettleibigkeitshemmende, neuroprotektive und Telomerase-Aktivität modulierende Aktivität. (Miyazawa, et al. 2019) Eine Verschlechterung des Immunsystems, insbesondere eine Verringerung der Antikörper und T-Zellen Produktion, kann bei Vitamin E Mangel festgestellt werden. Gleichzeitig kann sowohl aus Tier- als auch aus Humanstudien der Schluss gezogen werden, dass im Falle eines Vitamin E Mangels, die Supplementation mit Vitamin E zu einer verbesserten Immunfunktion führt. Dafür sind die Differenzierung der T-Zellen, Lymphozyten Proliferation, IL-2-Produktion und Aktivität der T-Helferzellen, sowie veränderte NK-Zellen-Aktivität und Makrophagen-Phagozytose-Kapazität verantwortlich. (Lewis, Meydani und Wu 2019)

MAGNESIUM

Magnesium ist das im Körper an viertheisten vertretene Mineral, dass aufgrund seiner Funktion als Cofaktor in über 300 enzymatischen Reaktionen, für den Energiestoffwechsel, als Baustein der Stabilität von Nukleinsäuren, als Antagonist für Calcium, für die Proteinsynthese und den Ionentransport sowie für die DNS/RNS- Synthese und die Mitochondrien Funktionen essenziell ist. Insbesondere ist Magnesium ein Cofaktor bei der ATP-Produktion. (Liu und Dudley 2020) Darüber hinaus hat Magnesium vielzählige immunologische Funktionen. Darunter fallen beispielsweise eine verringerte Zytokin Produktion, Kontrolle der Apoptose und eine vermehrte T-Zellen Produktion. (Weyh, et al. 2022) Das meiste Magnesium findet sich im Körper in Knochen (50-60%) und Weichteilgewebe (40-50%). Die Schätzwerte für die tägliche angemessene Zufuhr liegen laut D-A-CH-Referenzwerten für Erwachsene zwischen 300-350 mg. (Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr 7. Aktualisierte Ausgabe 2021, Mengenelemente) Eine Hypomagnesioanämie wird bei diversen chronischen Erkrankung beobachtet, unter anderem Herzkreislauf- Erkrankungen, Alzheimer, Bluthochdruck, Diabetes Mellitus Typ2. (Jeroen, et al. 2015) (Volpe 2013) Hypomagnesioanämie wird definiert als Serum-magnesium unter 0,75 mmol/l und tritt bei zwischen 2,5% bis zu 15% der (amerikanischen) Allgemeinbevölkerung auf. (Ayuk und Gittoes 2014) Hervorzuhebende Magnesiumquellen sind verschiedene Nüsse und Samen wie Mandeln (218mg/100g), Sonnenblumen-,Kürbis- und Pinienkerne (zwischen 235-366mg/100g), Getreideprodukte,

Kakaoprodukte wie Kakaopulver (545mg/ 100g) und Bitterschokolade (300mg/100g). (DGExpert, Version 1.9.3.1 (BLS 3.02) 2018)

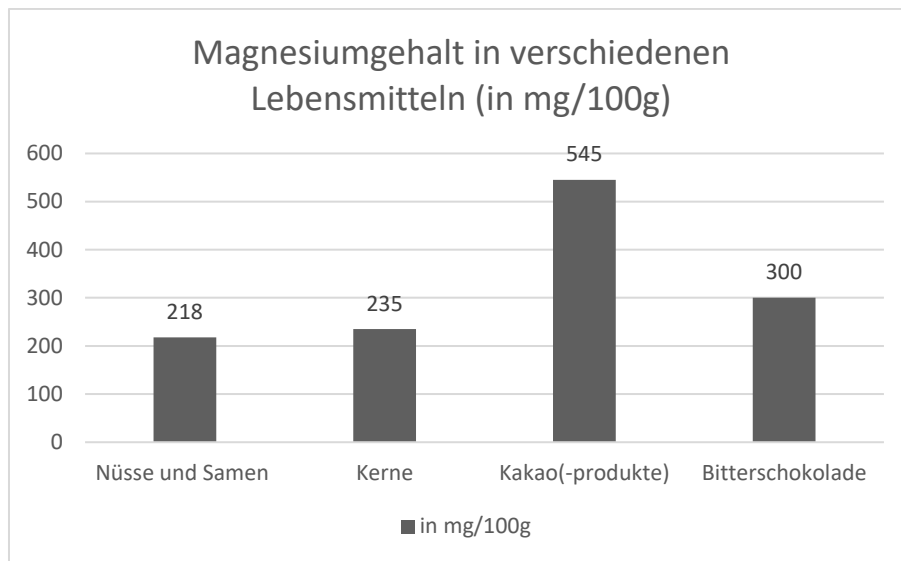


ABBILDUNG 6: MAGNESIUMGEHALT IN VERSCHIEDENEN LEBENSMITTELN (DGEXPERT, VERSION 1.9.3.1 (BLS 3.02) 2018)

ZINK

Zink ist ein zweiwertiges Kation, das zum größten Teil an Protein gebunden im Körper vorliegt. Da es für Zink keine spezifischen Speicherorgane gibt, sondern der größte Teil in Muskulatur und Skelett vorkommt, muss, um einen Mangel entgegenzuwirken, auf eine tägliche empfohlene Zufuhr von 7-16 mg für Erwachsene geachtet werden. Das breite Spektrum der Empfehlung erklärt sich durch die unterschiedliche Absorptionsrate des Zinks bei verschiedenen Ernährungsformen. So verringert sich die Absorption bei hoher Phytatzufuhr wie es bei einer vollkornprodukt- und hülsenfruchtreichen sowie pflanzenbetonter Ernährung der Fall ist. Hohe Zinkgehalte lassen sich, wie in Abb. 5 aufgeführt, in Innereien wie Rinder-, Schweineleber, Austern, Cashew- und Pekannüssen finden. (DGExpert, Version 1.8.10 (BLS 3.02) 2017)

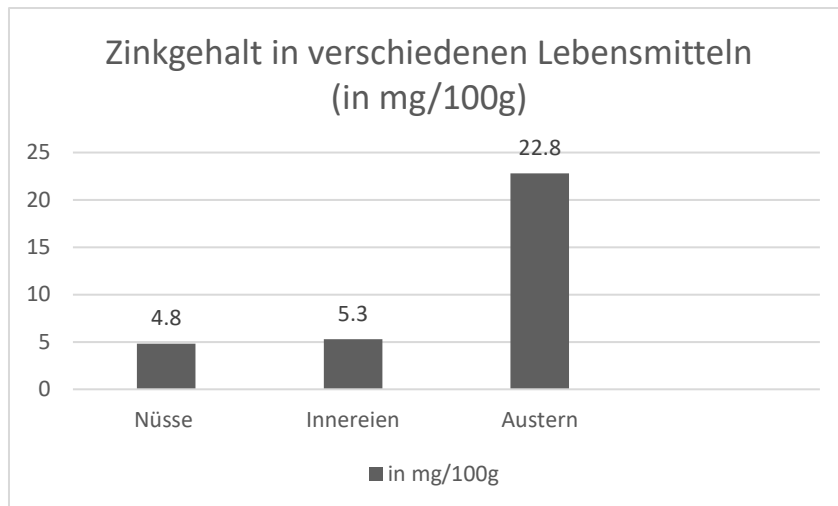


ABBILDUNG 7: ZINKGEHALT IN VERSCHIEDENEN LEBENSMITTELN (NACH (DGEXPERT, VERSION 1.8.10 (BLS 3.02) 2017))

Sowohl die Proteinstruktur als auch viele andere Zellfunktionen wie Zellproliferation, -differenzierung, DNS- und RNS-Synthese, Zellmembranbestandteil, fallen unter den Wirkungsbereich von Zink. (Gammoh und Rink 2017) Die Immunfunktion des Körpers wird durch Zink stark beeinflusst. Zink hemmt die Bildung von ROS durch diverse Wirkmechanismen. Zu unterstreichen sind hierbei die Steigerung von Nrf2, ein Regulator des antioxidativen Systems. Weiterhin bewirkt es eine Verringerung der NADPH-Oxidase Aktivität. Die durch Zink induzierte Hemmung von proinflammatorischen Transkriptionsfaktoren führt zu einer Verringerung von proinflammatorischen Zytokinen. (Olechnowicz, et al. 2018)

ENERGIE

Die Energiezufuhr ist ein wichtiger Punkt bei der Betrachtung der Regeneration nach einer intensiven Krafttrainingsbelastung. Eine Restriktion von Energie, gegebenenfalls unter den täglichen individuellen Energiebedarf, kann aufgrund von metabolischen Auswirkungen die Regeneration deutlich negativ beeinflussen und die normale Homöostase beim Menschen stören. So kann eine zu geringe Kalorienzufuhr zu einer verlangsamten Wundheilung und gesteigerten Muskelverlust führen. Der Aufbau von Muskelmasse nimmt sogar einen Energieüberschuss in Anspruch, der gedeckt sein muss, um die Muskelsynthese zu gewährleisten. (Tipton 2015) Ein geringeres Vorliegen von energieliefernden Substraten nach intensiver Belastung sowie säureerhöhende Nebenprodukte der metabolischen Prozesse, tragen zur Entstehung von Entzündungen durch sportinduzierten Muskelschäden bei. (O'Connor, Mündel und Barnes 2022) Betrachtet man weibliche Athletinnen ist insbesondere

die Quantität der verschiedenen Sexualhormone während des weiblichen Zyklus wichtig, da sie deutliche Schwankungen erfahren und unterschiedlichen Energieverbrauch mit sich bringen. So ist der Ruhemetabolismus, während der späten Folikelpphase niedrig, da die Östrogenspiegel hoch und die Progesteronspiegel niedrig sind. In der mittleren Lutealphase sind sowohl Östrogenspiegel als auch Progesteronspiegel hoch, was zu einem gesteigerten Energiebedarf führt. (Sims, et al. 2023)

