Oxidativer Stress, Sport und AOV-Status

Freie Radikale werden zunehmend mit Phänomenen des Alterns sowie der Entwicklung chronischer Erkrankungen in einen ursächlichen Zusammenhang gebracht und sind damit von aktuellem medizinisch-biologischem Interesse. Von antioxidativen Vitaminen wird angenommen, dass sie vor den negativen Wirkungen freier Radikale schützen. Wie sinnvoll ist die Zufuhr antioxidativer Supplemente für Sportler?

Aloys Berg* und Daniel König*

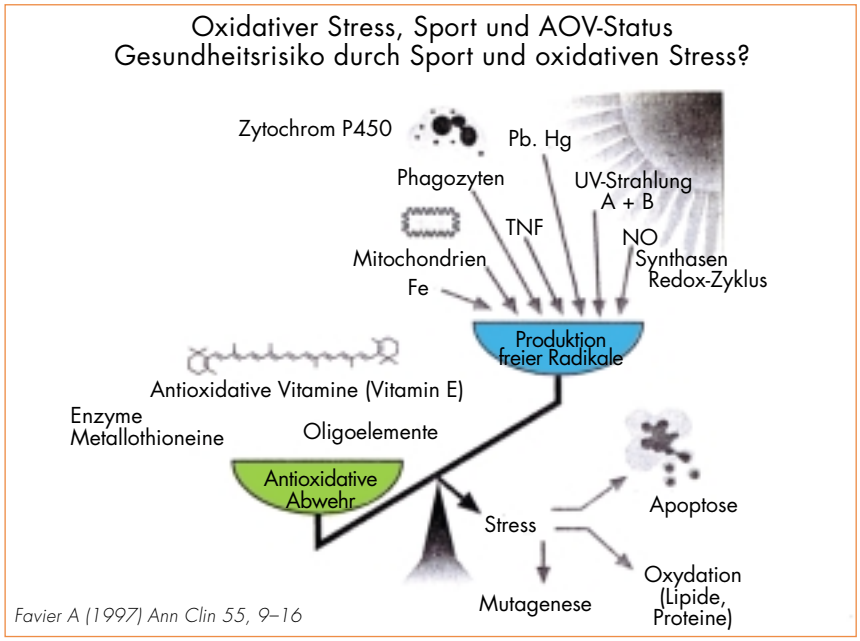

Abbildung 1: Freie Radikale entstehen physiologisch im Organismus (Energiebereitstellung, Entzündung, Trauma) sowie durch Umweltfaktoren (Ozon, UV-Strahlung, Nikotin, Blei, Quecksilber). Bei eingeschränkter antioxidativer Abwehr können freie Radikale biologische Strukturen schädigen und so Wegbereiter für chronische Erkrankungen sein.

Grundlagen zur antioxidaten Regulation und zum oxidativen Stress

Nach chemischer Definition sind freie Radikale Atome oder Molekülbruchstücke, die ein freies, das heisst ungepaartes Elektron besitzen. Sie sind dadurch hoch reaktiv, aber aufgrund ihrer sehr kurzen Halbwertszeit nur schwer nachweisbar. Sichtbar wird ihre Wirkung über entstehende Stoffwechselprodukte. Freie Radikale entstehen physiologisch im Rahmen der mitochondrialen Oxidation (ca. 6% des Sauerstoffumsatzes), bei Entzündungsreaktionen («oxidative burst») sowie beim Adenosinabbau (Inanspruchnahme des Myokinase-Stoffwechselwegs bei Sauerstoffmangel bzw. mangelnder ATP-Resynthese). Aufgrund der hohen Reaktivität können freie Radikale biologische Strukturen schädigen und deren Eigenschaften ungünstig verändern; so kommt es zu Veränderungen an Makromolekülen (z.B. Kollagen, Elastin, Nukleinsäuren, Bindegewebsmatrix) sowie zur Oxidation von Lipiden und Proteinen in Membranen und Oberflächenstrukturen (z.B. Lipoproteine, Erythrozyten).

