Eisen im Sport – oft zu wenig, gelegentlich aber auch zu viel!

Eisenmangel – der am häufigsten auftretende Mikronährstoffmangel – kann die Leistungsfähigkeit des Organismus je nach Ausprägung erheblich beeinträchtigen, denn das essenzielle Spurenelement ist als Bestandteil von Hämoglobin, Myoglobin und verschiedenen Enzymen für den Energiestoffwechsel unverzichtbar. Da der Eisenbedarf bei Sportlerinnen und Sportlern – vor allem wenn Ausdauersport betrieben wird – etwas höher ist als bei der Durchschnittsbevölkerung, ist Eisenmangel hier ein häufiges Problem. Vor der Einleitung therapeutischer Massnahmen sollte die Diagnose jedoch durch Messung geeigneter hämatologischer Parameter sichergestellt sein. Eisensupplemente sollten nur vorsichtig und möglichst unter ärztlicher Kontrolle verwendet werden.

German E. Clénin

Eisenstoffwechsel

Eisen spielt als Bestandteil von Hämoglobin, Myoglobin und zahlreichen Enzymen eine wichtige Rolle im Energiestoffwechsel. Gleichzeitig ist Eisenmangel weltweit der am meisten verbreitete bekannte Mangel eines einzelnen Nährstoffes. Genauso unerwünscht wie der Mangel ist auch die Überladung des Organismus mit diesem Mineralstoff, um toxische und pathophysiologisch unerwünschte Effekte zu vermeiden (1).

Der Körper enthält etwa 3 bis 5 g Eisen oder 35 bis 60 mg/kg Körpermasse. Etwa zwei Drittel davon sind im Hämoglobin gebunden. Des Weiteren stehen etwa 1000 bis 1500 mg Eisen als effektives Speichereisen im Leberparenchym sowie in den retikuloendothelialen Zellen von Leber, Milz und Knochenmark zur Verfügung. Das Plasma enthält nur rund 4 mg Eisen. Über den Erythrozytenauf- und -abbau werden rund 20 mg Eisen umgesetzt, dies allerdings ohne dass relevante Eisenmengen verloren gehen. Der Verlust beträgt beim Mann und der nicht menstruierenden Frau etwa 1 mg/Tag, was etwa der täglichen Eisenaufnahme entspricht. Da der Körper nicht fähig ist, Eisen aktiv auszuscheiden, entstehen diese Verluste durch die Desquamation von Darmmukosa- und Hautzellen sowie geringe Verluste im Schweiss. Grössere Eisenverluste treten nur bei Blutungen auf, wobei 100 ml Blut rund 50 mg Eisen enthält. Mit einer Menstruation von 25 bis 60 ml Blut verliert die Frau monatlich zusätzlich 12 bis 30 mg Eisen, umgerechnet auf den täglichen Verlust also zusätzlich 0,5 bis 1 mg/Tag (1, 2).

Eisen in der Nahrung – Vorkommen und Absorption

Eisen kann in drei Formen, als Hämeisen (in Fleisch), als Fe^{2+} und Fe^{3+}, aufgenommen werden. Hämeisen wird am besten absorbiert, beim freien Eisen (oder «Nicht-Hämeisen») wird das zweiwertige besser als das dreiwertige aufgenommen. Fleisch, Leber, Geflügel oder Fisch enthalten sowohl Hämeisen wie freies Eisen. Pflanzliche Nahrung enthält hingegen nur freies Eisen. Die Bioverfügbarkeit ist sehr variabel, durchschnittlich werden 5 bis 15 Prozent aufgenommen. Die Eisenabsorption wird durch andere intraluminal vorhandene Nahrungsbestand-

Sportstudierende beim 12-Minuten-Lauf

Tabelle:

