

Übersicht

Zur Wirkung von Vitaminen und Eisen auf die Leistungs- und Erholungsfähigkeit des Menschen und die Sportanämie*)

J. Keul, E. Jakob, A. Berg, H.-H. Dickhuth und M. Lehmann

Medizinische Universitätsklinik Freiburg, Abteilung Leistungs- und Sportmedizin
(Ärztlicher Direktor: Prof. Dr. Joseph Keul)

Effect of vitamins and iron on performance and recovery in humans and sports anaemia

Zusammenfassung: Im Sport werden häufig Vitamine gemeinsam mit Mineralien, insbesondere Eisen und energieliefernden Substraten, wie Kohlehydraten verabreicht. Zahlreiche Kombinationen mit einzelnen oder verschiedenen Vitaminen in Verbindung mit anderen ergogenen Substanzen wie Eisen oder Elektrolyten werden angeboten. Es ist kein Zweifel, daß Vitamine vielfältige Effekte entwickeln und eine Beziehung zwischen dem Vitaminstatus und der sportlichen Leistungsfähigkeit bestehen muß. Andererseits ist gesichert, daß ein Vitamindefizit einen nachteiligen Einfluß auf die körperliche und mentale Leistung des Menschen hat. Der optimale Energieumsatz kann nur erreicht werden, wenn im Organismus die erforderlichen Wirkstoffe in ausreichendem Maße verfügbar sind. Eisen ist von zentraler Bedeutung unter diesen aktiven Substanzen, da ihm für die Hämoglobinbildung, den Sauerstofftransport, die Kohlendioxidabgabe, für die Funktion des Myoglobins als Sauerstoffdepot und die innere Atmung in der Zelle, insbesondere die Atmungskette, eine Schlüsselfunktion zukommt. Körperliches Training erhöht nicht nur den Hämoglobingehalt des Organismus, die energiereichen Enzyme der Atmungskette und das Myoglobin, sondern kann auch zu Eisenresorptionsstörungen führen. Es ist daher nicht erstaunlich, daß es in jüngster Zeit verschiedene Veröffentlichungen gab, die bei Sportlern einen Eisenmangel nachwiesen. Eisengaben zeigen auch bei normalen Eisenspiegeln in Abhängigkeit von dem Ausgangswert einen deutlichen Eisenanstieg, dessen Maximum nach ungefähr 4 Stunden erreicht wird, wobei die aufgenommene Eisenmenge bei Eisen-Citrat-, Eisen-Succinat- und Eisen-Sulfat-Verbindungen nicht sehr verschieden sind.

Die Auswirkungen eines Eisenmangels können zur Sportanämie führen, die im wesentlichen durch eine Verminderung der aeroben Kapazität mit einer vorzeitigen Lactatazidose, erhöhte Ermüdbarkeit, Appetitminderung, Muskelkrämpfe und Kreislaufregulationsstörungen gekennzeichnet ist.

Summary: In sports, vitamins along with minerals, particularly iron, and the energy nutrients such as carbohydrates, are considered especially important. Frequently single or multiple vitamins in combination with other active substances such as iron, other minerals or carbohydrates are administered. In sports, vitamins are added to carbohydrate mixtures or electrolytes enriched with vitamins are offered and frequently used. There is no doubt that due to the numerous effects of vitamins, a connection must exist between the vitamin status and athletic performance capability.

*) Mit Unterstützung des Bundesinstituts für Sportwissenschaft Köln

It can be concluded that vitamin deficiencies have a negative effect on physical and mental performance.

The release of energy can only attain its maximum output when the organism has the required substances at its disposal.

Iron is of central importance among these active substances, since its presence in haemoglobin is essential for the transport of oxygen and carbon dioxide, makes it possible for myoglobin to function as an oxygen supply depot and guarantees the functioning of internal respiration in the respiratory chain and various key enzymes. Muscle training increases not only the respiratory chain but also several other iron-rich enzymes. This makes even more astonishing the fact that a variety of recently published articles report on iron deficiency among athletes.

The effect of the iron deficiency with anaemia (sports anaemia) is manifest in a reduction of aerobic capacity with an increase in lactate acidosis, greater fatigue, loss of appetite, muscular cramps and vasomotor disturbances.

Schlüsselwörter: Multivitamine, Eisendefizit, Hämoglobin, Sportanämie, Leistungsverhalten

Key words: multivitamins, iron deficiency, hemoglobin, sports anaemia, performance

Im Sport wird den Vitaminen neben den Mineralstoffen, insbesondere Eisen, und den Energieträgern, wie Kohlehydraten, besondere Bedeutung beigemessen. Häufig werden einzelne oder verschiedene Vitamine mit anderen Wirkstoffen, wie Mineralien oder Eisen, aber auch Kohlehydraten, gemeinsam verabreicht. So werden im Sport Kohlehydratgemischen Vitamine beigegeben oder Elektrolyte, die mit Vitaminen angereichert wurden, angeboten und häufig genutzt. Es besteht kein Zweifel, daß aufgrund der vielfältigen Wirkungen der Vitamine ein Zusammenhang zwischen Vitaminstatus und sportlicher Leistungsfähigkeit bestehen muß. Aufgrund von Vitaminmangelzuständen kann geschlossen werden, daß die körperliche und geistige Leistungsfähigkeit nachteilig beeinträchtigt werden kann. Wenn die geistige und körperliche Leistungsfähigkeit sowie das Wohlbefinden des Menschen in hohem Maße von der Art der zugeführten Nährstoffe abhängig ist, müssen die Vitamine in diesem Zusammenhang besonders erwähnt werden. Es gibt auch keine physiologischerweise für den Menschen notwendigen Wirkstoffe, denen so große Bedeutung für die Gesundheit, die Erhaltung und Wiederherstellung der Leistungsfähigkeit und die Regeneration im Bewußtsein der Bevölkerung beigemessen wird wie den Vitaminen. Es muß bedacht werden, daß unter Leistungsvermögen ganz unterschiedliche Vorgänge zusammengefaßt werden und die Leistungsfähigkeit von ganz unterschiedlichen Faktoren abhängig sein kann, wie z. B. mentalen, koordinativen, konzentrativen, motorischen, energetischen u. a. Fähigkeiten. Dies darf bei der Betrachtung über mögliche Beeinflussung der Leistungsfähigkeit durch Gaben von Vitaminen nicht außer acht gelassen werden.

Es mag erstaunlich klingen, daß gerade in der heutigen Zeit vermehrt Vitamine zur Erhaltung bzw. zur Verbesserung der psychophysischen Leistungsfähigkeit angepriesen werden, da der Vitaminbedarf des Menschen in den Zivilisationsländern durch die Nahrung, teils mit Vitaminen angereichert, als ausgewogen betrachtet werden muß. Ein zusätzlich leistungsfördernder Effekt wäre nur dann denkbar, wenn den Vitaminen noch eine zusätzliche pharmakologische Wirkung zukäme. Es ist bemer-

kenswert, daß bei jetzt untersuchten Schweizer Rekruten, die, bezogen auf den Gesundheitszustand, als eine positive Auswahl der Bevölkerung anzusehen sind, eine defizitäre Versorgung mit einigen Vitaminen, z. B. Thiamin, Folsäure, Riboflavin u. a., sowie Eisen nachgewiesen wurde (Stransky u. a., 1982). So zeigten auch Davis und Mitarbeiter (1969) ein Vitamin- und Mineraldefizit auf, wenn man den täglichen Mindestbedarf zugrunde legt. Ferner konnten Hamilton und Whitney (1979) sowie verschiedene andere Studien in den USA ein Defizit für Vitamine des B-Komplexes und A sowie Eisen belegen. Diese Angaben wurden häufig als Grundlage dafür herangezogen, daß auch bei Sportlern ein Vitaminmangel vorliegen könne und eine erhöhte Zufuhr gerechtfertigt sei.