Im Gegensatz hierzu wird angenommen, dass antioxidative Vitamine (AOV), vor allem Vitamin E, vor den Negativwirkungen der freien Radikale schützen. Nachweislich gibt es Studien, die zeigen, dass AOV in adäquater Konzentration den oxidativen Schaden und damit verbundene Erkrankungen verringern können (Studien zur Oxidierbarkeit von LDL-Partikeln, epidemiologische Belege wie die Linxian-Studie oder die Female U.S. Nurses Study). Freie Radikale schädigen allerdings nicht grundsätzlich, sondern nur dann, wenn ihre Wirkung nicht neutralisiert werden kann. Diese biologisch unerwünschte Situation resultiert aus dem Überwiegen von prooxidativen gegenüber antioxidativen Faktoren und wird als oxidativer Stress bezeichnet (*Abbildung 1*). Ein Ungleichgewicht in der antioxidativen Regulation ist auch über Ernährungsdefizite möglich, also durch die unzureichende Zufuhr von Nährstoffen mit antioxidativer Wirkung. Weitere Faktoren, die einen oxidativen Stresszustand begünstigen, sind metabolisch aktive Prozesse wie Entzündungen, Traumen und Operationen, starke Stressbelastung sowie die Exposition gegenüber Umweltnoxen (z.B. Ozon, UV-Strahlung, Nikotin, Alkohol, Pestizide, Blei, Quecksilber, Zytostatika) (*Abbildung 1*). Es ist experimentell wie auch epidemiologisch belegt, dass anhaltender oxidativer Stress langfristig chronische Erkrankungen und Alterungsprozesse auslöst oder in ihrer Entwicklung beschleunigt (Tumorerkrankungen, arteriosklerotische Herzkreislauferkrankungen, Altersdiabetes, chronisch degenerative Erkrankungen des ZNS, der Lunge, des Intestinums, der Gelenke und des Auges). Aus diesem Grunde gewinnt die diagnostische Beurteilung und therapeutische Beeinflussung des oxidativen Stresses, nicht zuletzt bei Lebensstilbewussten und Sport treibenden Personen, zunehmend an Bedeutung.

*Universitätsklinikum Freiburg/Brsg.
Medizinische Klinik, Abt. Rehabilitative und Präventive Sportmedizin
Ärztlicher Direktor Prof. Dr. H.-H. Dickhuth

Energiezufuhr und oxidativer Stress im Sport

Plasma-TBARS-Konzentration bei Sportler/innen unterschiedlicher Disziplinen

Angaben als Mittelwerte ± Standardabweichung

Sportler	n	TBARS (µmol/l)
Kontrollgruppe	8	2,66/0,27
Anaerobes Training	9	2,69/0,21
Ausdauertraining	48	2,61/0,47
Gemischtes Training	27	2,62/0,46
Sportlerinnen		
Kontrollgruppe	8	3,01/0,27
Anaerobes Training	4	2,93/0,31
Ausdauertraining	21	3,06/0,60
Gemischtes Training	9	2,89/0,52

Es zeigten sich keine Unterschiede in den TBARS-Konzentrationen für die untersuchten Gruppen in Abhängigkeit von Geschlecht, Sportart und Energiezufuhr (ANOVA)

Rousseau AS et al (2004), Br J Nutr 92: 461–468

Abbildung 2: Untersuchungen zum AOV-Status bei Sportlern und Normalpersonen zeigen meist keine signifikanten Unterschiede in den Markern zum oxidativen Stress in Abhängigkeit der Trainings- und Ernährungsanamnese.

Warum stellt sich für Sportler die Frage zum Schutz vor oxidativem Stress?

Intensive körperliche Aktivität ist nachweislich mit der vermehrten Bildung von freien Radikalen verbunden. Eine Vielzahl aktueller Studien beschreibt so den Nachweis von indirekten Stoffwechselprodukten (Malondialdehyd, TBARS, oxy-LDL-AK u.a.) im Blut nach vorausgegangener intensiver Belastung. Entsprechend der belastungsinduzierten Radikalbildung ist dies grundsätzlich auch mit der Gefahr von oxidativem Stress, das heisst einem akuten oder auch chronischen Missverhältnis zwischen Radikalbildung und Radikalneutralisierung, verbunden. Da freie Radikale biologische Strukturen schädigen und so deren Eigenschaften negativ verändern, besteht die Möglichkeit, dass freie Radikale auch ungünstigen Einfluss auf zelluläre und plasmatische Faktoren der körperlichen Leistungsfähigkeit nehmen.