Enhancer (erhöhen die Eisenaufnahme)	Inhibitoren (hemmen die Eisenaufnahme)
– Vitamin C (Zitrusfrüchte, Früchte, Fruchtsäfte, Salat, suppl. Vitamin C)	– Phytate (Zerealien, Sojaprodukte etc.)
– Peptide aus partiell verdautem Fleisch	– Oxalat (z.B. Spinat)
– Gegärte Lebensmittel	– Polyphenolverbindungen (Schwarztee und Kaffee)
– Organische Säuren (z.B. Malat, Citrat)	– Peptide aus partiell verdauten pflanzl. Proteinen

teile (*siehe Tabelle:* Enhancer und Inhibitoren), die Mukosazellen des Duodenums und Jejunums sowie den Eisenstatus im Körper wesentlich mitbestimmt. Dies erklärt die täglichen Richtwerte der Eisenzufuhr von 8 bis 10 mg für den Mann beziehungsweise 15 bis 18 mg für die Frau. Der Eisenstatus bestimmt die Bioverfügbarkeit des Eisens mit, die Absorption kann der Versorgungslage des Organismus angepasst werden (1).

Hämatologische Parameter

Bei der Diagnose eines möglichen Eisenmangels sind die folgenden hämatologischen Parameter hilfreich: Hämoglobin (g/l, früher g/dl) als Blutfarbstoff und Hämatokrit (%) als der Prozentsatz fester Bestandteile im Blut geben Auskunft über das Vorliegen einer Anämie. Die Erythrozytenindizes und dabei speziell das MCV (mean cellular volume in fl) und das MCH (mean cellular hemoglobin in pg) charakterisieren die roten Blutkörperchen. Bei einem fortgeschrittenen Eisenmangel erwarten wir eine Anämie mit einem mikrozytären (MCV erniedrigt) und hypochromen (MCH erniedrigt) Blutbild.

Das Ferritin (µg/l) ist der beste Parameter, um eine Aussage über das Speichereisen machen zu können. 1 µg/l Serumferritin entspricht 8 bis 10 mg Speichereisen. Beim Eisenmangel finden wir tiefe Ferritinwerte. Ferritin ist aber auch ein Akutphasenprotein und bei Infekten, Leber- und Tumorerkrankungen erhöht, ohne dass die Eisenspeicher entsprechend gefüllt wären. Deshalb sollten immer gleichzeitig das CRP (C-reaktive Protein) und eventuell die Leberparameter mitbestimmt werden. Auch wurden Erhöhungen des Ferritins nach sportlicher Leistung beobachtet. Gemäss der Arbeit von Schumacher et al. (5) ist dies vor allem durch die bei sportlichen Aktivitäten auftretende Hämokonzentration und teilweise auch durch eine leichte mit der sportlichen Leistung verbundene Akutphasenreaktion (Zelldestruktion und entzündungsähnliche Reaktion) bedingt (4–6). Andererseits sollte ein erhöhter Ferritinwert (> 300 µg/l) immer im Hinblick auf eine Eisenüberladung abgeklärt werden.

Das Serumeisen unterliegt einer zirkadianen Rhythmik und zeigt auch starke Tagesvariationen. Dieser Parameter hat in der First-Line-Diagnostik keinen Platz mehr (3).

Als interessanter neuerer Parameter findet sich dagegen der lösliche Transferrinrezeptor (sTfr) – soluble Transferrin receptor. Der Transferrinrezeptor kontrolliert die Eisenaufnahme im Gewebe. Der sTfr als Proteolyseprodukt des Ersteren lässt also direkt auf den Eisenbedarf des Gewebes schliessen. Deshalb wird er auch als Marker für das funktionelle Kompartiment bezeichnet. Da der sTfr bei sportlicher Aktivität nur geringgradig ansteigt und im Gegensatz zum Ferritin kein Akutphasenprotein ist, kann dieser Parameter sowohl im Sport als auch bei gleichzeitig vorliegenden entzündlichen Zuständen sehr hilfreich sein. Trotz mittlerweile existierenden Normwerten ist aber aus eigener Erfahrung eine schlüssige Interpretation der sTfr-Werte nicht immer möglich. So kann der sTfr als zusätzlicher Parameter neben dem Ferritin die Abklärung bei Anämie oder bei Suche nach einem Eisenmangel ergänzen (1, 3, 5).