Seit Jahren werden im Sport auf mehr oder weniger theoretischer Grundlage leistungsfördernde Maßnahmen ergriffen. Dabei kommt der Ernährung eine herausragende Bedeutung zu, da sämtliche energieumsetzenden Vorgänge, von denen sportliche Leistungen abhängig sind, durch die Ernährung beeinflußt werden können. Dabei ist zu bedenken, daß die Sportarten sich in einer großen Mannigfaltigkeit zeigen, da sie in ganz unterschiedlicher Weise den Organismus belasten. So werden auf der einen Seite muskuläre Beanspruchungsformen, bei denen die Kraft, z. B. Kugelstoßen, oder die *Schnelligkeit*, z. B. Sprint, den Anstrengungen beim Skilangläufer, wo die *Ausdauer* im Vordergrund steht, gegenübergestellt. Darüber hinaus haben manche Sportarten ihren Schwerpunkt in *mental*en, *konzentrativen* oder *koordinativen* Vorgängen, wie z. B. Schießen, Fallschirmspringen oder Motorrennsport (Tab. 1). Es muß auch bedacht werden, daß die Trainingsumfänge sehr verschieden sein können. So trainiert ein *Breitensportler mehrere Stunden pro Woche*, während der *Leistungssportler mehrere Stunden pro Tag* trainiert. Auch die Trainingsbedingungen stellen Anforderungen an die Ernährung und den Vitaminbedarf, wie z. B. das Höherentraining.

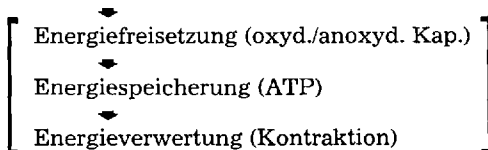
In einer Übersicht legt Williams (1982) dar, daß ungefähr 70 % aller Trainer ihren Athleten Vitamine empfehlen. 84 % von Olympiateilnehmern nehmen Vitamine zusätzlich ein, wobei bevorzugt Multivitamine, Vitamin B₁₂, Vitamin E und Vitamin C angegeben werden. Dabei führen verschiedene Trainer aus, daß es nicht möglich sei, ohne zusätzliche Vitamine und Mineralien den Anstrengungen eines intensiven Leistungstrainings gewachsen zu sein. Diese Praxis ist nicht unwidersprochen geblieben. Ohne Zweifel ist der menschliche Organismus auf eine fortwährende Zufuhr von Vitaminen angewiesen, da der Körper diese Wirkstoffe nicht synthetisieren kann. Bei Sportarten mit einem hohen Energieumsatz, wie z. B. Skilanglauf, Radrennfahren, Bergsteigen u. a., wird auch eine beträchtliche größere Menge an Nährstoffen aufgenommen, so daß zu erwarten ist, daß auch genügend Vitamine mit der Nahrung zugeführt werden. Den exakten Nachweis eines Vitamindefizits bzw. -bedarfs beim Menschen zu ermitteln, ist schwierig, da beim Menschen experimentell Vitaminmangelzustände nicht erzeugt werden können und Vergleiche mit tierexperimentellen Befunden kaum möglich sind, da sie nicht ohne weiteres auf den Menschen übertragen werden können.

Über Zusammenhänge zwischen *Vitamin A* und Leistungsverhalten wurde 1942 von Wald und Mitarbeiter berichtet, die bei 5 Versuchspersonen über eine Zeit von 6 Monaten einen Vitaminmangel zu erzeugen

Tab. 1a. In Abhängigkeit von der Beanspruchung durch die gewählte Sportart sind unterschiedliche leistungslimitierende Schritte anzunehmen. Die meisten sportlichen Beanspruchungsformen werden in ihrer Leistungsfähigkeit durch neuromuskuläre Vorgänge begrenzt. Im Rahmen der energieliefernden Prozesse spielen die Vitamine eine ganz entscheidende Rolle.

Leistungsbegrenzender Faktor?

1. Herz (Herzminutenvolumen)
2. Lunge (Diffusionskapazität)
3. Kapillarbett (Austauschkapazität)
4. Blut (Transportkapazität)
5. Muskel Substrataustausch



6. Speicher, Freisetzung und Anlieferung energieliefernder Substrate und Wirkstoffe
-

Tab. 1 b.

Einflußgrößen der Leistungsfähigkeit des Menschen

1. Genetische Anlage
 2. Training (Art, Umfang, Intensität)
 3. Ernährung
 4. Technik und Taktik
 5. Koordination und Konzentration
 6. Motivation
 7. Umwelt
-

versuchten. Die Untersuchungen über das körperliche Leistungsvermögen, Sauerstoffaufnahme, Herz-Kreislauf-Regulation u. a. ergaben jedoch keine signifikanten Unterschiede, so daß keine Verbesserung des Leistungsvermögens zu erwarten ist, wenn nach sechsmonatiger Vitamin-A-armer Kost anschließend vermehrt Vitamin A zugeführt wird. Schützen nehmen gelegentlich Vitamin A in höheren Dosen zu sich, da sie vermuten, daß dadurch eine verbesserte Sehfähigkeit und somit eine höhere Leistungsfähigkeit im Schießen erreicht wird.

Über B-Vitamine (Thiamin [B₁], Riboflavin [B₂], Niacin, Pyridoxin [B₆], Pantothersäure, Folsäure, Cyanocobalamin [B₁₂] und Biotin liegen eine Reihe von Veröffentlichungen über den Einfluß auf die Leistungsfähigkeit vor. Dabei werden diese Vitamine teils einzeln, teils als Vitamin-B-Komplex geprüft. Bei Überprüfung der vorliegenden Arbeiten weisen ungefähr die Hälfte dieser Untersuchungen einen positiven und die Hälfte keinen leistungsfördernden Effekt auf die körperliche Leistungsfähigkeit nach (Tab. 2). Verschiedene Arbeiten können weder in dem einen noch in

Tab. 2. Die Wirkung von Vitamin B auf Kenngrößen der Leistungsfähigkeit und Erholung.