Andererseits ist ein Überkonsum von Kalorien über den Bedarf hinaus und daraus entstehende Fettleibigkeit ein Risikofaktor für das Entstehen von Entzündungen. Das Viszeraalfett von adipösen Personen bildet über längere Zeiträume vermehrt entzündungsfördernde Immunzellen. Adipositas ist also stark mit oxidativem Stress und verringerter antioxidativen Kapazität verbunden. Außerdem zeigen Fettzellen von Adipösen eine erhöhte Produktion inflammatorischer Zytokine wie IL-6 und TNF- α aufgrund einer erhöhten Adipokin Ausschüttung. (Barrea, et al. 2023)

KOHLLENHYDRATE

Kohlenhydrate sind als Makronährstoff eine wichtige Energiequelle und haben im Sport eine essenzielle Funktion der schnellen Energiebereitstellung. Jedoch können hohe Mengen an Kohlenhydraten vermutlich steigernd auf die langfristige Entzündung des Körpers wirken, durch Aktivierung des NF- κ B-vermittelten Zellsignalwegs. Dies ist ein wichtiger Regulator der Immunentwicklung, -antwort und Entzündungsentstehung, (Mitchell, Vargas und Hoffmann 2016) wirken. Hohe Mengen an Kohlenhydraten führen zu einer erhöhten Anzahl an Substraten, die die Zellatmung durchlaufen. Übersteigt die Zahl an Elektronen, die an die Elektronentransportkette weitergegeben werden, eine Schwelle, in der sie nicht umgesetzt werden, können sie sich im Komplex 3 stauen. Dort können sie als Donator für molekulares Oxygen wirken, welches Superoxid produziert. (Tan, Norhaizan und Liew 2018)

Im Gegensatz dazu sollte betrachtet werden, dass Kohlenhydrate in Form von Vollkornprodukten schützende Wirkung gegenüber oxidativem Stress haben. Ursachen hierfür liegen jedoch eher in anderen Bestandteilen der Vollkornprodukte wie Ballaststoffe, Phytochemikalien und Polyphenole. (Parikh, et al. 2012)

OMEGA 3 UND 6 FETTSÄUREN

Mehrfach ungesättigte Fettsäuren sind im allgemeinen Verständnis mit gesundheitsfördernden Wirkungen verbunden. Betrachtet man die zwei Fettsäuren Omega-3 und Omega-6 und deren Verhältnis, wird deutlich sichtbar, dass Entzündungswerte durch

diese Veränderungen erfahren. So führt der Konsum von Omega-6 reicher Linolsäure zu einem Anstieg von Entzündungsmarkern und Cyclooxygenase-2, welcher die Umwandlung von Arachidonsäure zu entzündungsfördernden Eicosanoiden vermehrt. Weiterhin führt der Konsum von Linolsäure zu einer unabhängig von Arachidonsäure-erhöhten Produktion von oxidierten Linolsäure-Metaboliten. Omega-3 Fettsäuren können im Gegensatz dazu Cyclooxygenase und Lipoxygenase inhibieren und dadurch zu einer Verringerung von Entzündungen, die durch die Umwandlung von Arachidonsäure entstehen, beitragen. Weiterhin führt insbesondere DHA zu einer Reduzierung von Zytokin-induzierten, endothelialen Leukozyten-Adhäsionsmolekülen, da es sich in zelluläre Lipide integrieren kann. Es reduziert außerdem Chemokine, Metalloproteinasen, und Zytokine. (DiNicolantonio und O'Keefe 2018) Es ist deshalb wichtig zu beachten, dass das Verhältnis von Omega-6 zu Omega-3 Fettsäuren im menschlichen Organismus zugunsten der Omega-3 Fettsäuren ausfällt.

ÖSTROGEN IM ZUSAMMENHANG MIT ENTZÜNDUNGEN

Östrogen ist ein Steroidhormon, das bei Frauen im gebärfähigen Alter bis zur Menopause in größeren Mengen vorliegt. Es hat unterschiedliche Rollen im menschlichen Körper. Am bekanntesten ist es für die Wirkung als Sexualhormon, es beeinflusst jedoch auch neurologische und psychologische Aktivitäten. Das Absinken von Östrogen nach der Menopause ist bei Frauen oftmals mit verschiedenen Symptomen wie Hitzewallungen, Schlafstörungen, Entzündungserscheinungen und sexuelle Dysfunktionen, verbunden. Diese und weitere Effekte wie das Entstehen von Bluthochdruck sind in Abb. 6 dargestellt.

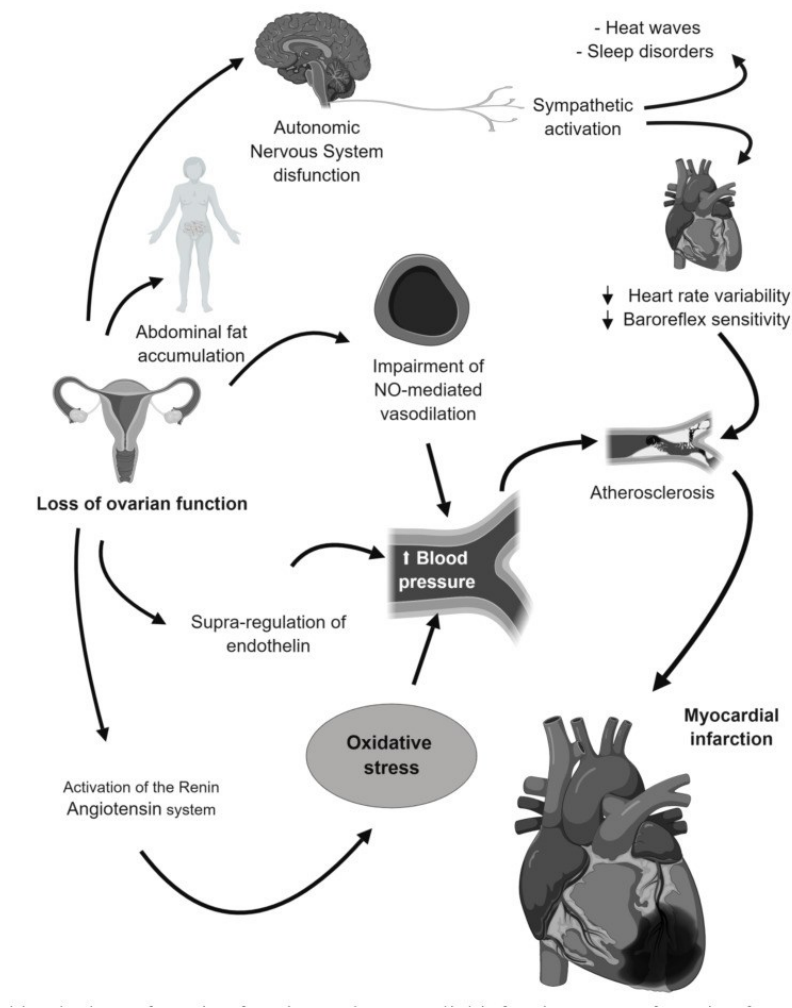


ABBILDUNG 8: AUSWIRKUNGEN VON NIEDRIGEM ÖSTROGENSTATUS BEI FRAUEN (VERÄNDERT NACH (RUBERTI UND RODRIGUES 2020))

In einigen Studien wurde aufgezeigt, dass Östrogen indirekt antioxidative und antiatherogene Effekte durch die Hochregulierung von antioxidativen Genen bewirken kann. Hervorzuheben sind auch die Wirkungsweisen auf den Cholesteroll-Metabolismus und protektive Effekte gegenüber Proliferation der Koronararterien. Östrogen hat außerdem positive Auswirkungen auf die Mitochondrien-Transkription sowie auf die Aktivierung von Proteinen, die an der ROS-Entsorgung beteiligt sind. Mit der Verringerung der Östrogenlevel nach der Menopause sinken somit auch die positiven Auswirkungen. Die in der Studie untersuchten Probandinnen befinden sich in einer Altersspanne vor dem Einsetzen der Menopause, sodass im Vergleich zu älteren ProbandInnen eine bessere antiinflammatorische Kapazität vorliegt. (Ruberti und Rodrigues 2020) Die hormonellen Fluktuationen, die bei weiblichen Personen aufgrund des Menstruationszyklus naturgegeben vorliegen, haben somit auch einen Einfluss darauf, wie der weibliche Körper mit sportinduziertem Stress umgeht und ROS verarbeiten kann.

METHODIK

ALLGEMEINE INFORMATIONEN

Das in dieser Arbeit behandelte Forschungsprojekt macht den zweiten Teil eines dreiteiligen Forschungsvorhabens zur Untersuchung des Akuteinflusses unterschiedlicher Lebensmittel und Getränke auf sportinduzierte oxidative Stress- und Entzündungsreaktionen aus. In diesem Forschungsabschnitt wurde ab April 2023 der Einfluss pflanzlicher Lebensmittel auf weibliche Probandinnen untersucht, nachdem im ersten Studienabschnitt bereits Getränke (2022) betrachtet wurden. Die Ausführung erfolgte an der Universität Wien im Department für Ernährungswissenschaften, Abteilung Ernährung, Bewegung & Gesundheit, in der Zieglergasse 6/1.OG (Nutrition and Training Laboratory, Universität Wien) unter der Studienleitung und medizinischen Prüfung von Univ.- Prof. Dr. Daniel König, der Versuchsleitung Markus Gassner Msc. und der Studienkoordination Astrid Maria Hölzle.