Eisenversorgung und Bedarf bei Athleten

Der Eisenbedarf bei Athletinnen und Athleten, speziell im Ausdauersport, liegt etwas höher als bei der Durchschnittsbevölkerung. So zeigte sich beispielsweise bei Läufern ein täglicher Eisenverlust von 2 mg, bedingt durch vor allem inapparente gastrointestinale Verluste.

Dass eine Anämie, definiert als eine Erniedrigung des Hämoglobinwertes, zu einer Leistungsbeeinträchtigung führt, ist allgemein anerkannt. Die Frage, inwiefern tiefe Eisenspeicherwerte ohne Blutarmut die physische Leistungsfähigkeit beinflussen, wird aber kontrovers beurteilt. So zeigten die Studien von Klingshirn, Newhouse und Fogelholm keine Leistungsbeeinträchtigung bei Ferritinwerten unter 20 µg/l und normalen Hämoglobinwerten (7–9). Brownlie et al. und Hinton et al. zeigten aber, dass bei einem Eisenmangel ohne Anämie mit einer Eisensupplementierung die aerobe Kapazität signifikant verbessert werden konnte (10, 11). Interessant ist, dass bei den genannten Arbeiten die Interventionsgruppen gegenüber den Kontrollgruppen jeweils auch einen zum Teil signifikanten Anstieg des notabene vor Intervention «im Normbereich» liegenden Hämoglobins zeigen. Dies lässt an die Notwendigkeit einer intraindividuellen Beurteilung und Therapie denken (1). In einer weiteren Arbeit von Brownlie et al. zeigte sich eine Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme ($VO_{2\,max}$) nach Eisensupplementierung bei vormals deutlich erniedrigtem funktionellem Eisenspeicher (sTfr > 8mg/l; Ferritin bei 6 bis 10 µg/l) ohne gleichzeitige Erhöhung des Hämoglobins (12).

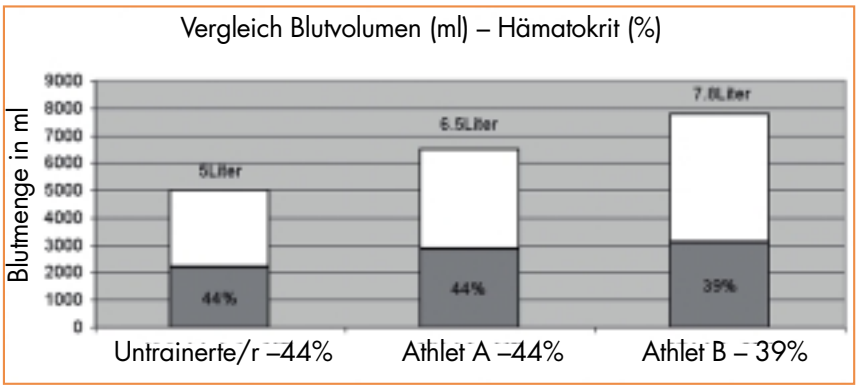
Bei einem Ferritinwert von 20 µg/l kann von einem latenten und bei Werten zwischen 20 und 30 µg/l von einem prälatenten Eisenmangel gesprochen werden. Für Leistungssportler mit erhöhtem Turnover der Erythrozyten und aufgrund der erhöhten, vor allem gastrointestinalen Verluste sollten deshalb sicherlich Werte über 30 µg/l angestrebt werden. Für eine weitere Eisensubstitutionen auf «Vorrat» gibt es allerdings auch im Leistungssport keine wissenschaftliche Evidenz (16, 18). Ganz im Gegenteil ist der in der Sportpraxis beobachteten fast zu sorglosen Eiseneinnahme ohne vorgängige Diagnostik aufgrund der Nebenwirkungen entgegenzutreten (17, 18).