Autor	Jahr	Wirkung	Exp. design
Csik	1927	Leistungsf. (Dynamom. Laufband)	-
McCormick	1940	O ₂ -Aufn.	KK
Egana	1942	Ausdauervermögen (Vit.-arme Diät)	KK
Frankau	1943	Intervallläufe (Feldtest) Koordination	KK
Archdeacon	1944	Ausdauer (nach Vit.-B ₁ -armer Diät)	KK
Keys	1945	Ausdauer (nach Vit.-B ₁ -armer Diät)	P
Berryman	1947	Ausdauer (nach Vit.-B ₁ -armer Diät)	KK
Bourne	1948	Ausdauer (Laufband, Ratten)	KK
Vytchikova	1958	Ausdauer (Laufband, Ratten)	P
Potenza	1959	Reaktionszeit, Depress. Pyruvatasp.	KK
Carlson	1962	Ermüdung (Dynamometer)	KK
Carlson	1963	FFS-Depression (Ergometer)	KK
Haralambie	1976	FFS-Depression, RQ-Anstieg, Wirkungsgr. -	P
Karpovich	1942	Neuromuskuläre Erregbarkeit	KK
Simonson	1942	Ausdauer Leistung (Armerogr.)	P
Foltz	1942	Kraft, Ausdauer, ZNS-Funkt. (Ergometer)	KK
Keys	1943	Ausdauer (Ergometer)	P
Montoye	1955	Kraft, Maximaltest (Ergom.) 0,23-0,53/1000 kcal	P
Hilsendager	1964	1/2-Meile-Läufe (Feldtest), Kraft, aerob. Kap. Erhol.	++
Bergstrom	1969	Leistungst. (Handkurbel-Fahrradergometer)	++
		Max. Leistungsf., Ausdauer, Glykogenabbau (Ergom.)	P
Lawrence	1975	Intervallschwimmen (Feldtest)	P
Tin-May-Tham	1978	Leistungsfähigkeit (Ergometer)	KK

KK: Keine Kontrollversuche, K: Kontrollgruppe, P: Placebo, +: positive Wirkung, -: negative Wirkung, Exp.: Versuchsanordnung
 + gut, - schlecht

dem anderen Sinne als verlässlich bezeichnet werden, da sie grundsätzliche, methodische Verfahrensweisen nicht beachten. Schließlich werden aufgrund zum Teil theoretischer und zum Teil unvollständiger experimenteller Untersuchungen die Dosen für Thiamin beim Sportler um zehnfach höher gefordert als bei Untrainierten (Vytchikova 1958, McCormick 1940, Archdeacon und Murlin 1944, Karpovich und Millman 1942). Keys und Mitarbeiter (1943) fanden keinen Effekt auf die Leistungsfähigkeit, wobei sie verschiedene Gruppen untersuchten, in denen sie die Vitaminszufuhr in Abhängigkeit von dem Energieumsatz regelten. So untersuchten sie 4 Gruppen, bei denen pro 1000 Kalorien 0,23, 0,33, 0,53 oder 0,63 mg Thiamin verabreicht wurden. Bei einem Gesamtkalorienumsatz von mehr als 3000 Kalorien pro Tag ergab sich über eine Untersuchungsperiode von 12 Wochen kein Unterschied.

Bei *Riboflavin* (B_2), das einen unmittelbaren Einfluß auf die oxydativen Prozesse hat, wies Haralambie (1976) nach, daß auch die Glykolyse und somit Sportarten, bei denen die anaerobe Kapazität im Vordergrund steht, beeinflußt werden. Der Nachweis, daß die tägliche Zufuhr nicht ausreichend sei, wurde jedoch nicht erbracht.

Für Niacin, das eine Schlüsselfunktion als Wasserstoffüberträger hat, konnten bisher keine Mangelzustände beobachtet werden. Frankau (1943) fand zwar eine Verbesserung der Koordination und physikalischen Leistung bei intervallmäßigen Belastungen bei allerdings unzureichenden Versuchsgruppen, hingegen konnten Hilsendager und Karpovich (1964) nach Gabe von 75 mg Niacin bei 86 Versuchspersonen eine Verbesserung der Dauerleistungsfähigkeit in einem Doppelblindversuch nachweisen. Bemerkenswert ist, daß Carlson und Oro (1962) eine Verminderung des Spiegels der freien Fettsäuren 30 Minuten nach Verabreichung von Niacin fanden. Somit wird die Mobilisation von freien Fettsäuren in das Blut in Ruhe und bei körperlicher Belastung gehemmt, was zu einer erhöhten Glukoseverwertung führt und mit einem größeren Wirkungsgrad verbunden ist (Carlson 1963). Bergström und Mitarbeiter (1969) fürchten, daß durch eine vorzeitige Verwertung des Glykogens unter Niacin eine vorzeitige Ermüdung eintreten könne. In ihren Experimenten fanden sie jedoch nach Einnahme von Niacin keine Beeinflussung der körperlichen Leistungsfähigkeit; subjektiv hätten sich die Athleten nach Niacin müder gefühlt (Tab. 2).

Pyridoxin (B_6) wirkt mit mehr als 60 enzymatischen Systemen zusammen und spielt somit eine zentrale Rolle. Darüber hinaus hat Vitamin B_6 große Bedeutung für die Bildung von Hämoglobin, Myoglobin und den Cytochromen und ist von essentieller Bedeutung für den Sauerstofftransport und die Sauerstoffverwertung in der Zelle. Bemerkenswerterweise wird nur in einer Untersuchung über die Wirkung von Vitamin B_6 berichtet, wobei sich jedoch kein wesentlicher Unterschied aufzeigen ließ (Lawrence u. Mitarb. 1974).

Bei *Cyanocobalamin* (B_{12}) wird über sehr häufige Gaben auch unmittelbar vor Wettkämpfen berichtet, das häufig gespritzt wird. So berichtet der ehemalige Weltrekordläufer John Walker, daß er sich vor Wettkämpfen 1000 mg B_{12} spritzen ließ, um dadurch eine bessere Blutzusammensetzung zu haben, wodurch die Ausdauerleistungsfähigkeit verbessert werde. Verschiedene Doppelblindstudien hingegen hatten nach Gaben von Vitamin

B₁₂ keinen unmittelbaren leistungsfördernden Effekt erkennen lassen (Montoye u. Mitarb. 1955, Tin-May-Than 1978, Herbert 1980) (Tab. 2). Für Pantothensäure und Folsäure liegen keine Untersuchungen über den Einfluß auf das Leistungsvermögen vor.

Verschiedene Untersuchungen sind mit *Vitamin-B-Komplex-Substitutionen* durchgeführt worden, nach denen Csik und Bencsik (1927) und Early und Carlson (1969) einen positiven Effekt, während Simonson und Mitarbeiter (1942) und Foltz und Mitarbeiter (1942) keine fördernde Wirkung aufweisen konnten. Key (1945) und Berryman et al. (1947) fanden nach Vitamin-B-Komplex eine Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit nur dann, wenn eine Vitamin-B-arme Diät vorausgehend eingehalten worden war.

Die meisten Untersuchungen wurden mit *Vitamin C*, der Ascorbinsäure, durchgeführt. Dabei ist bekannt, daß dem Vitamin C im Stoffwechsel von Aminosäuren, bei der Synthese von Adrenalin und Kortikoiden als Antioxidans, für die Resorption von Eisen und die Synthese des Bindegewebes große Bedeutung zukommt (Tab. 3).