Auch beim Sportler schädigen freie Radikale nicht grundsätzlich, sondern nur dann, wenn sie oxidativen Stress verursachen. Da oxidativer Stress krankheitsauslösend ist, muss gefragt werden, ob Sportler sich über ihre körperliche Aktivität als Personengruppe mit potenzieller Dauerexposition zu oxidativem Stress möglicherweise einem erhöhten Gesundheitsrisiko aussetzen. Auch wenn es hierzu epidemiologisch keine Beweise gibt, wird zunehmend über dieses mögliche Risiko und darüber diskutiert, ob für Sportler zur Erreichung optimaler Plasmaspiegel an antioxidativ wirkenden Vitaminen neben einer vollwertigen und an Obst und Gemüse reichen Ernährung zusätzliche AOV-Nahrungsergänzungen notwendig sind und ob schliesslich über eine AOV-Supplementierung auch eine Verbesserung der muskulären Leistungsfähigkeit erzielt werden kann.

Oxidativer Stress und körperliche Aktivität

Intensive körperliche Aktivität ist zweifellos mit vermehrter Bildung von freien Radikalen und dem Nachweis von Markern für oxidativen Stress (OS) verbunden. Andererseits zeigen aktuelle Untersuchungen zum AOV-Status bei Sportlern und Normalpersonen keine einheitlichen Ergebnisse und so oftmals auch keine signifikanten Unterschiede in den bestimmten OS-Markern in Abhängigkeit der Trainingsanamnese (*Abbildung 2*). Am ehesten scheint dies damit erklärbar, dass wiederholte, vor allem submaximale Belastungen den enzymatischen Schutz der Gewebe vor dem Angriff durch freie Radikale erhöhen und die meisten der hoch belasteten Organe wie die Skelettmuskulatur sich so gegen den belastungsinduzierten oxidativen Stress endogen zu schützen wissen. So ist belegt, dass Organe mit hohem aerobem Stoffwechselumsatz (Muskel, Herz, Leber) über anpassungsfähige Schutzeinrichtungen verfügen und diese bei entsprechender Stressexposition exprimieren können (*Abbildung 3*). Zusätzlich zur Regulation über die körpereigenen Schutzsysteme muss natürlich auch die Beeinflussung der antioxidativen Regulation durch Nährstoffe beachtet werden. Eine verbesserte Versorgung an AOV kann grundsätzlich über die Lebensmittelauswahl sowie die mögliche Zufuhr von Nahrungssupplementen erreicht werden. Unabhängig von der Art der Versorgung sollten Sportler als Personengruppe mit erhöhter Exposition zu oxidativem Stress auf eine optimierte Zufuhr an AOV achten, um darüber eine entsprechend ausreichende AOV-Konzentration im Plasma zu erreichen. Problematisch erscheint allerdings, dass in durchgeführten Regressionsanalysen AOV-Zufuhr und AOV-Plasmaspiegel oft nur unbefriedigend oder mit sehr grosser Streuung miteinander korrelieren.

Bei den in unserer Region (Deutschland, Österreich, Schweiz) üblichen Ernährungsgewohnheiten wird die zur Optimierung der Plasmaspiegel postulierte Vitaminaufnahme (75–150 mg für Vitamin C, 15–30 mg für Vitamin E und 2–4 mg für Betacarotin pro Tag)