Ein Spezialfall bezüglich Eisenversorgung und -bedarf im Sport bildet die Höhentrainingssituation. Unter hypoxischen Bedingungen kann aufgrund der deutlich gesteigerten Erythropoese ein unterer Grenzwert fürs Ferritin von > 50 µg/l vorgeschlagen werden. Gleichzeitig sollte eine parallele Eisensubstitution bereits eine Woche vorher und für die gesamte Dauer des Höhentrainingslagers durchgeführt werden, damit die Eisenverfügbarkeit mit der erhöhten Pro-

duktion der Erythrozyten Schritt halten kann und sich die Eisenspeicher nicht entleeren (1, 20).

«Pseudoanämie des Ausdauersportlers»

Einen Spezialfall der Erniedrigung von Hämoglobin und Hämatokrit ohne eigentliche Blutarmut stellt die so genannte «Pseudoanämie des Ausdauersportlers» dar (dilutional pseudoanemia). Durch eine Vermehrung des Plasmavolumens werden beim Ausdauersportler sowohl der Hämatokrit wie auch das Hämoglobin gesenkt. Als wichtiges Kennzeichen gilt: Alle blutbildenden Parameter und auch die Erythrozytenindizes sind normal (13, 14). Während ein Mann von 70 Kilogramm Körpergewicht in der Regel 5 Liter Blut aufweist, kann die Vermehrung des Plasma- und des Erythrozytenvolumens bei Eliteathleten das totale Blutvolumen bis auf 8,5 Liter ansteigen lassen. Dies hat nun wiederum für den Ferritinwert Bedeutung: Bei einem hohen Plasmavolumen stehen tiefnormale Werte in µg/l Serum noch für einen relativ guten Status der Eisenspeicher (18).



Ein Athlet A mit einem Hämatokrit von 44% mit 6,5 Litern Blutvolumen hat nicht nur ein deutlich höheres Blutvolumen als ein Untrainierter mit dem gleichen Hämatokrit, sondern auch mehr Hämoglobinmasse bzw. Erythrozytenvolumen (= graue Fläche). – Der weitere Vergleich mit Athlet B, der 7,8 Liter Blutvolumen und einen wirklich tiefen Hämatokrit von 39% aufweist, zeigt, dass Athlet B noch mehr Hämoglobinmasse bzw. Erythrozytenvolumen hat als Athlet A. Athlet B hatte jedoch mit diesem Hämatokrit von nur 39% und einem ebenfalls tiefen Hämoglobin von 13,7 g/dl eine Pseudoanämie.

Eisen – auch ein «heisses» Eisen

Die «Eisenüberladung» ist für den Organismus, wie man weiss, aus verschiedenen Gründen schädlich: So muss zur Verhinderung einer Eisenüberversorgung die maximal tägliche Zufuhr, also der UL-Wert (UL = Upper Limits), beachtet werden. Mit der normalen Ernährung kann der UL-Wert nicht erreicht werden, mit einer Supplementierung hingegen schon. Aufgrund der Redoxeigenschaft von Eisen, also der Fähigkeit, einfach Elektronen zu akzeptieren und wieder freizugeben, wird auch die Bildung freier Radikale katalysiert. Diese freien Radikale können dann zum Beispiel in den Darmmukosazellen ihre toxische Wirkung entfalten und so das Risiko für Dickdarmkrebs erhöhen (19).

Im Schweizer Spitzensport ist Eisen einer der am stärksten überdosierten Mineralstoffe (17). So wiesen 30 Prozent der Frauen und 11 Prozent der Männer eine Eisenzufuhr auf, die über dem UL-Wert lag (17). Neben dem Risiko, bei genetischer Prädisposition durch Einlagerung von Eisen unter anderem in parenchymatösen Organen eine Hämochromatose zu entwickeln, kann sich durch einen exzessiven Eisenkonsum auch bei nichtprädisponierten Personen eine Eisenüberladung einstellen. Bei permanenter Eiseneinnahme per os können so Schäden an der Darmmukosa entstehen. Darüber hinaus wird das so genannte «Mukosablock-Phänomen» diskutiert; hierbei kann eine Eisengabe die Absorption einer nachfolgenden Dosis reduzieren. Dies sind zwei Gründe, um bei einer länger dauernden (mehr als zweimonatigen) Eisentherapie intermittierend, also zum Beispiel nur an zwei Tagen pro Woche, zu substituieren. Als weitere Nebenwirkung kommt es zu einer Kompromittierung des beim Leistungssportlers bereits leicht herabgesetzten Immunsystems (1, 18).