Cureton (1969) wies auf eine Verminderung der Sauerstoffschuld nach vermehrter *Vitamin-C-Gabe* hin, was nach Horstmann (1972) auf eine Verschiebung der Sauerstoffbindungskurve zurückgeführt werden könnte. Unterstützt wird der erhöhte Vitamin-C-Bedarf bei Sportlern durch den Hinweis von Lamb (1974), daß der Vitamin-C-Gehalt im Organismus durch Streßsituationen vermindert wird. Basu und Ray (1940), Hoogerwerf und Hoitink (1963), Spiöch und Mitarbeiter (1966), Howald und Segesser (1975) wiesen einen günstigen Effekt auf das Leistungsvermögen in mehr oder weniger verlässlichen Arbeiten nach, hingegen zeigte eine Vielzahl von Arbeiten keine unmittelbare Beeinflussung von physiologischen Kenngrößen der körperlichen Leistungsfähigkeit (Jokl u. Suzmann 1940, Fox u. Mitarb. 1940, Henschel u. Mitarb. 1944, Rasch u. Mitarb. 1962, Magaria u. Mitarb. 1964, Gey u. Mitarb. 1970, Bailey u. Mitarb. 1970, Kirchoff 1969). Keren (1980) u. a. konnten keinen günstigen Einfluß auf das Leistungsverhalten nach zusätzlichen Vitamin-C-Gaben nachweisen. Da die positiven Arbeiten bezüglich des Einflusses von Vitamin C auf die körperliche Leistungsfähigkeit im deutschen, russischen bzw. zentral-europäischen Bereich aufgezeigt wurden, wurde diskutiert, ob in den angelsächsischen Ländern eine bessere Vitamin-C-Versorgung innerhalb der Bevölkerung bestehe, da diese Befunde nicht erhoben werden konnten und dadurch diese Unterschiede bewirkt werden könnten (Tab. 3). Überzeugend sind die Befunde von Suboticanec-Buzina (1984), nach denen durch Vitamin C nur dann eine Verbesserung der aeroben Kapazität erfolgt, wenn die Vitamin-C-Serumspiegel unter 1 mg/100 ml Blut liegen (Tab. 3, Abb. 1). Prokop (1960) zeigte in einem Vergleich zwischen synthetischem Vitamin C und Orangensaft, daß nur nach Orangensafteinnahme ein Leistungsanstieg eintrat. Diese Befunde konnten allerdings von Keul (1961) nicht bestätigt werden.

Vitamin E (Tocopherol) hat besondere Bedeutung als antioxidativer Wirkstoff. Dadurch werden Sauerstoffradikale abgefangen und der Sauerstoff in die Atmungskette überführt. Nach Vitamin E ließen sich Senkungen der Blutfette und ein verbesserter Fetttransport nachweisen. Dem Vitamin E wird eine Schutzfunktion und Stabilisierung der Membranli-

Tab. 3. Die Wirkung von Vitamin C auf Kenngrößen der Leistungsfähigkeit und Erholung.

Autor	Jahr	Wirkung	Exp.	design
Jetzler	1939	Ausdauer 50 km Skilauf	-	KK
Basu	1940	Lok. Muskelausd. Fingerergograph	-	KK
Hoitink	1946/46	Leistungsfähigkeit, Fahrradergometer	-	KK
Lind	1953	Seeleute (Scorbut) 17. Jahrhundert	-	
Prokop	1959	O ₂ -Aufn. (Steeptest) (Säfte + Vitamin C-)	-	P
Hoogenwerf	1963	Leistungsfähigkeit, Fahrradergometer	+	KK
Van Huss	1966	O ₂ -Aufn. - Leistungsfähigkeit - Erholung + Ventil., O ₂ -Verbrauch, O ₂ -Schuld, Wirkungsgr.	+	
Spioch	1966	PWC	+	P
Howald	1975		+	
Horak	1982	Aerobe Kap. - Dauerleist. + (Fahrradergo.) Infekte	+	P
Suboticane	1984	O ₂ -Aufn. bei Vit. C < 1,0 mg/dl	+	
Jokl	1940	Leistungsfähigkeit	+	KK
Fox	1940	Leistungsfähigkeit	-	KK
Henschel	1944	Kraft, psychomotor. Leistungsfähigkeit	+	KK
Keul	1961	O ₂ -Aufn. Leistungsf. (Fahrradergo.) (Vit. C/Säfte)	+	P
Rasch	1962	Laufen (Feldtest)	+	P
Margaria	1964	O ₂ -Aufn. (Laufband)	+	P
Kirchoff	1969	Wirkungsgrad (Ergometrie)	+	KK
Gey	1970	O ₂ -Aufn. (Laufband), Laufen Feldtest	+	P
Bailey	1970	O ₂ -Aufn. Leistungsfähigkeit (Laufband)	+	P
Bender	1975	O ₂ -Aufn. Laufen (Feldtest) (Vit. C/Säfte)	+	P
Horak	1977	Leistungsf. (Vit. C/Fruchtsäfte)	+	KK (Blutspiegel)
Keren	1980	aerobe und anaerobe Kapazität	+	P

KK: Keine Kontrollversuche, K: Kontrollgruppe, P: Placebo, +: positive Wirkung, -: negative Wirkung, Exp.: Versuchsanordnung
+ gut, - schlecht

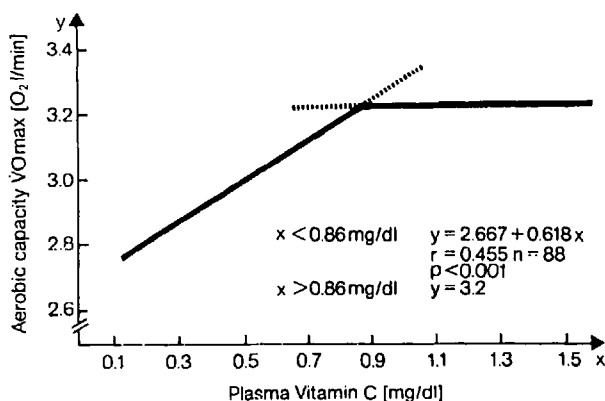


Abb. 1. Bei Vitamin-C-Spiegeln im Blutserum über 1 mg % wird keine Wirkung durch zusätzliche Vitamin-C-Gaben auf das Leistungsvermögen beobachtet. Bei erniedrigten Vitamin-C-Spiegeln kann eine verbesserte aerobe Kapazität erreicht werden (Suboticanec-Buzina et al. 1984).

pide und somit der Zellwände zugeschrieben. Tierexperimentell konnte gezeigt werden, daß Vitamin E sich günstig gegen Muskeldystrophien erweist.