Das Ziel dieses Studienabschnittes war die Bestimmung der Auswirkung der Aufnahme bestimmter pflanzlicher Lebensmittel (Bitterschokolade, Heidelbeeren, Broccoli, Leinöl, Weißbrot, Vollkornbrot) auf die durch ein intensives Krafttraining entstehenden Entzündungsparameter im weiblichen Körper. Die Lebensmittelauswahl der Studie beruhte auf Kohortenstudiendaten mit dem „Empirical Dietary Inflammatory Index“ (EDII), welcher das gesamte Entzündungspotential einer Ernährung unterteilt in 18 Lebensmittelgruppen beschreibt. Dabei werden den entzündungsfördernden Lebensmittelgruppen Fisch, Tomaten, verarbeitetes Fleisch, hochkalorische Getränke, Gemüse (außer grünem Blattgemüse und dunkelgelbem Gemüse), rotes Fleisch, Nicht-Vollkorn Getreide und Organfleisch sowie den entzündungshemmenden Lebensmittelgruppen Pizza, Wein, grünes Blattgemüse, dunkelgelbes Gemüse, Bier, Kaffee, Fruchtsaft, Snacks und Tee Entzündungsstufen zugeteilt. Dies ermöglicht die Berechnung eines Gesamtentzündungspotentials einer individuellen Ernährung (Saber, et al. 2023)

Teilnahmebestimmungen für Probandinnen

Die Studienteilnehmerinnen waren im Alter von 18 und 40 Jahren, weiblich, betrieben regelmäßige sportliche Aktivität in einem Ausmaß von höchstens 120 Minuten pro Woche, sowie kein regelmäßiges Krafttraining mit einem Umfang über 60 Minuten pro Woche. Sie wiesen einen BMI zwischen 18,5- 25 kg/m² auf, mit Körperfettanteil von mindestens 20 %.

Unter Krafttraining fallen dabei Kraftübungen an Maschinen, mit Gewichten oder mit Körpergewicht. Die Probandinnen durften hinsichtlich körperlicher Belastung keine Kontraindikationen aufweisen, wie Rückenschmerzen, Herzprobleme, Asthma oder Atemprobleme, Knie- oder Gelenkschmerzen. Akute oder chronische Erkrankungen waren ebenso ein Ausschlusskriterium. Die Sportausübung auf nüchternen Magen musste möglich sein und die genannten Lebensmittel verträglich sein. Glutenunverträglichkeit musste ausgeschlossen werden. Rauchen innerhalb der letzten 6 Wochen (> 1 Zigarette pro Tag), Alkoholkonsum (> 7 Alkoholische Drinks pro Woche), regelmäßige Einnahme von Medikamenten, die die entzündungsabhängigen Stoffwechselprozesse beeinflussen, waren ebenfalls Ausschlusskriterien. Bei Verletzungen, die ein weiteres Durchführen der Studie verhinderten und die während der Studienintervention auftraten, oder bei anderen Indikationen, war es der Studienleitung überlassen einen Studienausschluss zu veranlassen. Ebenso war es den Probandinnen zu jedem Zeitpunkt gestattet, die Studie abubrechen. Im Verlauf der Studie wurden die Teilnehmerinnen dazu angehalten, ihren normalen Lebensstil fortzuführen und Ernährungsweisen aufrechtzuerhalten. Am Tag vor der Intervention waren nur leichte körperliche Aktivitäten erlaubt, sodass das Training am Tag der Studienintervention ausgeruht durchgeführt werden konnte. 12 Stunden vor dem Interventionsbeginn des jeweiligen Tages durfte nur Leitungswasser konsumiert werden. Die während der Studie erhobenen Daten zu Entzündungsmarkern, Östrogenwerten, oxidativen Stressmarkern und Krafttestwerten wurden ausschließlich vom zur Verschwiegenheit verpflichteten Studienpersonal bearbeitet und nur zu statistischen Zwecken weitergegeben. Dabei wurden die Daten durch Zuweisung einer Teilnehmerinnen ID pseudonymisiert. Zu Veröffentlichungszwecken wurden nur pseudonymisierte Daten verwendet und auf die Verwendung von Namen der Probandinnen verzichtet. Für die 7 Studientage wurden den Studienteilnehmerinnen 175€ Vergütung als Ausgleich geboten.

STUDIENDESIGN

Die Fallzahlberechnung für dieses Forschungsprojekt basierte auf einer randomisierten und kontrollierten Pilotstudie. Diese stellte einen Vergleich einer Gruppe mit 17 Personen, die eine Mahlzeit mit Haferflocken und Milch vor einem Krafttraining, und einer ebenso 17 Personen großen Gruppe die das idente Krafttraining, ohne vorher eine Mahlzeit zu sich zu nehmen absolvierte. Dabei wurde direkt nach der Belastung eine geringere ROS-Konzentration bei der Haferflocken Gruppe gemessen. Für die vorliegende Studie ergab sich durch G-Power Analyse

und Sicherheitszuschlag (n=4) eine Probandinnenzahl von 24 Probandinnen pro Interventionstag. (Zeng, Centner, et al. 2021) Der Studienaufbau für die Teilnehmerinnen begann mit einem Erstuntersuchungstermin an dem die Studientauglichkeit überprüft wurde. An jenem wurde auch ein Probetraining des Kraftzirkels, zur Erfassung der Maximalkraftwerte der Probandin durchgeführt. Darauf folgten 7 Interventionstage zwischen denen jeweils mindestens 7 Tage Abstand liegen mussten. Pro Interventionstag konnten 1-3 Probandinnen mit je um eine Stunde versetzter Startuhrzeit untersucht werden. Bei jedem Individuum wurden an einem Erstuntersuchungstag genannte Ein- und Ausschlusskriterien mit Hilfe eines Fragebogens überprüft, sowie bestimmte Messdaten erhoben, wie Messung der Körpergröße (m), des Körpergewichts (kg) sowie der daraus berechnete BMI. Über eine Bioimpedanzanalyse wurden weiterhin der Körperfettanteil, die Skelettmuskelmasse und der Phasenwinkel bestimmt. Der Phasenwinkel beschreibt die Zusammensetzung der Körperzellmasse und gibt Auskunft über den Ernährungsstatus der untersuchten Person. Ein niedriger Phasenwinkel ist ein Zeichen für Zelldegradation mit einer insgesamt geringeren Zellanzahl, während ein hoher Phasenwinkel für intakte Zellmembranen spricht. (Gulin, et al. 2023) Es wurde ein EKG durchgeführt und die Herzfunktion auf normalen Gesundheitszustand überprüft, sowie der Blutdruck gemessen. Eine nüchtern Blutabnahme gab Aussage über metabolische Marker. Hierunter fallen Werte zu folgenden Markern:

Insulin, ein wichtiges Hormon, das den Blutzuckerspiegel reguliert, indem es die Aufnahme von Glucose ermöglicht. Weitere Regulierungen finden im Kohlenhydrat-, Protein- und Fettstoffwechsel statt. In Experimenten wird außerdem die homöostatische und antiinflammatorische Wirkung des Insulins bestätigt. (Chang, et al. 2021)

Ein weiterer Marker, Glukose, kann im Blut als Marker für die Glukoseverwertung und somit Anzeichen für Diabetes oder eine Pre-Diabetes Erkrankung sein. Hyperglykämie, also ein übermäßiger Anteil an Glukose im Blut, ist ein Auslöser für das Entstehen von chronischen Entzündungen und ROS. Der HOMA-IR Wert ist ein Marker für die Insulinresistenz und ist somit ebenso wie glykolisiertes Hämoglobin (HbA1c), welches ein Marker für die langfristige Glukoselevel des Blutes ist, für die Diabetes Erkennung von Relevanz. (Luc, et al. 2019) (Wang und Hng 2021)

Triglyceride, sind ein Marker durch ihre Verbindung zu Apo-c-III, ein proinflammatorisches Protein, das in allen Plasmaproteinen vorhanden ist und Teil der arthrogenen Entzündungskaskade ist. (Talayero und Sacks 2011)

Gesamtcholesterin und LDL-Cholesterin können Aussage über Hypercholesterinämie geben. Diese beinhaltet eine Cholesterinanreicherung in Immunzellen, mit entzündungsfördernder Wirkung. HDL-Cholesterin hingegen ist antiinflammatorisch wirksam. (Tall und Yvan-Charvet 2015)

Safety Parameter wie Blutbild, Leberwerte und Nierenwerte werden untersucht. Um die Plasmaproben bei -80°C einzufrieren wird der Gerinnungshemmer Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) eingesetzt.

Ein Untersuchungstag begann bereits, indem die Probandin die Nahrungsaufnahme 12 Stunden vor dem Ankunftszeitpunkt im Labor stoppte, lediglich Leitungswasser durfte von den Probandinnen noch konsumiert werden. Vor der ersten Blutabnahme sollten zweimal 500ml Leitungswasser (nach dem Aufstehen und bei Ankunft im Labor) getrunken werden, um risikoarmes Blutabnehmen zu gewährleisten. Nachdem die Probandin die 500 ml Leitungswasser im Labor getrunken hatte, legte sie sich zu einer 30-minütigen Ruhe auf eine Liege. Währenddessen wurde ein Interventionsbogen abgefragt. Dieser beinhaltete die Teilnehmerinnen- ID, das Datum und die Raum- und Außentemperatur. Die Ankunftszeit im Labor wurde von den Versuchsleitenden ausgefüllt. Vor der ersten Blutabnahme wurde abgefragt, wie die Probandin am jeweiligen Studientag den Weg ins Labor zurücklegte und wieviel (in Minuten) davon zu Fuß zurückgelegt wurden (Fahrrad, Laufen, Öffentliche Verkehrsmittel, Auto). Die Einnahme von hormonellen Verhütungsmitteln, Medikamenten oder Nahrungsergänzungsmitteln wurde ebenso abgefragt und musste spezifiziert werden, wenn die Einnahme bejaht wurde. Die letzte Mahlzeit des Vortages musste mehr als 12 Stunden zurückliegen, die Probandin durfte am Vortag kein Alkohol getrunken haben und in den letzten 7 Tagen nicht krank gewesen sein oder geimpft worden sein, Blut gespendet haben oder mehr als 120 Minuten körperlich aktiv gewesen sein. Diese Punkte waren ansonsten Ausschluss Kriterien. Schlafquantität und Schlafqualität wurden von der Probandin angegeben, ebenso der Zeitpunkt des letzten Krafttrainings, sowie die Dauer des anschließenden Muskelkaters, falls das letzte Krafttraining während eines Studieninterventionstages durchgeführt wurde. Es wurden Informationen über den aktuellen