Orientierungsläufer im Zieleinlauf

Eisentabletten sind in jeder Apotheke der Schweiz ohne Rezept erhältlich. Die Tatsache, dass die akzidentelle Einnahme einiger Tabletten bei Kindern genügt, um eine schwere, ja lebensbedrohliche Intoxikation hervorzurufen, spricht für sich. Als Nebenwirkungen oraler Präparate können leichte gastrointestinale Erscheinungen wie Obstipation, Übelkeit, Erbrechen, Durchfall auftreten. Der Stuhlgang verfärbt sich bei regelmässiger Einnahme von Eisentabletten schwarz. Für die intravenöse Gabe von Eisen-III-Saccharose (Venofer®) finden sich im «Arzneimittel-Kompendium der Schweiz» 2006 folgende «Warnhinweise und Vorsichtsmassnahmen»: «... Potenziell fatale Überempfindlichkeitsreaktionen mit Kreislaufkollaps, Bewusstseinsverlust, Blutdruckabfall, Atemnot oder Krampfanfall sind in seltenen Fällen bei Behandlung mit Venofer® berichtet worden. … Deshalb sollte die Infusion nur in Einrichtungen vorgenommen werden, wo die Möglichkeit zur kardiopulmonalen Reanimation gegeben ist. Blutdruckabfälle wurden häufig im Zusammenhang mit der intravenösen Verabreichung von Eisen beobachtet. Deshalb sollte die Infusion mit Vorsicht verabreicht werden» (15). Die intravenöse Gabe ist als Kurzinfusion in korrekter Verdünnung gemäss Kompendium nebenwirkungsärmer als die direkte i.v-Gabe.

Iron supplementation in athletes: first do not harm! (18)

Generell lassen sich folgende Merkpunkte festhalten:

- Eisenmangel ist im Sport ein häufiges Problem und aufgrund der zentralen Funktion des Eisens als wichtiger Bestandteil von Hämoglobin, Myoglobin und Enzymen ernst zu nehmen und sollte aktiv gesucht werden.
- Als Verhaltens- und diätetische Massnahmen für eine bessere Eisenaufnahme sollte Folgendes beachtet werden: adäquate Energieaufnahme; regelmässiger Fleisch-, Geflügel- oder Fischkonsum (Hämeisen!) mindestens drei- bis viermal pro Woche; statt Tee und Kaffee ein Glas Orangensaft oder eine Zitrusfrucht zum Frühstück; inhibitorenreiche Nahrungsmittel meiden; Vollkornprodukte verwenden. Vegetarier sollten auf eine hohe Eisenaufnahme durch Zufuhr eisenreicher Lebensmittel (grüne Gemüse, Leguminosen) achten.
- Bestätigt sich der Eisenmangel aufgrund der Laborbefunde, sollte je nach Befund und Dringlichkeit Folgendes kombiniert werden:
  1. Verhaltensmassnahmen
  2. Diätetische Anpassungen
  3. Orale Substitution mit einem dosisangepassten Präparat
- Ist der Eisenmangel therapierefraktär oder besteht eine Dringlichkeit, kann eine intravenöse Substitution erwogen werden. Die intravenöse Substitution soll aufgrund der zwar nur gelegentlich bis selten auftretenden, aber potenziell gefährlichen Nebenwirkungen (bis zur anaphylaktoiden Reaktion!) nur mit klarer Indikation und in einem medizinischen Setting erfolgen.
- Die Nebenwirkungen einer Eisenüberversorgung sind ernst zu nehmen, und eine Eisentherapie sollte deshalb weder unkontrolliert noch auf Vorrat erfolgen. ■

Danksagung: Herzlichen Dank an Samuel Mettler für das Gegenlesen des Manuskriptes!