Aufgrund dieser bekannten Wirkungen von Vitamin E wurde die Substanz auch gehäuft bei Sportlern eingesetzt. So fand Bourme (1968) eine verbesserte Sauerstoffutilisation bei Sportlern und eine Verminderung des Milchsäurespiegels im Blut. Percival (1951) hatte bereits gezeigt, daß Vitamin E den Sauerstoffbedarf des Gewebes vermindert und eine verbesserte Zirkulation bewirkt. Als Antioxydans schützt es vor unerwünschten Oxidationen von Fettsäuren, und es wurde eine Verbesserung der Dauerleistungsfähigkeit erwartet. Cureton (1955) wies eine signifikante Verbesserung der Leistungsfähigkeit auf dem Laufband nach, was von Clausen (1971) und Nagawa und Mitarbeitern (1968) bestätigt wurde, wobei auch noch eine Verbesserung der Kreislaufregulation gesehen wurde. Clausen wies jedoch darauf hin, daß dieser Effekt einer Leistungsverbesserung nur im Zusammenhang mit Training erwartet werden könne. Kobayashi (1974) fand eine Verbesserung der Leistungsfähigkeit in einem Doppelblindversuch bei Belastungen im Hochland und maß neben einer verbesserten Sauerstoffaufnahme der Verminderung der Sauerstoffschuld Bedeutung zu (Tab. 4).

Prokop (1960) konnte ebenfalls den günstigen Einfluß von Vitamin E nachweisen. Andererseits zeigten eine Reihe von Untersuchungen keine Förderung der körperlichen Leistungsfähigkeit (Shepard u. Mitarb. 1974a, b, Lawrence u. Mitarb. 1975a, b, Sharman u. Mitarb. 1971, 1976) (Tab. 4). Neuerdings wurde darauf hingewiesen, daß hohe Dosen von Vitamin E sich nachteilig auf verschiedene Organfunktionen auswirken können, wodurch eine Minderung der Leistungsfähigkeit verursacht werden kann (Elmadfa et al. 1985).

Tab. 4. Die Wirkung von Vitamin E auf Kenngrößen der Leistungsfähigkeit und Erholung.

Autor	Jahr	Wirkung	Exp.	design
Percival	1951	Laufen, Springen, Stoßen (Feldtest)	-	KK
Cureton	1955	Ausdauer (Ringer, Laufband) (Keimöl)	+	K
Darlington	1956	Ausdauer (Pferderennen)	-	KK
Prokop	1960/65	O ₂ -Schuld, Erholung (Steeptest)	-	P
Nagawa	1968	aerobe Kap., Ventilation (Fahrradergometer)	-	KK
Clausen	1971	aerobe Kap. (Laufband)	-	P
Sharman	1971	Vitalkap. Steptest aer. Kap. Lauf, Stoß, Schwimmb. + bei Train.	+	P
Kobayashi	1974	O ₂ -Verbr. aerob. Kap. (Hochl. 1500-4000 m) O ₂ -Schuld	+	P
Schiffertshelm	1976	Muskelermüdung, -schmerzen, Lactat-Pyruvat-Quotient	-	P
Thomas	1956	Kreislauf, Atmung (Ergometer) Hochsprung	++	P
Consolazio	1964	Schwimmleistung (Ratten)	+	P
Shephard	1974	Kraft, Herzfrequenz, aerobe Kap. (Schwimmer)	+	P
Watt	1974	max. O ₂ -Aufnahme	+	P
Lawrence	1974	Intervallschwimmen, Ausdauer (Feldtest)	+	P
Sharman	1976	aerobe Kap. 400-m-Schwimmen (Feldtest) Olympiateilnehmer	+	P
Talbot	1977	Schwimmleistung (Olympiateilnehmer)	+	P

KK: Keine Kontrollversuche, K: Kontrollgruppe, P: Placebo, +: positive Wirkung, -: negative Wirkung, Exp.: Versuchsanordnung
 + gut, - schlecht

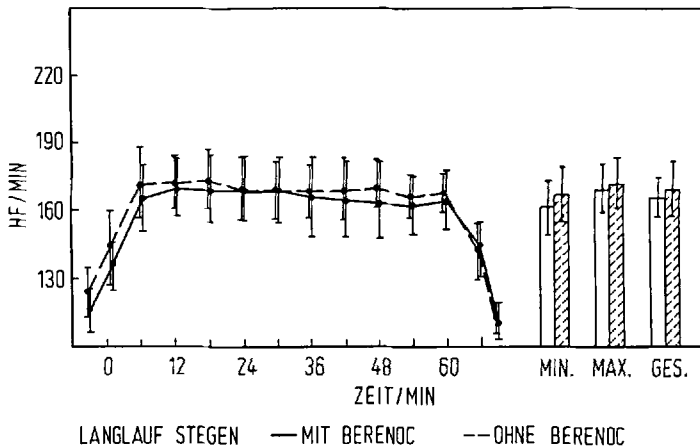


Abb. 2. Nach der Einnahme eines Multivitamin-elektrolytpräparates zeigen Kinder beim Skilanglauf im Vergleich zur Placebogruppe eine signifikant höhere Leistungsfähigkeit bei erniedrigter Herzfrequenz (Keul et al. 1974).

Über Vitamin D, K u. a. liegen keine entsprechenden Untersuchungen vor, auch kann aufgrund des Wirkungsspektrums nicht erwartet werden, daß irgendwelche Einflüsse auf die Leistungsfähigkeit bestehen.

Verschiedene Untersuchungen wurden mit Multivitaminpräparaten durchgeführt. Dabei konnte in einer Doppelblindstudie von Kindern gezeigt werden, daß die Laufleistungen erhöht waren und die Herzfrequenzen niedriger lagen. Die Unterschiede lagen bei 4 % der Leistungsfähigkeit und waren schwach signifikant (Keul et al. 1974) (Abb. 2, Tab. 5). Auch konnte mittels eines Multivitaminpräparates eine Verbesserung der muskulären Erregbarkeit gezeigt werden, wobei nicht entschieden werden kann, ob damit auch ein positiver Einfluß auf die Leistungsfähigkeit verbunden ist (Haralambie u. Mitarb. 1975). Deutliche Effekte in der Verbesserung der Leistungsfähigkeit wurden nach Einnahmen von Multivitaminen und Eisen beobachtet, wobei die Einschränkung der Leistungsfähigkeit durch ein Eisendefizit bzw. eine Anämie bedingt war. Hier wurde durch Ausgleich der Anämie, die eventuell auch ohne Vitamin-B-Komplex und Vitamin C, sondern nur durch Eisen möglich gewesen wäre, eine Wiederherstellung der normalen Leistungsfähigkeit erzielt (Keul 1978, 1984) (Abb. 5, Tab. 5).

Es besteht kein Zweifel, daß weitere Untersuchungen über den Vitaminbedarf, den Vitaminverbrauch und den Vitaminverlust bei Sportlern notwendig sind, um Aussagen machen zu können, inwieweit eine Vitaminsubstitution erfolgreich ist. Sicherlich ist der Vitaminbedarf beim Sportler erhöht. Es wird diskutiert, daß aufgrund des stundenwährenden Trainings eventuell eine Verminderung der Vitaminresorption im Magen-Darm-Trakt erfolgt, was auch für die Eisenresorption angenommen wird. Weiterhin kommt es zu deutlichen Schweißverlusten, die mehrere Liter pro Tag betragen können und nicht nur Elektrolyt- und Eisen-, sondern auch Vitaminverluste bedingen können (Haralambie, unveröff. Ergebn.).

Tab. 5. Die Wirkung von Multivitaminen auf Kenngrößen der Leistungsfähigkeit und Erholung.