Menstruationszyklustag, die Gesamtdauer einer Menstruationsperiode und aktuelle Beschwerden, die mit der Menstruation im Zusammenhang stehen können, gesammelt. Die Probandin schätzte ein, wie häufig sie das an dem Interventionstag konsumierte Lebensmittel in den letzten 12 Monaten durchschnittlich konsumiert hat, wobei sie die Antwortmöglichkeiten „nie/<1x pro Monat“ „1-3x pro Monat“ „1x pro Woche“ „2-4x pro Woche“ „5-6x pro Woche“ „1x pro Tag“ „2-3x pro Tag“ „4-5x pro Tag“ „> 6x pro Tag“ hatte. Falls eine schlechte Verträglichkeit bestand, musste dies angegeben und spezifiziert werden. Vor der Blutabnahme kam es nun noch zu einem selbst durchgeführten 24 h- Protokoll, in dem die Probandin alle Lebensmittel und Flüssigkeiten, die sie in den letzten 24 Stunden konsumierte aus dem Gedächtnis protokollierte. Dabei wurden die Mahlzeit, Uhrzeit, Menge und in die Mahlzeit involvierte Lebensmittel, Speisen und Getränke, sowie Bemerkungen aufgeschrieben. Die Ernährungsprotokolle wurden durch das Programm NUTS ausgewertet und auf Besonderheiten oder Verbindungen zwischen den aufgenommenen Lebensmitteln und den Entzündungsparametern kontrolliert. Das Stresslevel der Probandin eine Minute vor der ersten Blutabnahme wurde erfragt und in einer Skala von 0= vollkommen entspannt, 2= leichte Unruhe, 4= Anspannung, 6= deutlich spürbarer Stress, 8= starker Stress, 10= Panik eingeordnet. Der Grad der Anstrengung wurde in der BORG-Skala vermerkt. Diese geht von 6= keine Anstrengung, 7= sehr sehr leicht, 9= sehr leicht, 11= leicht, 13 = etwas anstrengend, 15= anstrengend, 17= sehr schwer, 19 = sehr sehr schwer, bis 20= zu stark geht nicht mehr. Die BORG-Skala ist eine eindimensionale Skala, die die selbstempfundene Anstrengung während sportlicher oder sonstiger physischer Aktivität beschreibt. Durch sie lässt sich physische Anstrengung durch Multiplizieren der von den Patientinnen angegebenen Werte mit dem Faktor 10 ungefähr in die Herzfrequenz umrechnen. Anschließend kam es zur Durchführung der ersten Blutabnahme. Diese erfolgte venös im Bereich der Armbeuge in die Armvene, ausgeführt durch eine medizinische Fachkraft. Diese informierte die Probandin darüber, was bei Schmerzen oder anderen Komplikationen während der Blutabnahme unternommen werden kann. Schmerzen, Schwellungen und Hämatome, Blutungen aus der Einstichstelle oder seltener Nervenschädigungen, Blutgerinnsel und Schädigungen der Nerven können bei einer Blutaufnahme auftreten, das Risiko ist jedoch gering. Das medizinische Personal und alle Studienmitarbeitenden arbeiteten unter Einhaltung der hygienischen Richtlinien.

Die Blutabnahme an den Interventionstagen diente der Untersuchung folgender Parameter: reaktive Sauerstoffspezies (ROS), der Entzündungsparameter HS-IL6, FRAP, Malondialdehyd, Proteincarbonyle, Comet Assay, 17 beta-Östradiol, Progesteron, Polyphenole, Lipidomics und Oxyplipin.

Nach der ersten Blutabnahme wurde der Probandin das Lebensmittel gereicht, das an dem jeweiligen Studientag verzehrt wurde. Die Portionsgrößen waren dabei verzehrsüblich. Dies bedeutet, eine Portion Leinöl entspricht 5g, Bitterschokolade 40g, Weizenweißbrot 90g, Vollkornbrot 90g, Heidelbeeren 125g, Broccoli 150g. Als Kontrolle wurden 250 ml Leitungswasser getestet. Anschließend kam es zu einer 2-stündigen Ruhephase, in der die Probandin sich im Sitzen oder Liegen aufhält. In dieser Zeit sollte die Probandin erneut 500 ml Wasser trinken. Eine halbe Stunde vor dem Ablauf der Ruhephase legte die Studienteilnehmende sich auf die Liege, um dort nach Beendigung der 30 Minuten erneut die Abfrage nach den Stresslevels und der Anstrengung und daraufhin eine zweite Blutabnahme zu durchlaufen. Direkt darauf folgte das Krafttraining. Dies begann mit einem 10-minütigen Aufwärmprogramm, währenddessen wurde die Technik wiederholt und die Gerätepositionen eingestellt. Ein Trainingstag enthielt die 5 Kraftübungen Rudern, Brustpresse, Beinbeuger, Latzug und Beinpresse. Jede Übung wurde in drei Durchgängen mit je ca. 20 Wiederholungen ausgeführt. Eine Übung sollte innerhalb von 40 Sekunden abgeschlossen werden und die nächste mit 10 Sekunden Pause angeschlossen werden. Nach einem kompletten Durchgang folgte eine Minute Pause. Währenddessen erfolgte eine Abfrage der Anstrengung mittels BORG, das Messen der Herzfrequenz und direkt der nächste Trainingsdurchgang. Nach Durchgang 3 begab sich die Probandin direkt zurück ins Labor und durchlief dort Blutabnahme 3 und nach weiteren 15 Minuten die Blutabnahme 4. Eine Minute vor beiden Blutabnahmen wurden jeweils das Stresslevel und der Grad der Anstrengung abgefragt. Die Blutproben wurden bis zur Durchführung der Blutanalyse eingefroren. Die folgende Grafik stellt den Zeitverlauf eines Studientages dar.

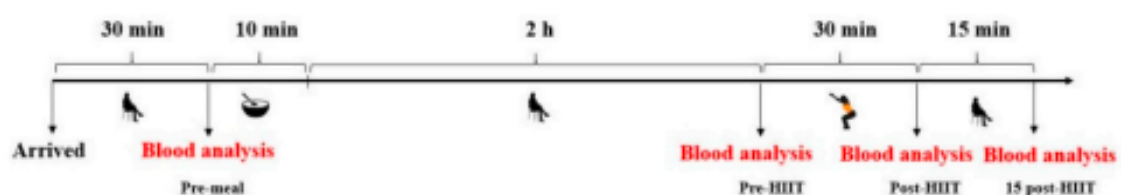


ABBILDUNG 9: TRAININGSTAG ABLAUF (VERÄNDERT NACH (ZENG, JENDRICKE, ET AL. 2021))

Die Studienteilnehmenden führten 24h Recall Protokolle durch. Diese Form der Ernährungserhebung ist eine weit verbreitete Methode, die schnell, und sofern mehrere 24 Stunden Protokolle pro Person erhoben werden, akkurat ist. Verzerrungen der Ergebnisse können entstehen, denn die Genauigkeit der Protokollergebnisse ist weiterhin abhängig vom Schulungsstand der das Interview leitenden Person, sowie davon wie gut die untersuchte Person sich an das Verzehrte erinnert und inwieweit das Protokollierte der Wahrheit entspricht. (Huang, et al. 2022) Die Auswertung der Ernährungsprotokolle wurde mittels des Programmes NUT.s erfasst. Dieses ist eine Hilfestellung bei der Berechnung von Nährwerten und Allergenen und zur Betrachtung und Einordnung von Ernährungsprotokollen. NUT.s bietet unter anderem die Möglichkeit auf lokale österreichische Lebensmittel Datenbanken zurückzugreifen und spezifische Analysen zu einzelnen Nährstoffen, Vitaminen und Mineralien eines Ernährungsprotokolls aufzustellen. (nutritional.software 2024)

ERGEBNISSE

AUSWERTUNG

Die Auswertung der Ernährungsprotokolle der Studienteilnehmerinnen erfolgte im Zeitraum Juli bis September 2024 mittels der Software NUT.s. NUT.s ist ein Programm, welches zur Berechnung von Nährwerten und Allergenen dient und mit dem individuelle Ernährungsprotokolle analysiert werden können. Die Probandinnen der Studie gaben an jedem Studientag ein 24-h Ernährungsprotokoll des vorigen Tages ab, in dem sie alle an diesem Tag verzehrten Lebensmittel und Getränke mit möglichst genauen Mengenangaben rekonstruierten. Die Ernährungsprotokolle dienen der Betrachtung möglicher Zusammenhänge hoher oder niedriger Aufnahmemengen bestimmter Nährstoffe und wichtiger Outcome Parameter der ROS und IL-6. Insgesamt wurden 154 Protokolle ausgewertet. Dabei wurden die Nährstoffe Beta-Carotin, Vitamin C, Vitamin E, Kohlenhydrate Energie% (E%), Omega 3 (n-3) E%, Omega 6 (n-6) E%, Zink und Magnesium untersucht. Diesen Nährstoffen werden teilweise antientzündliche und antiinflammatorische Wirkungen zugeschrieben, beziehungsweise Zusammenhänge mit regenerativen Vorgängen des menschlichen Körpers beobachtet. Alle am Tag verzehrten Lebensmittel und Getränke werden mittels Portionsgrößenschätzung, sofern keine genaue Mengenangabe der Probandin möglich ist, in das NUT.s Programm eingefügt. Im Folgenden sind in Tabelle 1 beispielhafte Ergebnisse einer Auswertung eines Tages einer Probandin aufgezeigt.