Korrespondenzadresse:
G.E. Clénin Dr. med. MME
Leitender Arzt Sportmedizin und Leistungsdiagnostik
Swiss Olympic Medical Center
Eidg. Hochschule für Sport
2532 Magglingen
E-Mail: german.clenin@baspo.admin.ch

Literatur:

1. Mettler S: Ferrum – ein Mineralstoff im Sport. Schweiz Z Sportmed Sporttraumatol 2004; 52; 105–114.
2. Andrews NC: Disorders of iron metabolism. £N Engl J Med 1999; 341; 1986–1995.
3. Thomas L: Labor und Diagnose. TH-Books Verlagsgesellschaft, Frankfurt, 2000.
4. Schumacher YO, Schmid A, Gratwohl D, Bultermann D, Berg A: Hematological indices and iron status in athletes of various sports and performances. Med Sci Sports Exerc 2002; 34; 869–75.
5. Schumacher YO, Schmid A, König D, Berg A: Effects of exercise on soluble transferrin receptor and other variables of the iron status. Br J Sports Med 2002; 36; 195–200.
6. Pattini A, Schena F, Guidi CG: Serum ferritin and serum iron changes after cross-country and roller ski endurance races. Eur J Appl Physiol 1990; 61; 55–60.
7. Fogelholm M, Jaakkola L, Lampisjarvi T: Effects of iron supplementation in female athletes with low serum ferritin concentration. Int J Sports Med 1992; 13; 158–62.
8. Klingshirn LA, Pate RR, Bourque SP, Davis J M; Sargent RG: Effect of iron supplementation on endurance capacity in iron-depleted female runners. Med Sci Sports Exerc 1992; 24; 819–24.
9. Newhouse IJ, Clement DB, Taunton JE, McKenzie DC: The effects of prelatent/latent iron deficiency on physical work capacity. Med Sci Sports Exerc 1989; 21; 263–68.
10. Brownlie T, Utermohlen V, Hinton PSF, Giordano C, Haas JD: Marginal iron deficiency without anemia impairs aerobic adaptation among previously untrained women. Am J Clin Nutr 2002; 75; 734–42.
11. Hinton PS, Giordano C, Brownlie T, Haas JD: Iron supplementation improves endurance after training in iron-depleted, nonanemic women. J Appl Physiol 2000; 88; 1103–11.
12. Brownlie T, Utermohlen V, Hinton PS; Haas JD: Tissue iron deficiency without anemia impairs adaptation in endurance capacity among previously untrained women. Am J Clin Nutr 2004; 79; 737–43.
13. Shaskey and Green: Sports haematology. Sports Med 2000; 29; 27–38.
14. Bartsch P, Mairbaurl H, Friedmann B: Pseudoanämie durch Sport. Ther Umsch 1998; 55; 251–55.
15. Arzneimittel-Kompendium der Schweiz 2006, Documed, Basel, 2006.
16. Chatard JC, Muijka I, Guy C, Lacour JR: Anemia and iron deficiency in athletes. Practical recommendations for treatment. Sports Med 1999; 27; 229–40.
17. Colombani PC, Mannhart C: Energie- und Nährstoffaufnahme im Schweizer Spitzensport – eine erste Bestandesaufnahme zu Beginn des zweiten Jahrtausends. Schweiz Z Sportmed Sporttraumat 2003; 51; 7–15.
18. Zoller H, Vogel W: Iron Supplementation in athletes – first do not harm. Nutrition 2004; 20; 615–619.
19. Reddy MB, Clark L: Iron, oxidative stress and disease risk. Nutr Rev. 2004; 62; 120–24
20. Berglund B: High-altitude training. Aspects of haematological adaptation. Sports Med 1992; 14; 289–303.