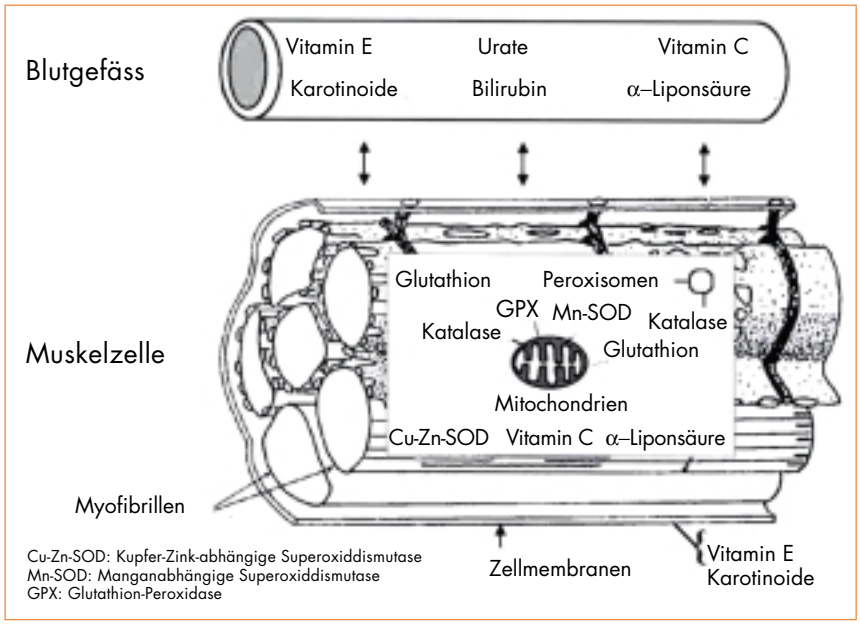

Abbildung 3: Organe mit hohem aeroben Stoffwechselumsatz wie die Skelettmuskulatur verfügen über anpassungsfähige zelluläre wie auch plasmatische Schutzeinrichtungen; zusätzlich zu den körpereigenen Schutzsystemen sind die Effekte der antioxidativ wirksamen Nährstoffe eher beschränkt.

Zufuhr von AOV bei männlichen Ausdauersportlern
n = 67, Ergebnisse aus 7-Tage-Ernährungsprotokollen
im Vergleich zu aktuellen Zufuhrempfehlungen (E)

Nährstoff	mittl.	min.	max.	E-Dach	E-Schutz
Vit. E (mg/Tag)	15,1	6,7	36,5	15	23
Vit. C (mg/Tag)	202	50	480	100	145
β-Carotin (mg/Tag)	3,8	1,3	9,2	2–4	3,2

Berg et al. 1997

Abbildung 4: Die von den Fachgesellschaften (D.A.CH.) empfohlenen AOV-Tageszufuhren werden von Sportlern im Gruppenmittel, nicht aber im Einzelfall erreicht. Kritisch wird es, wenn eine als optimal angesehene AOV-Zufuhr erreicht werden soll.

bei Normalpersonen wie auch bei Sportlern oft nicht erreicht (*Abbildung 4*). Da sich die AOV-Plasmaanalytik der klinisch-chemischen Routine entzieht, liegen die dazugehörigen AOV-Plasmaspiegel in der Regel nicht vor. Es wird aber davon ausgegangen, dass eine ausgewogene und vollwertige Ernährung diejenige Vitaminzufuhr garantiert, die für eine Optimierung des Plasmaspiegels bei gesunden Erwachsenen ohne spezielle Stressexposition notwendig ist. Eine ausgewogene Ernährung, reich an Obst und Gemüse, garantiert zusätzlich zur Aufnahme von AOV auch die Zufuhr einer Vielzahl von sekundären Pflanzenstoffen (ca. 1 g pro Tag), die aufgrund ihrer antioxidativen Wirkung (Carotinoide, Polyphenole, Protease-Inhibitoren, Phytoöstrogene, Sulfide, Lektine) ebenfalls als physiologisch bedeutend für die Radikalinaktivierung eingestuft werden müssen.

Da Daten über die Bilanzierung zu antioxidativen Vitaminen bei Sportlern fehlen, werden entsprechend den Empfehlungen der Konsensuskonferenz «Antioxidative Vitamine in der Prävention» für Sporttreibende wie bei Risikogruppen zum Schutz vor möglichen Schädigungen durch freie Radikale Zufuhren für Vitamin C von über 100 mg, für Vitamin E im Bereich von 23–100 mg und für Betacarotin von über 4 mg empfohlen (*Abbildung 4*). Allerdings sollten dabei nicht Tagesdosierungen überschritten werden, für die aufgrund epidemiologischer Studien nicht auch eine Unbedenklichkeit bei Langzeiteinnahme ausgesprochen werden kann: 1 g Vitamin C, 400 mg Vitamin E, 10 mg Betacarotin pro Tag. Zudem sollte ein ausgewogenes Verhältnis der Nährstoffe Vitamin E: Vitamin C:Betacarotin angestrebt werden; vorgeschlagen wird hier ein Verhältnis von 1:2:0,1 (z.B. 30 mg Vit. E + 60 mg Vit. C + 3 mg Betacarotin).