Nährstoff	Menge
Kohlenhydrate	158,4 g
Energie	1.591,2 kcal
Vitamin A - Beta-Carotin	1,6 mg
Vitamin C - Ascorbinsäure	57,1 mg
Tocopheroläquivalente	3,9 mg
Magnesium	189,3 mg
Zink	12,4 mg
Omega-3-Fettsäuren	4.586,2 mg
Omega-6-Fettsäuren	16.182,9 mg

TABELLE 1: BEISPIEL: AUSWERTUNG DER NÄHRSTOFFE DES ERNÄHRUNGSPROTOKOLLS EINES TAGES

Betrachtet wird, ob zwischen der Zufuhrmenge ausgewählter Nährstoffe am Vortag und der Baseline ROS Werte bzw. Baseline IL-6-Werte am folgenden Studientag signifikante Zusammenhänge bestehen. Hierfür wurden die Aufnahmemengen in die Kategorien: cat 1 = niedrigsten 25%, cat 2 = zweitniedrigsten 25%, cat 3 = zweithöchsten 25%, cat 4 = höchsten 25% eingeteilt. Vergleichswerte können aus den DACH-Referenzwerten gezogen werden und sind in Tabelle 2 aufgeführt. Tabelle 3 zeigt die Verteilungen der Kategorien eins bis vier der jeweiligen Nährstoffe auf.

Nährstoff	Geschlecht	Alter	Referenzwert	Einheit	Referenzwerttyp
<i>Beta-Carotin</i>	Weiblich	19-65	700-850	µg-AÄV	Empfohlene Zufuhr
<i>Vitamin C</i>	Weiblich	19-65	95	Mg	Empfohlene Zufuhr
<i>Magnesium</i>	Weiblich	19-65	300-350	Mg	Schätzwert
<i>Zink</i>	Weiblich	19-65	7-16	Mg	Empfohlene Zufuhr
<i>Vitamin E</i>	Weiblich	19-65	12	Mg	Empfohlene Zufuhr
<i>Energie Zufuhr</i>	Weiblich	19-65	1700-1900	Kcal	Richtwert
<i>Omega 3</i>	Weiblich	19-65	0,5	% der FS-Energie	Empfohlene Zufuhr
<i>Omega 6</i>	Weiblich	19-65	2,5	% der FS-Energie	Empfohlene Zufuhr

TABELLE 2: REFERENZWERTE FÜR DIE NÄHRSTOFFZUFUHR (QUELLE. DGE, 2024)

Nährstoff	Kategorie 1	Kategorie 2	Kategorie 3	Kategorie 4
<i>Beta-Carotin (mg)</i>	0 – 2,0	2,0 – 4,4	4,4 – 10,5	> 10,5
<i>Vitamin C (mg)</i>	0 – 58,0	58,0 – 112,7	112,7 – 179,3	> 179,3
<i>Vitamin E (mg)</i>	0 – 10,0	10,0 – 13,6	13,6 – 21,0	> 21,0
<i>Magnesium (mg)</i>	0 – 259,7	259,7 – 333,9	333,9 – 458,7	> 458,7
<i>Zink (mg)</i>	0 – 7,9	7,9 – 9,8	9,8 – 12,9	> 12,9
<i>KH (E%)</i>	0 – 38,5%	38,5 – 45,7%	45,7 – 50,6%	> 50,6%
<i>n3 (E%)</i>	0 – 0,6%	0,6 – 0,8%	0,8 – 1,3%	> 1,3%
<i>n6 (E%)</i>	0 – 4,3%	4,3 – 6,6%	6,6 – 8,4%	> 8,4%

TABELLE 3: KATEGORIENGRUPPEN DER NÄHRSTOFFE. NÄHRSTOFFWERTE IN MG.

HYPOTHESE

Die Analyse der Auswertung benötigt das Aufstellen einer Hypothese, die folgend formuliert ist:

H₀= Die Werte der Nährstoffe in den verschiedenen Aufnahmekategorien stehen in keinem signifikanten Zusammenhang mit Baseline ROS- und IL-6-Werten

H₁= Die Werte der Nährstoffe in den verschiedenen Aufnahmekategorien stehen in signifikanten Zusammenhang mit Baseline ROS- und IL-6-Werten

Es wurde ein allgemeines lineares Modell verwendet, um zu untersuchen, ob die Aufnahme von den getesteten Nährstoffen am Vortag die ROS- und IL-6-Baseline Ergebnisse beeinflussen. Dafür wurde in je zwei Modellen der Zusammenhang zwischen den unabhängigen Variablen und den abhängigen Variablen getestet. Für beide abhängigen Variablen (ROS & IL-6) enthielt das erste Modell die unabhängigen Variablen Kohlenhydrat Energie %, FS-3-% und FS-6%, das zweite Modell Beta-Carotin, Vitamin C, Vitamin E Magnesium und Zink.

Die Auswertung der ROS-Baseline ergab in folgender Tabelle 4 aufgeführte Ergebnisse:

Nährstoff	F-Wert	p-Wert (Sig.)	Interpretation
<i>Beta-Carotin</i>	1,822	0,146	Nicht signifikant
<i>Vitamin C</i>	1,239	0,298	Nicht signifikant
<i>Vitamin E</i>	1,458	0,229	Nicht signifikant
<i>Magnesium</i>	1,546	0,205	Nicht signifikant
<i>Zink</i>	0,047	0,987	Nicht signifikant
<i>KH (E%)</i>	1,286	0,282	Nicht signifikant
<i>n3 (E%)</i>	1,284	0,282	Nicht signifikant
<i>n6 (E%)</i>	1,076	0,362	Nicht signifikant

TABELLE 4: AUSWERTUNG DER ROS-BASELINE

Der F-Wert beschreibt die Variation zwischen Stichprobenmittelwerten. Je höher der F-Wert desto größer ist der Unterschied zwischen den Stichprobenmittelwerten. Die Ergebnisse zeigen, sowohl einen niedrigen F-Wert, als auch, dass alle p-Werte der ROS-Aufnahme deutlich über 0,05 liegen und die Nährstoffe somit keinen signifikanten Zusammenhang mit Baseline ROS-Werten aufzeigen. Für das Modell 1 ergibt sich ein R- Quadrat 0,071 und korrigiertes R-Quadrat von 0,011 das Modell 2 zeigt ein R- Quadrat von 0,109 und ein korrigiertes R-Quadrat von 0,010. Diese Werte geben an, dass das Modell insgesamt nur eine sehr geringe Erklärungskraft hat.

Die Auswertung der IL-6-Baseline ergab folgende Ergebnisse:

Nährstoff	F-Wert	p-Wert (Sig.)	Interpretation
<i>Beta-Carotin</i>	1,938	0,126	Nicht signifikant
<i>Vitamin C</i>	0,560	0,643	Nicht signifikant
<i>Vitamin E</i>	0,526	0,665	Nicht signifikant
<i>Magnesium</i>	2,630	0,053	Fast signifikant
<i>Zink</i>	1,766	0,157	Nicht signifikant
<i>KH (E%)</i>	0,470	0,703	Nicht signifikant
<i>n3 (E%)</i>	0,701	0,553	Nicht signifikant
<i>n6 (E%)</i>	0,467	0,706	Nicht signifikant

TABELLE 5: AUSWERTUNG DER IL-6-BASELINE

Die Ergebnisse zeigen niedrige F-Werte, ebenso wie P-Werte über 0,05 und somit außerhalb des Signifikanzbereiches auf. Aus der Tabelle wird jedoch ersichtlich, dass der p-Wert für die IL-6-Baseline in Abhängigkeit mit Magnesium mit 0,053 fast in den Bereich der Signifikanz fällt. Dies bedeutet, dass es eine schwache Tendenz geben könnte, dass Magnesium mit dem IL-6-Baseline Wert im Zusammenhang stehen kann. Diese ist jedoch nicht so stark, dass das Ergebnis als statistisch signifikant gilt.

Die individuelle Betrachtung von Magnesium zeigt jedoch, dass Personen die Magnesiumaufnahmemengen der Kategorie 3 aufweisen, signifikant niedrigere Baseline IL-6-Werte am Morgen im Vergleich zu den Personen der Kategorie 1 besitzen. Der Unterschied beträgt im Mittel um 0,59 ng/mL niedrigere Werte für IL-6 am Morgen für Personen mit einer höheren Magnesiumaufnahme. Die anschließende Tabelle verbildlicht dieses Ergebnis. Die signifikanten Ergebnisse sind farblich hervorgehoben.

Kategorie	Vergleich Kategorie	Mittelwertdifferenz	Signifikanzniveau	Interpretation
1	3	-0,59	0,044	Signifikant niedrigerer IL-6-Wert bei moderater Magnesiumaufnahme im Vergleich zur niedrigsten Magnesiumaufnahme.
1	2,4	Keine signifikanten Unterschiede	-	Keine signifikanten Unterschiede zur höchsten Magnesiumkategorie.
2	3,4	keine signifikanten Unterschiede	-	Keine signifikanten Unterschiede zur höchsten Magnesiumkategorie.
3	4	keine signifikanten Unterschiede	-	Keine signifikanten Unterschiede zur höchsten Magnesiumkategorie.

TABELLE 6: INDIVIDUELLE BETRACHTUNG DER IL-6-WERTE FÜR DIE MAGNESIUM AUFNAHME UNTERSCHIEDLICHER KATEGORIEN

Die R-Quadrat Werte sind mit 0,150 und mit einem korrigierten R-Quadrat 0,056 für Modell 1 sowie 0,039 und korrigierten R-Quadrat -0,023 für Modell 2 sehr niedrig und sprechen damit für eine geringe Erklärungskraft des Modells.