Autor	Jahr	Wirkung	Exp.	design
Harper	1943	Vitalkapazität	-	KK
Early	1969	Intervallläufe (Feldtest), Ermüdung bei Hitze	-	P
Prokop	1969	O ₂ -Schuld, leistungsfähigkeit (Stieptest)	-	P
Keul	1974	Leistungsfähigkeit, Kreislaufregul. (Fahrradergom.)	+	P
Haralambie	1975	Neuromuskuläre Erregbarkeit	+	P
Keul	1978	Blutbild (Anämie), max. Leistungsf. (Fahrradergom.)	+	KK
Keul	1979	Skilanglauf, Herzfrequenz (Feldtest 14jährige)	+	P

¹⁾ mit Magnesium und Kalium, ²⁾ mit Eisen, KK: Keine Kontrollversuche, K: Kontrollgruppe, P: Placebo, +: positive Wirkung, -: negative Wirkung, Exp.: Versuchsanordnung + gut, - schlecht

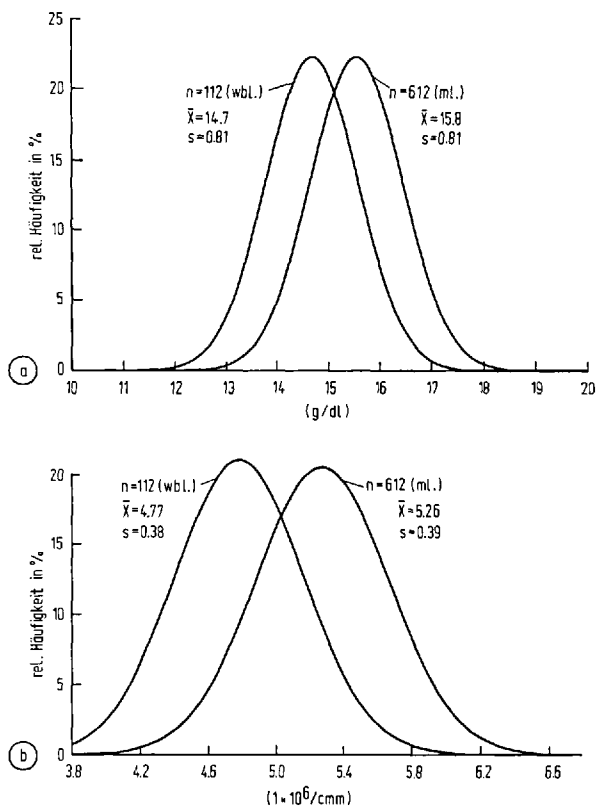


Abb. 3. Bei einem nicht geringen Anteil von Leistungssportlern findet sich ein erniedrigter Hämoglobinwert (a) und verminderte Erythrozyten (b), wobei unentschieden ist, ob dies durch einen Vitaminmangel oder durch ein Eisendefizit bedingt ist (Keul et al. 1984).

Die Angaben über den täglichen Vitaminbedarf des Menschen und die entsprechenden Einnahmen sind offensichtlich ausreichend, um auch dem erhöhten Bedarf bei körperlichem Training Rechnung zu tragen.

Darüber hinaus muß bedacht werden, daß mit der hohen Kalorienzufuhr bei Leistungssportlern auch naturgemäß eine erhöhte Vitaminzufuhr gewährleistet ist. Zum Teil werden allerdings durch unsachgemäße Lagerung oder unsachgemäße Zubereitung die in den Speisen enthaltenen Vitamine zerstört. In jedem Fall sind weitere Forschungsarbeiten angezeigt, um mehr Hinweise und Informationen über den Bedarf von Vitaminen bei Sporttreibenden zu erhalten. Den Angaben über den eigenen Vitaminbedarf bei Sportlern liegen vor allem subjektive Erfahrungen, aber zu wenig wissenschaftliche Erkenntnisse zugrunde. Die Substitution mit Vitaminen einschließlich Eisen im Sport zielt vor allem darauf ab, ein latentes Vitamin- oder Eisendefizit auszugleichen, wodurch die Leistungsfähigkeit wiederhergestellt oder gefestigt werden kann. Es gibt jedoch

keine Anzeichen, daß eine Vitamingabe eine zusätzliche Leistungssteigerung im Sinne eines pharmakologischen Effektes bewirken kann.

Die Energiefreisetzung kann jedoch nur dann maximale Umsätze erreichen, wenn dem Organismus außer Vitaminen die anderen notwendigen Wirkstoffe zur Verfügung stehen. Zentrale Bedeutung unter den Wirkstoffen kommt dem Eisen zu, da es im Hämoglobin für den Sauerstoff- und Kohlensäuretransport unerlässlich ist, dem Myoglobin die Funktion als Sauerstoffspeicher ermöglicht und in der Atmungskette bzw. verschiedenen Schlüsselenzymen den Ablauf der inneren Atmung gewährleistet (Tab. 6). Nicht nur die Atmungskette, sondern auch viele andere eisenhaltige Enzyme werden durch Muskeltraining vermehrt. Um so erstaunlicher ist, daß in jüngster Zeit in einer Vielzahl von Arbeiten über ein Eisendefizit bei Spitzensportlern berichtet wird (zusammenfassende Darstellung Clement et al. 1984). So wurden bei 29 % männlicher und 82 % weiblicher Elite-Langstreckenläufer von Kanada ein Eisendefizit nachgewiesen, bei finnischen Läufern betrug der Anteil 35 %, teils verbunden mit Anämien. Offensichtlich kann bei vielen Arten des Hochleistungssports der Eisenverlust vor allem durch Schweiß, Urin, Gastrointestinaltrakt, Stuhl u. a. nicht durch die in der Nahrung enthaltenen Eisenverbindungen ausgeglichen werden. Bei Frauen bedingt die Menstruation noch einen zusätzlichen Eisenverlust. Abgesehen von pathologischen Eisenverlusten, die bei einigen Milliliter täglich nach einem Jahr eine Entleerung der Eisenvorräte bewirken, müssen beim Sportler belastungsbedingte Faktoren für das häufige Eisendefizit angeführt werden. Wiederholt wurde gezeigt, daß sich bei Ausdauersportlern durch eine Destruktion der roten Blutkörperchen eine Hämolyse entwickelt, die zu einem erhöhten Eisenbedarf führt, da die Eisenurinausscheidung zunimmt. Bei Läufern wird die erhöhte Hämolyse auf eine Kompression der roten Blutkörperchen in den Fußkapillaren zurückgeführt. Ferner wird eine gesteigerte Hämolyse traumatischen Ereignissen im Sport, der erhöhten Körpertemperatur sowie der intrakapillären Kompression im Muskel und der arbeitsbedingten Azi-

Tab. 6. Neben dem Myoglobin und der Atmungskette enthalten wesentliche Enzyme der Energieutilisation Eisen. Bei einem Eisenmangel ist nicht gewährleistet, daß genügend Eisen für den Einbau in die energietransformierenden Enzyme vorhanden ist; dies betrifft vor allem Leistungssportler, bei denen die eisenhaltigen Enzyme deutlich erhöht sind.