Gleichzeitig warnen die Experten davor, über exogene Eingriffe (Supplemente) einseitig in das komplexe und ausbalancierte Gleichgewicht des antioxydativen Schutzsystems zum Elektronentransport (Quenching-Reaktion) einzugreifen, da hierdurch auch paradoxe Nebenwirkungen erzeugt werden können (*Abbildung 5*). Im Gegensatz zur nachgewiesenen gesundheitsförderlichen Wirkung einer gesunden Lebensweise mit reichlich frischem Obst und Gemüse, Seefisch und Olivenöl, Beschränkung von Fleisch und gesättigten Fettsäuren gibt es derzeit keine gesicherte Evidenz, dass eine zusätzliche Substitution von AOV zur Prävention oder Behandlung chronischer Erkrankungen sinnvoll beiträgt. Nebenwirkungen können insbesondere bei hoch dosierter Einnahme lipophiler AOV nicht ausgeschlossen werden.

Können AOV den Leistungs- oder Gesundheitszustand von Sportlern verbessern?

Zahlreiche Studien haben eine Verbesserung der muskulären Leistungsfähigkeit nach Gabe von AOV, vorrangig Vitamin E, zu beschreiben versucht. Seriöse Übersichtsarbeiten zu der Hypothese, AOV verbesserten die muskuläre Leistungsfähigkeit, bestätigen diese Aussage jedoch nicht. Für die mögliche positive Wirkung auf die muskuläre Leistungsfähigkeit wurden vor allem Mechanismen wie eine verminderte Lipidperoxidation, eine erhöhte Membranstabilität, ein verbesserter Elektronentransport, eine verbesserte Sauerstoffnutzung und eine erhöhte Laktatelimination in der Muskelzelle und deren Strukturen verantwortlich gemacht. Liegen keine negativ wirksamen Faktoren (z.B. hohes Lebensalter, Fehlernährung, Hypoxie, Hypercholesterinämie, Diabetes mellitus) oder strukturelle Störungen im Regulationssystem der mitochondrialen Oxidation und der aeroben Leistungsfähigkeit vor, so ist die These, AOV verbesserten die muskuläre Leistungsfähigkeit, sehr unwahrscheinlich, die Datenlage dazu entsprechend weit gehend negativ.

Ähnlich wie die These zur Leistungsfähigkeit ist auch die These einer verbesserten Belastbarkeit nach AOV-Supplementierung umstritten, die