Die Auswertung ergibt somit für die Forschungshypothese: Die Null-Hypothese (H_0 = Die Werte der Nährstoffe in den verschiedenen Aufnahmekategorien stehen in **keinem** signifikanten Zusammenhang für die Baseline ROS- und IL-6-Werte) kann nicht verworfen werden.

DISKUSSION

Die Auswertung ergab für keinen der Nährstoffe signifikante Ergebnisse. Auffällig ist jedoch, dass Magnesium beinahe in den Bereich der Signifikanz fällt. Der Zusammenhang von Magnesium und niedrigeren IL-6-Werten wurde bereits in anderen Studien untersucht. In einer Studie an 23 männlichen Rugbyspielern wurden die ACTH, Cortisol und IL-6-Level während sportlicher Belastung nach Magnesiumsupplementierung beobachtet. Hierfür wurde eine Interventions- und eine Kontrollgruppe erstellt. Zu den Zeitpunkten einen Tag vor dem Spiel, am Spieltag und während einer sechstägigen Erholungsphase wurden unter anderem IL-6-Werte gemessen. Die Magnesiumsupplementierung erfolgte nach der Eingangsuntersuchung, vor dem ersten Spiel. Es ergaben sich statistisch signifikante Veränderungen für den IL-6-Wert. Die Supplementation bewirkte ein Absinken der IL-6-Werte in der Interventionsgruppe, während es bei der Kontrollgruppe während der Studiendurchführung zu Anstiegen kam. (Dmitrašinić, et al. 2016)

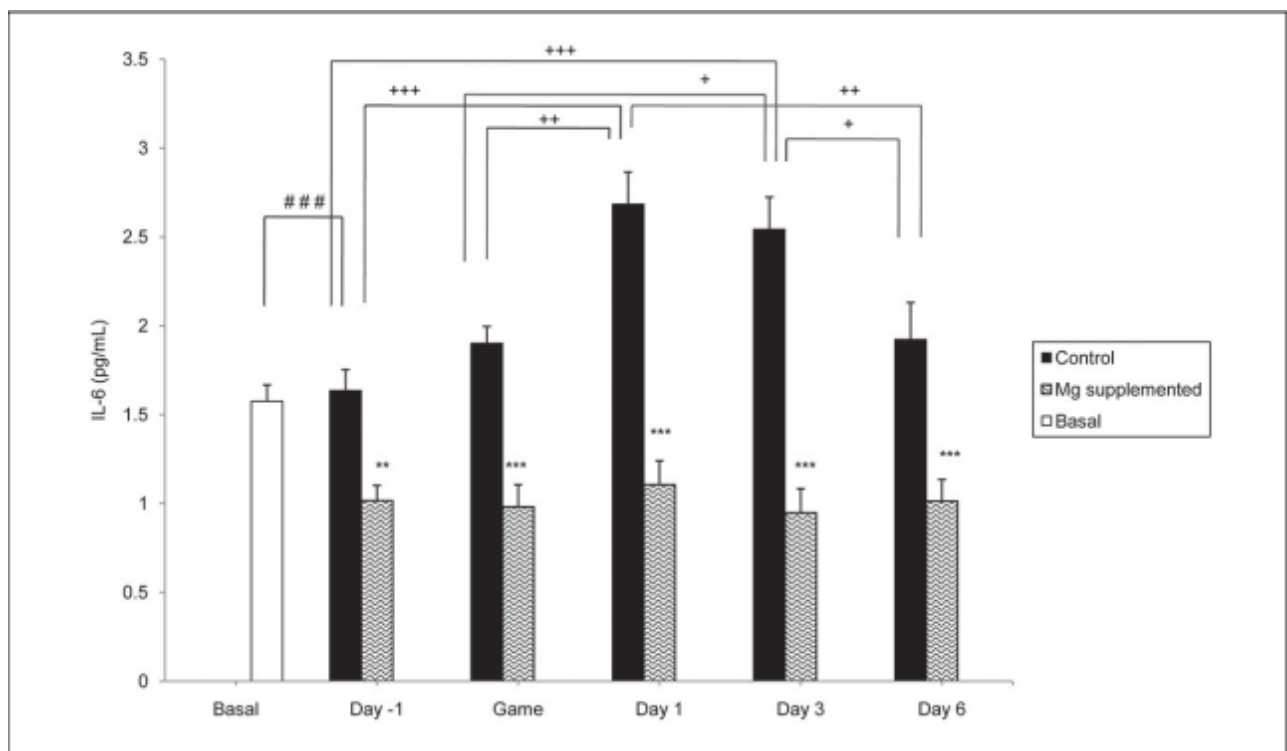


ABBILDUNG 10: VERÄNDERUNG DER IL-6-WERTE BEI RUGBYSPIELERN UND MAGNESIUM SUPPLEMENTIERTEN RUGBYSPIELERN (VERÄNDERT NACH (DMITRAŠINOVIĆ, ET AL. 2016)

In der “The Strong Heart Family Study” welche den Zusammenhang zwischen dem aufgenommenen Nahrungsmagnesium und den IL-6 und C-reaktiven Protein Werten bei indischstämmigen Amerikanern betrachtete, wurden ebenso niedrigere IL-6-Werte für

Personen eines bestimmten Genotypus mit höheren Magnesiumaufnahmen festgestellt. (Rao, et al. 2023)

Die Wirkung von Magnesium auf IL-6 kann mit hoher Wahrscheinlichkeit auf mehrere biologische Ursachen zurückgeführt werden. Durch körperliche Anstrengung kommt es zu einer vermehrten Aktivierung des Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Systems (HPA-Achse) und des sympathischen Nervensystems, was zu hormonellen Veränderungen und einem Anstieg von IL-6 führen kann. Zusammen mit einer gestörten Muskelregenerationsfunktion bei geringer Magnesiumzufuhr kann es zu einer Steigerung von Entzündungswerten und damit zu erhöhten IL-6-Werten kommen. (Veronese, et al. 2014) In verschiedenen Tier- und in vitro Studien wird ein weiterer Mechanismus, der das Entstehen von hohen IL-6-Werten erklären kann, deutlich. Entzündungsreaktionen erhalten durch Aktivierung von Phagozyten, sowie Ausschüttung des proinflammatorischen Neuropeptides Substanz-P und Aktivierung des Transkriptionsfaktors NFκB, einen Anstieg. Außerdem zeigen Tierversuche, dass Magnesiummangel zu ROS-Produktion führt. Hier wird die Verbindung zwischen Magnesium, ROS und Entzündung deutlich: Magnesium wirkt physiologisch als Ca^{2+} Blocker, dieses wird bei einem Mangel dementsprechend vermehrt ausgeschüttet. Bei einem erhöhten intrazellulären Ca^{2+} Spiegel werden Priming Agenten wie Zytokine aktiviert, wodurch Phagozyten vermehrt ROS produzieren. Dies bedeutet, dass der durch Magnesiummangel bedingte Ca^{2+} Anstieg der Hauptverursacher für Entzündungsreaktionen sein könnte. (Nielsen 2018)

Die niedrigeren IL-6-Werte kamen nur in der Kategorie 3 zum Vorschein. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass auch höhere Magnesiumwerte als die der Kategorie 3 nicht signifikant im Zusammenhang mit IL-6-Werte stehen. Möglicher Hintergrund dieser Erscheinung könnte der inverse Effekt der Magnesiumabsorption sein. Diese findet hauptsächlich im Ileum und Colon statt und ist abhängig vom Magnesiumversorgungszustand der Person. Bei einem niedrigen Magnesiumlevel wird eine große Menge des aufgenommenen Magnesiums absorbiert, bei einem hohem Versorgungszustand wird wenig des über die Nahrung vorhandenen oder supplementierten Magnesiums aufgenommen. (Porri, et al. 2021) Weitere Gründe für eine geringere Magnesiumabsorption trotz hoher Aufnahmemengen sind beispielsweise der Verzehr großer Mengen phosphathaltiger Lebensmittel wie Kichererbsen. Phosphat hat die Eigenschaft Magnesium zu binden und somit die Bioverfügbarkeit für den

Körper zu reduzieren. Auch ein hoher Gehalt an Ballaststoffen in der täglichen Ernährung verringert die Magnesiumabsorption aufgrund der in ihnen enthaltenen Phosphatgruppen. (Arancibia-Hernández , Hernández-Cruz und Pedraza-Chaverria 2023)

Die Analyse der weiteren Nährstoffaufnahmen am Tag vor der Studienintervention ergab in dieser Studie keine signifikanten Zusammenhänge zwischen IL-6- und ROS-Aktivitäten. Jedoch sollten die betrachteten Nährstoffe nicht als unwichtig hinsichtlich ihrer antiinflammatorischen und antioxidativen Wirkweisen verworfen werden. Wie bereits beschrieben weisen die diversen untersuchten Nährstoffe zahlreiche biologische Funktionen auf und können außerhalb der IL-6- und ROS-Interaktionen Einfluss auf Körperfunktionen nehmen. Die Betrachtung der aufgenommenen Lebensmittel am Tag vor der Intervention kann wichtige Einblicke in die Ernährungsweisen geben, allerdings sind die Ergebnisse dieser Auswertung nicht so aussagekräftig wie mögliche Ergebnisse der Studienintervention.