Eisenhaltige Enzyme des Muskels	Zunahme durch Muskeltraining
Myoglobin	+
Catalase	
Cytochrom a	+
Cytochrom b	+
Cytochrom c	+
Cytochromoxidase	+
Succinatdehydrogenase	+
NADH-Dehydrogenase	+
Acyl-CoA-Dehydrogenase („Gelbes Ferment“)	+

dose zugeschrieben. Auch wurde unter erhöhten Katecholaminspiegeln, wie sie unter den Bedingungen des Sports eintreten, eine erhöhte osmotische und mechanische Fragilität der Erythrozyten gefunden. Obwohl beim Gesunden die Eisenresorption bei unzureichend aufgefüllten Eisenspeichern nicht gestört sein soll, wurde bei Läufern eine Eisenresorption von nur 16 % verglichen mit Untrainierten von 30 % aufgezeigt. Auch bei Sportlerinnen mit Eisenmangel wurde eine verminderte Eisenresorption gegenüber Kontrollwerten beobachtet. Demnach besteht die Möglichkeit, daß eine Eisenresorptionsstörung bei erhöhter körperlicher Aktivität bestehen kann. Bekannt ist, daß die Art der Ernährung starken Einfluß auf die Eisenresorption hat; bei fettreicher Ernährung ist die Eisenresorption um die Hälfte gegenüber proteinreicher Kost vermindert (D. Wijn 1972).

Ein erhöhter Eisenverlust bei Sportlern konnte mit radioaktivem Eisen aufgezeigt werden. Vor allem werden dafür erhöhte Schweißrate, der vermehrte Verlust durch den Magen-Darm-Trakt sowie Hämoglobin- bzw. Myoglobinurie angeschuldigt. Während normalerweise der Eisenverlust

Tab. 7. Die Ursachen für einen manifesten oder latenten Eisenmangel können durch Störungen der Aufnahme, durch eine erhöhte Abgabe oder unzureichenden Gehalt in der Nahrung bedingt sein.

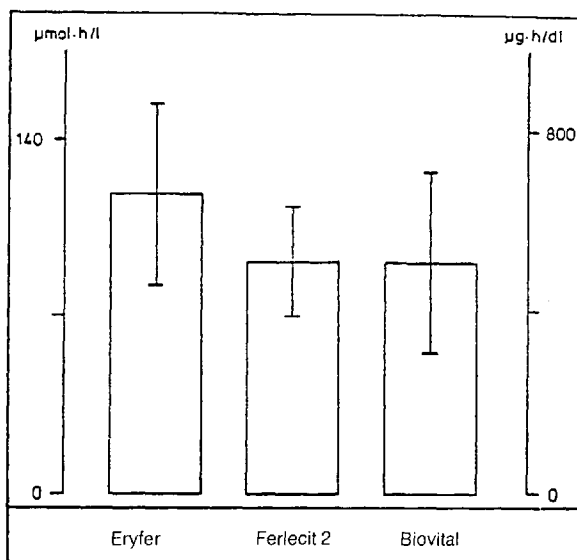
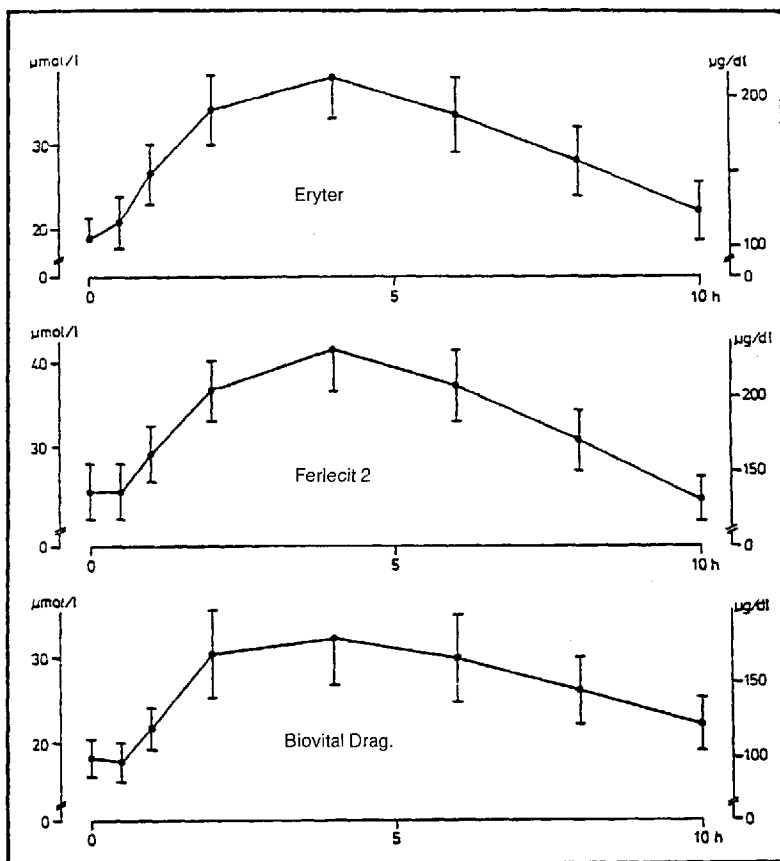
Ursachen eines Eisenmangels bei Sportlern

Zufuhr ↓ Verlust ↑	Bedarf ↑
1. Inadäquate Ernährung	1. erhöhtes Blutvolumen
2. Verminderte Resorption	2. Myoglobinzunahme
3. erhöhter Verlust	3.1 Zunahme Enzyme
3.1 Schweiß	3.2 Zunahme Atmungskette
3.2 Urin (Fe, Ery, Myo-, Hämoglobin)	
3.3 Gastrointestinal (Fäzes)	
3.4 Haut	
4. gesteigerte Hämolyse	

Tab. 8. Die Folgen eines Eisenmangels führen zu verschiedenen Störungen, die mit einer Leistungseinbuße und verschiedenen Formen der Beeinträchtigung des Wohlbefindens verbunden sind.

Folgen eines Eisenmangels

ohne Anämie	mit Anämie
1. Verminderung der Arbeitsleistung	1.1 Reduktion d. aeroben Kapazität
	1.2 Reduktion Ausdauer
2. Vorzeitige Lactatazidose	2. Lactatazidose verstärkt
	↑ 3. Müdigkeit ↑↑
	↑ 4. Appetitlosigkeit ↑↑
	↑ 5. Muskelkrämpfe ↑↑
	↑ 6. Vasomotorische Störungen ↑↑