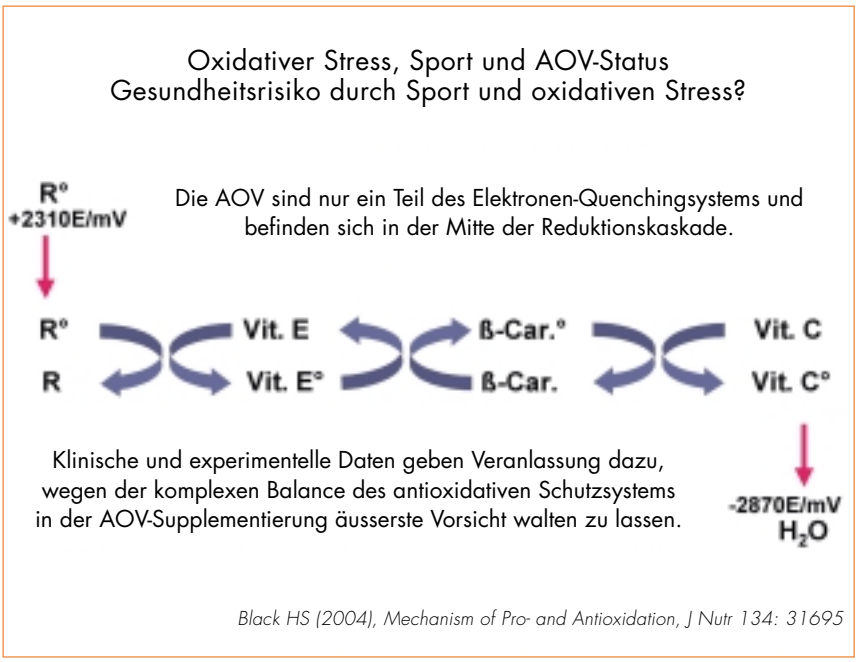

Abbildung 5: Im komplexen und ausbalancierten System des Elektronen-Quenching stellen die über AOV vermittelten Reaktionen nur einen Teil der Gesamtreaktionskette dar.

Datenlage hierzu nicht konsistent; weitere kontrollierte und mit besserem Design erhobene Ergebnisse sind zwingend notwendig. Die oftmals formulierte Verknüpfung von AOV-Status, Peroxidationsrate und muskulärer Belastungsreaktion ist sicherlich eine unzureichende Vereinfachung des zellulären Reglersystems der muskulären Belastbarkeit. Grundsätzlich werden auch im Bereich der muskelzellulären Belastbarkeit Wirkmechanismen über eine verminderte Lipidperoxidation und eine damit verbundene Verbesserung der Membranstabilität, eine erhöhte Wirksamkeit von Schutzenzymen, eine Verringerung der belastungsinduzierten Muskelschädigung und Verringerung der belastungsinduzierten Hämolyse erklärt. Untersuchungen an gesunden Sportlern zeigen allerdings bisher nicht, dass Sportler mit höheren Vitamin-E- beziehungsweise AOV-Plasmaspiegeln auch eine signifikant geringere belastungsinduzierte Lipidperoxidationsrate oder eine geringere Muskelstressreaktion aufweisen.

Die dritte Frage zur möglichen Wirkung von AOV im Leistungssport zielt auf die Verhinderung von sportbegleitenden und vom Sport unabhängigen chronischen Erkrankungen bei Sportlern. Über die bereits genannten Mechanismen soll der Sportler danach bei guter Versorgung mit AOV Vorteile in der Gesunderhaltung haben. Diese allgemeine These zum Gesundheitsbenefit ist nach dem heutigen epidemiologischen Ansatz wahrscheinlich, die Datenlage für den speziellen Bereich Sport aber unzureichend. Der angenommene Wirkansatz entspricht dem der Prävention in der Gesamtbevölkerung, kontrollierte prospektive Studien bei Sportlern existieren jedoch nicht. Positive Ergebnisse bei Sportlern liegen nur zur verringerten Lipidperoxidationsneigung und zur verringerten Infektneigung vor.

Praktische Konsequenz

Da Sportler zu den Personengruppen mit möglicher Exposition zu oxidativem Stress gezählt werden, wird Sportlern eine optimierte Zufuhr von AOV zur Sicherung des pro-/antioxidativen Gleichgewichts empfohlen. Eine Verbesserung der muskulären Leistungsfähigkeit beim gesunden Sportler durch AOV ist allerdings nicht zu erwarten. Ebenso ist der Effekt einer Reduzierung von Muskelstresssymptomen oder der belastungsinduzierten Akutreaktion durch die exogene Beeinflussung der antioxidativen Regulation über die gezielte Zufuhr von AOV bei Leistungssportlern nicht ausreichend gesichert. Über die Stabilisierung des pro-/antioxidativen Gleichgewichts ist wie für die breite Bevölkerung auch für Sportler ein langfristiger Gesundheitsvorteil im Sinne der Prävention anzunehmen. Allerdings ist extreme Vorsicht bei exogenem Eingriff durch Supplemente auf das biologische System der antioxydativen Regulation geboten. ■

Korrespondenzanschrift:
Prof. Dr. Aloys Berg
Universitätsklinikum Freiburg
Medizinische Klinik, Abt. Prävention,
Rehabilitation und Sportmedizin
Hugstetter Str. 55, D-79106 Freiburg
E-Mail: berg@msm1ukl.uni-freiburg.de

Literatur:
Aktuelle Literatur zum Thema ist auf Wunsch beim Verfasser erhältlich.