Wichtig ist weiterhin die Betrachtung von Limitationen und Hindernissen, die während der Auswertung der Ernährungsprotokolle aufgetreten sind. Im Vergleich zu viele weiteren Studien, die Zusammenhänge zwischen den untersuchten Vitaminen und Nährstoffen und Inflammation untersuchen, wird die Wirksamkeit dieser Nährstoffe nicht deutlich. Gründe hierfür können unter anderem in Limitationen des 24-Recalls gefunden werden. Die Ernährungsprotokolle der Studienteilnehmenden bieten zwar einen Einblick in die Ernährungsweise der Teilnehmerinnen, allerdings sind Einschätzungen von Portionsgrößen von Person zu Person unterschiedlich. Hinzukommen Faktoren, wie eventuell nicht wahrheitsgemäße Angaben sowie das Vergessen verschiedener Getränke und Lebensmittel. Selbst protokollierte Ernährungserhebungen stehen aufgrund von sozialen Normen oftmals vor dem Problem, dass als ungesund betrachtete Nahrungsmittel in zu geringen Mengen angegeben werden und „gesunde“ Nahrungsmittel in höheren Mengen protokolliert werden. Möglich wäre es hier Kontroll- und Ausschlussverfahren durchzuführen. Mittels der „basal metabolic rate“ (BMR) und der „Goldberg cut-off method“ kann beispielsweise erfasst werden, wenn Personen zu geringe Energieaufnahmen protokollieren. Die BMR kann mittels indirekter Kalorimetrie oder verschiedener geschlechts- und altersspezifischer Gleichungen ermittelt werden und gibt Aussage über den Grundumsatz. Die „Goldberg cut-off method“ vergleicht die Energieaufnahme mit dem Energieverbrauch welche bei stabilem Körpergewicht im Gleichgewicht sein sollten. Das Verhältnis von Energieaufnahme und

Grundumsatz bzw. BMR wird überprüft und es wird betrachtet ob die Werte innerhalb eines 95%-Konfidenzintervalls liegen. Ist die Energieaufnahme außerhalb dieser Grenzen, weist dies auf eine mögliche Fehlangabe hin. Dies könnte somit Hinweis auf insgesamt verzerrte Angaben der protokollierenden Person geben. (Debras, et al. 2023) In einigen Studien wird, um diesen Problemen entgegenzuwirken, mittlerweile auf eine Dokumentation der Ernährung mittels Fotografie zurückgegriffen. Entweder aktiv mit Hilfe von Smartphone Apps, welche das Hochladen von Bildern und Videos erlauben, oder passiv mit umgehängten Kameras, können Probleme bei der Einschätzung von Portionsgrößen hinfällig werden. Allerdings bedeutet dies, dass eine prospektive Datenerhebung nötig ist. Hier können möglicherweise Veränderungen in den Ernährungsgewohnheiten der Probandinnen auftreten. Das kann wiederum zu verzerrten Ergebnissen führen. (Naaman, et al. 2021) Oft werden Studien durchgeführt, in denen die individuelle Ernährung vor Beginn der Studie nicht von Wichtigkeit ist oder der Fokus mehr auf generalisierter und standardisierter Ausgangslage von Ernährungsparametern liegt. Weiterhin gibt es Studien die untersuchen, ob die Ernährung oder andere Parameter bestimmte Ergebnisse beeinflussen. Eine generalisierte Ernährung über einen längeren Zeitraum vor der Studiendurchführung ist in diesen Fällen eine gute Möglichkeit, um Ernährungserhebungen mit ihren Nachteilen obsolet zu machen. Diese Methode ermöglicht es, ein einheitliches Ernährungsniveau vor Beginn einer Studie sicher zu stellen. Eine Studie in der untersucht wurde, ob individuelle Unterschiede der Ernährung zwischen ProbandInnen oder die Zusammensetzung des Darmmikrobioms die Hauptursache ist für die Variabilität von vom Mikrobiom abhängigen Metaboliten, nutzte eine standardisierte Ernährung über einen Zeitraum von sieben Tagen. Diese Form der Kontrolle bietet zwar ein hohes Level an Präzision, ist jedoch oft kostspielig und benötigt die Bereitschaft der Studienteilnehmenden, ihre Ernährungsweisen umzustellen. (Guthrie, et al. 2022)

Ein weiterer Faktor für Unsicherheiten während der Auswertung der Protokolle, ist die persönliche Einschätzung der auswertenden Person, welche zu einem gewissen Grad subjektiv ist und deshalb unterschiedlich ausfallen kann. Hier ist es wichtig im Vorhinein eine gute Absprache zwischen Studiendurchführenden zu gewährleisten und einheitlich zu arbeiten.

FAZIT

Die Studie, welche den Einfluss von antioxidativ und antiinflammatorisch wirksamen Mikronährstoffen auf oxidativen Stress bei jungen gesunden Frauen untersuchte, ergab

interessante Einblicke in die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Nährstoffen und Entzündungsreaktionen. Unter allen untersuchten aufgenommenen Nährstoffen wurden keine signifikanten Zusammenhänge festgestellt, jedoch liegt Magnesium fast im signifikanten Bereich aufgrund seines inversen Zusammenhangs mit dem Entzündungsmarker IL-6. Erhöhte Magnesiumwerte korrelieren mit niedrigeren IL-6-Werten. Mögliche Erklärungen hierfür können die diversen biologischen Wirkmechanismen von Magnesium sein. Zum einen kann Magnesium zu verringerten Calciumspiegeln führen, da es als Calcium-Blocker gilt und die Aufnahme von Calcium beeinträchtigen kann. Zum anderen wird Magnesium für die Regeneration der Muskulatur benötigt und bei niedriger Zufuhr kann es zu Störungen in der muskulären Regeneration kommen.

Abschließend kann die gesteigerte Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achsen Aktivierung zu hormonellen Veränderungen und dadurch zu IL-6-Steigerungen führen. Da noch keine signifikanten Ergebnisse erschlossen wurden, sind umfassendere Ernährungsprotokolle über längere Zeiträume, mit besseren Ausschlusskriterien wichtig, um weitere Ergebnisse hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen Entzündungsparametern und Nährstoffen zu bekommen.

LITERATURVERZEICHNIS

- Alessio, Helaine M. „Exercise-induced oxidative stress.“ *Medicine & Science in Sports & Exercise* 25(2), 1993: 218-224.
- Arancibia-Hernández, Y L, Y E Hernández-Cruz, und J Pedraza-Chaverria. „Magnesium (Mg²⁺) Deficiency, Not Well-Recognized Non-Infectious Pandemic: Origin and Consequence of Chronic Inflammatory and Oxidative Stress-Associated Diseases.“ *International Journal of Experimental Cellular Physiology, Biochemistry and Pharmacology*, 2023: 1-23.
- Ayuk, J, und N J Gittoes. „Contemporary view of the clinical relevance of magnesium homeostasis.“ *Annals of clinical biochemistry*, 51(Pt 2), 2014: 179–188.
- Azzi, A, und A Stocker. „Vitamin E: non-antioxidant roles.“ *Progress in lipid research*, 2000: 231±255.
- Bae, Y S, H Oh, S G Rhee, und Y D Yoo. „Regulation of reactive oxygen species generation in cell signaling.“ *Molecules and cells*, 32(6), 2011: 491–509.
- Barrea, L, et al. „Could very low-calorie ketogenic diets turn off low grade inflammation in obesity? Emerging evidence.“ *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(26), 2023: 8320-8336.
- Bogacz-Radomska, L, und J Harasym. „β-Carotene—properties and production methods.“ *Food Quality and Safety, Volume 2, Issue 2*, 2018: 69–74.
- Carr, A C, und S Maggini. „Vitamin C and Immune Function.“ *Nutrients*, 9(11), 2017.
- Chang, Y W, et al. „Insulin Reduces Inflammation by Regulating the Activation of the NLRP3 Inflammasome.“ *Front Immunol.*, 2021.
- Chung, H. Y, et al. „Molecular inflammation: underpinnings of aging and age-related diseases.“ *Ageing research reviews*, 8(1), 2009: 18–30.
- Collins, A, et al. „). Measuring DNA modifications with the comet assay: a compendium of protocols.“ *Nature protocols*, 18(3), 2023: 929–989.
- Debras, C, et al. „Artificial Sweeteners and Risk of Type 2 Diabetes in the Prospective NutriNet-Sante Cohort.“ *Diabetes Care*, 2023: 1681-1690.
- DGExpert, Deutsche Gesellschaft für Ernährung (Hrsg.): „Version 1.8.10 (BLS 3.02).“ Bonn, 2017.
- DGExpert, Deutsche Gesellschaft für Ernährung (Hrsg.): „Version 1.9.3.1 (BLS 3.02).“ Bonn, 2018.

- DiNicolantonio, J J, und J H O'Keefe. „Importance of maintaining a low omega-6/omega-3 ratio for reducing inflammation.“ *Open heart*, 5(2), 2018.
- Dmitrašinović, G, V Pešić, D Stanić, B Plečaš-Solarovic, M Dajak, und S Ignjatović. „ACTH, Cortisol and IL-6 Levels in Athletes following Magnesium Supplementation.“ *Journal medical biochemie*, 2016: 375-384.
- Dosedel, M, et al. „Vitamin C—Sources, Physiological Role, Kinetics, Deficiency, Use, Toxicity, and Determination.“ *Nutrients*, 2021: 615.
- EFSA, European Food Safety Authority. „Tolerable Upper Intake Levels for Vitamins and Minerals.“ 2006.
http://www.efsa.eu.int/science/nda/nda_opinions/catindex_en.html (Zugriff am 16. 05 2024).
- Gammoh, N Z, und L Rink. „Zinc in Infection and Inflammation.“ *Nutrients*, 9(6), 2017: 624.
- Gulin, J, E Ipavic, D M Mastnak, E Breclj, I Edhemovic, und N R Kozjek. „Phase angle as a prognostic indicator of surgical outcomes in patients with gastrointestinal cancer.“ *Radiology and oncology*, 57(4), 2023: 524–529.
- Guthrie, L, et al. „Impact of a 7-day homogeneous diet on interpersonal variation in human gut microbiomes and metabolomes.“ *Cell Host Microbe*, 2022: 863–874.
- Hadad, N, und R Levy. „The synergistic anti-inflammatory effects of lycopene, lutein, β -carotene, and carnosic acid combinations via redox-based inhibition of NF- κ B signaling.“ *Free radical biology & medicine*, 53(7), ., 2012: 1381–1391.
- Haseloff, Reiner F, Katharina Mertsch, Elvira Rhode, Ingo Baeger, Igor A Grigor'ev, und Ingolf E Blasig. „Cytotoxicity of spin trapping compounds.“ *FEBS Letters*, 418, 1997.
- Huang, K, et al. „A Preliminary Study on a Form of the 24-h Recall That Balances Survey Cost and Accuracy, Based on the NCI Method. „“ *Nutrients*, 14(13), 2022.
- Huskisson, E, S Maggini, und M Ruf. „The role of vitamins and minerals in energy metabolism and well-being.“ *The Journal of international medical research*, 35(3), 2007: 277–289.
- Jeroen, H F, J de Baaij, G J Hoenderop, und J M René. „Magnesium in Man: Implications for Health and Disease.“ *Physiological Reviews*, 2015.
- Ke, Jian Liu, et al. „High-performance liquid chromatography study of the pharmacokinetics of various spin traps for application to in vivo spin trapping.“ *Free Radical Biology*, 1999: 82-89.
- Kolatorova, L, J Vitku, J Suchopar, M Hill, und A Parizek. „Progesterone: A Steroid with Wide Range of Effects in Physiology as Well as Human Medicine.“ *International journal of molecular sciences*, 23(14), 2022.

- Latino, F, et al. „The Importance of Lipidomic Approach for Mapping and Exploring the Molecular Networks Underlying Physical Exercise:A Systematic Review.“ *International Journal of Molecular Science*, 2021.
- Lewis, E D, S N Meydani, und D Wu. „Regulatory role of vitamin E in the immune system and inflammation.“ *IUBMB life*, 71(4), 2019: 487–494.
- Lippincott-Schwartz,, J, E L Snapp, und R D Phair. „The Development and Enhancement of FRAP as a Key Tool for Investigating Protein Dynamics.“ *Biophysical journal*, 115(7), 2018): 1146–1155.
- Liu, M, und S C Dudley . „Magnesium, Oxidative Stress, Inflammation, and Cardiovascular Disease.“ *Antioxidants (Basel)*, 2020.
- Liu, W, W G Wamer, und J J Yin. „Electron spin resonance spectroscopy for the study of nanomaterial-mediated generation of reactive oxygen species.“ *Journal of food and drug analysis*, 2014.
- Luc, K, A Schramm-Luc, T J Guzik, und T Mikolajczyk. „Oxidative stress and inflammatory markers in prediabetes and diabetes.“ *Journal of physiology and pharmacology : an official journal of the Polish Physiological Society*, 70(6), 2019.
- Marchand, V, N Charlier, J Verrax, P Buc-Calderon, B Gallez, und P Levêque. „Use of a cocktail of spin traps for fingerprinting large range of free radicals in biological systems.“ *PloS one*, 12(3), 2017.
- Mitchell, S, J Vargas, und A Hoffmann. „Signaling via the NFκB system.“ *Wiley Interdiscip Rev Syst Biol Med.*, 2016: 227-41.
- Miyazawa, T, G C Burdeos, M Itaya, K Nakagawa, und T Miyazawa. „Vitamin E: Regulatory Redox Interactions.“ *IUBMB life*, 71(4), 2019: 430–441.
- Morales, M, und S Munné-Bosch. „Malondialdehyde: Facts and Artifacts.“ *Plant physiology*, 180(3), 2019: 1246–1250.
- Naaman, R, et al. „Assessment of Dietary Intake Using Food Photography and Video Recording in Free-Living Young Adults: A Comparative Study.“ *Journal for Academyc Nutritional Diet*, 2021: 749-761.
- Nielsen, F H. „Magnesium deficiency and increased inflammation: current perspectives.“ *Journal of inflammation research*, 2018: 25–34.
- nutritional.software. 2024. <https://www.nutritional-software.at/> (Zugriff am 25. 05 2024).
- O'Connor, E, T Mündel, und M J Barnes. „Nutritional Compounds to Improve Post-Exercise Recovery.“ *Nutrients*, 14(23), 2022: 5069.

- Olechnowicz, J, A Tinkov , A Skalny, und J Suliburska. „Zinc status is associated with inflammation, oxidative stress, lipid, and glucose metabolism.“ *The Journal of Physiological Sciences*, 2018: 19-31.
- Parikh, S, et al. „Adolescent fiber consumption is associated with visceral fat and inflammatory markers.“ *The Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 97(8), 2012: 1451–1457.
- Porri, D, H K Biesalski, A Limitone, L Bertuzzo, und H Cena. „Effect of magnesium supplementation on women's health and well-being.“ *NFS journal*, 2021: 30-36.
- Rao, N D, et al. „Dietary magnesium, C-reactive protein and interleukin-6: The Strong Heart Family Study.“ *PLoS One*, 2023.
- Ruberti , O M, und B Rodrigues. „Estrogen Deprivation and Myocardial Infarction: Role of Aerobic Exercise Training, Inflammation and Metabolomics.“ *Current Cardiology Reviews Volume 16, Issue 4*, 2020: 292 - 305.
- Saber, N, M Hosseinzadeh, S Shab-Bidar, M Mirzaei, A. Najarzadeh, und S,T Rahideh. „Empirical dietary inflammatory index and lifestyle inflammation score relationship with obesity: A population-based cross-sectional study.“ *Fod science & nutrition*, 2023: 7341-7351.
- Sánchez Díaz, M, A Martín-Castellanos, V E Fernández-Elias, O Lopez Torres, und J Lorenzo Calvo. „Effects of Polyphenol Consumption on Recovery in Team Sport Athletes of Both Sexes: A Systematic Review.“ *Nutrients*, 14(19), 2022.
- Sánchez Díaz, M, A. Martín-Castellanos, V E Fernández-Elías, O López Torres, und J Lorenz Calvo. „Effects of Polyphenol Consumption on Recovery in Team Sport Athletes of Both Sexes: A Systematic Review. „“ *Nutrients*, 14(19), 2022: 4085.
- Signini, E F, D C Nieman, C D Silva, C A Sakaguchi, und A M Catai. „Oxylipin Response to Acute and Chronic Exercise: A Systematic Review.“ *Metabolites*, 10(6), 2020: 264.
- Sims, S T, et al. „International society of sports nutrition position stand: nutritional concerns of the female athlete.“ *J Int Soc Sports Nutr.*, 2023.
- Talayero, B G, und F M Sacks. „The role of triglycerides in atherosclerosis.“ *Current cardiology reports*, 13(6),, 2011: 544–552.
- Tall, A R, und L Yvan-Charvet. „Cholesterol, inflammation and innate immunity.“ *Nature reviews. Immunology*, 15(2), 2015: 104–116.
- Tan, B, M E Norhaizan, und W P Liew. „Nutrients and Oxidative Stress: Friend or Foe?“ *Oxidative medicine and cellular longevity*, 2018.

- Tanaka, T, M Narazaki , und T Kishimoto. „IL-6 in inflammation, immunity, and disease.“ *Cold Spring Harb Perspect Biol.* 4;6(10), 2014.
- Tipton, K D. „Nutritional Support for Exercise-Induced Injuries.“ *Sports Med.*, 2015: 93-104.
- Veronese, N, et al. „Effect of oral magnesium supplementation on physical performance in healthy elderly women involved in a weekly exercise program: a randomized controlled trial.“ *The american journal of clinical nutrition, Volume 100*, 2014: 974-981.
- Volpe, S L. „Magnesium in disease prevention and overall health.“ *Advances in nutrition (Bethesda, Md.)*4(3), 2013: 378S–83S.
- Wadley, A J, J E Turner, und S Aldred. „Factors influencing post-exercise plasma protein carbonyl concentration.“ *Free radical research*, 50(4), 2016: 375–384.
- Wang, A, et al. „Targeted Lipidomics and Inflammation Response to Six Weeks of Sprint Interval Training in Male Adolescents.“ *Int J Environ Res Public Health*, 2023.
- Wang, M, und T M Hng. „HbA1c: More than just a number.“ *Australian journal of general practice*, 50(9), 2021: 628–632.
- Wang, T, S D Yang, S Liu, H Wang, H Liu, und W Y Ding. „17 β -Estradiol Inhibites Tumor Necrosis Factor- α Induced Apoptosis of Human Nucleus Pulposus Cells via the PI3K/Akt Pathway.“ *Medical science monitor: international medical journal of experimental and clinical research*, 22, 2016: 4312-4322.
- Wang, Y, L Shen, und D Xu. „Aerobic exercise reduces triglycerides by targeting apolipoprotein C3 in patients with coronary heart disease.“ *Clinical cardiology*, 42(1), 2019: 56–61.
- Weyh, C, K Krüger, P Peeling, und L Castell. „The Role of Minerals in the Optimal Functioning of the Immune System.“ *Nutrients*, 14(3), 2022.
- Zeng, Z, C Centner, A Golhofer, und D König. „Effects of dietary Strategies on Exercise-Induced oxidative Stress:A Narrative Review of Human Studies.“ *Antioxidants* 10(4), 2021.
- Zeng, Z, P Jendricke, C Centner, H Storck, A Gollhofer, und D König. „Acute Effects of Oatmeal on ExerciseInduced Reactive Oxygen Species Production Following High-Intensity Interval Training in Women: A Randomised Controlled Trial.“ *Antioxidants*, 2021.
- Zheng, W V, et al. „Anti-aging effect of β -carotene through regulating the KAT7-P15 signaling axis, inflammation and oxidative stress process.“ *Cell Mol Biol Lett.*, 2022.
- Zorov , D B, M Juhaszova , und S J Sollott . „Mitochondrial reactive oxygen species (ROS) and ROS-induced ROS release.“ *Physiol Rev.* 94(3), 2014: 909-50.