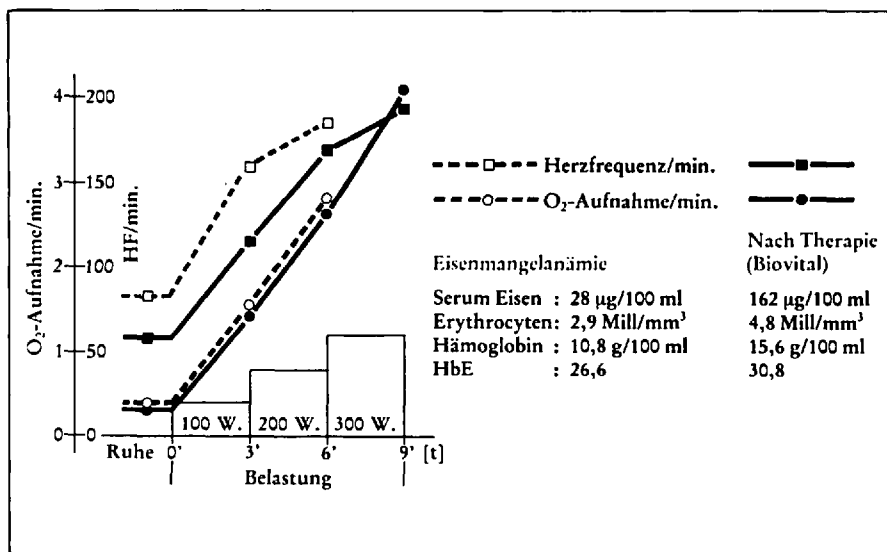


Abb. 5. Nach Einnahme eines Multivitamin- und Eisenpräparates wird nach Besserung der Anämie eine deutliche Zunahme der Leistungsfähigkeit gesehen (Keul 1978).

im Schweiß keine große Bedeutung hat, können bei schwerer Körperarbeit durch den Schweißverlust von mehreren Litern größere Eisenmengen verlorengehen. Darüber hinaus werden im Urin von Sportlern nicht selten Blutbeimengungen gefunden.

Eine unausgeglichene Ernährung kann somit verständlicherweise den Eisenstatus von Sportlern verschlechtern, da nachweislich durch Training ein erhöhter Bedarf besteht. Bei Sportlerinnen wurde eine Eisenaufnahme von 12,5 mg bei einem Bedarf von 18 mg täglich beobachtet. In der Nahrung liegt der Eisengehalt bei 5–6 mg bezogen auf 1000 Kalorien, so daß auch bei einem erhöhten Kalorienbedarf eine unzureichende Zufuhr gegeben sein kann.

Abb. 4a, b. Die Resorptionsstudien zwischen *Biovital Dragees* (Multivitamin-Eisen-Citrat), *Ferlecit 2* (Eisen-Succinat) und *Eryfer* (Eisen-Sulfat mit Ascorbinsäure) zeigen nach Einnahme äquimolarer Mengen an Eisen nur geringe, jedoch keine signifikanten Unterschiede (a + b). Die Verträglichkeit war nach *Biovital Dragees* am besten, da in keinem Fall über Beschwerden geklagt wurde. Nach einmaliger Einnahme von je 100 mg Eisen kommt es stets nach einer Stunde zu einem deutlichen Eisenanstieg, der sein Maximum nach vier Stunden erreicht (a). An den Reaktionsflächen der einzelnen verabreichten äquimolaren Eisenzubereitungen läßt sich die jeweils aufgenommene Eisenmenge pro Stunde ablesen (b) (n = 20).

Somit steht einem erhöhten Verlust und einer verminderten Zufuhr von Eisen ein erhöhter Bedarf beim Sportler gegenüber, der durch das erhöhte Blutvolumen und die Zunahme des Myoglobins und der eisenhaltigen Enzyme sowie der Atmungskette bedingt ist (Tab. 6).

Die Auswirkung des Eisenmangels ohne Anämie werden in einer verminderten Arbeitsleistung bei einer erhöhten Lactatazidose, gesteigerter Müdigkeit, Appetitlosigkeit, Muskelkrämpfen und vasomotorischen Störungen gesehen. Die zuletzt genannten Faktoren werden bei einem Eisenmangel mit Anämie verstärkt, zusätzlich tritt eine Verminderung der aeroben Kapazität und eine Verstärkung der Lactatazidose auf. Muskuläre Leistungen wie Ausdauer und Schnellkraft werden eingeschränkt (Tab. 7, 8).

Wenn bei National- oder Olympiamannschaften die Zahl der Sportler bzw. Sportlerinnen mit latentem oder manifestem Eisenmangel zwischen 15 und 76 % schwankt, besteht kein Zweifel, daß diesem Tatbestand erhöhte Beachtung geschenkt werden muß. So fanden wir ebenfalls an Spitzensportlern Verminderungen der Serumeisenspiegel, die in Einzelfällen bis unter 10 µg % reichten und Verminderungen des Hämoglobinspiegels, die einer manifesten Anämie entsprechen (Abb. 3). Nach Gaben von Eisenpräparaten, vor allem in Kombination mit Vitamin-C- und Vitamin-B-Komplex, findet sich eine Verdopplung des Eisenspiegels, was als Ausdruck unzureichend aufgefüllter Eisendepots gewertet werden muß (Abb. 4). Ein latenter Eisenmangel kann auch zu einer Beeinträchtigung der inneren Atmung und somit des Energieumsatzes führen. So ist es nicht verwunderlich, daß es bei einer bestehenden Eisenmangelanämie nach entsprechender Eisen-Vitamin-Substitution zu einer Normalisierung der Hämoglobinspiegel und des Blutvolumens kommt und eine deutliche Leistungsverbesserung eintritt (Abb. 5).

Die nach schwerer körperlicher Arbeit beobachteten Anämien können nicht ausschließlich auf ein Eisendefizit zurückgeführt werden. Als Gründe für das Auftreten einer belastungsbedingten Anämie wurden noch folgende Faktoren genannt (Yoshimura 1970):

1. Verminderung der Resistenz der roten Blutkörperchen gegenüber der mechanischen Beanspruchung bei der erhöhten Zirkulation.
2. Die Zunahme der Körpertemperatur.
3. Eine nicht ausreichende Proteinzufuhr.
4. Eine erhöhte Fragilität von Erythrozyten unter dem Einfluß von Adrenalin.
5. Ein von der Milz freigesetzter Hämolysefaktor.
6. Die Zerstörung von Erythrozyten durch mechanische Einwirkung beim Sport, z. B. die Kompression der Fußkapillaren beim Laufen.

Für die Entstehung dieser als Sportanämie bezeichneten mäßigen Verminderungen der roten Blutkörperchen müssen somit neben einem Vitamin- und Eisendefizit noch andere Faktoren angeführt werden. Wahrscheinlich handelt es sich in vielen Fällen um ein polyvalentes Geschehen. Die wesentlichen prophylaktischen Maßnahmen müssen in einer ausgewogenen Vitamin- und Eisensubstitution sowie einer eiweißreichen Kost gesehen werden.

Literatur

1. Archdeacon J, Murlin J (1944) The effect of thiamine depletion and restoration on muscular efficiency and endurance. *J Nutr* 28:241-54
2. Berryman G et al (1947) Effects in young men consuming restricted quantities of B complex vitamins and proteins, and changes associated with supplementation. *Am J Physiol* 148:618-647
3. Bailey DA, Carron AV, Teece RG, Wehner H (1970) Effect of vitamin C supplementation upon the physiological response to exercise in trained and untrained subjects. *Int J Vitam Nutr Res* 40:435-441
4. Basu N, Ray G (1940) The effect of vitamin C on the incidence of fatigue in human muscles. *Indian J Medical Res* 28:419-426
5. Bender AE, Nash AH (1975) Vitamin C and physical performance. *Plant Foods for Man*, 1:217-231
6. Bergstrom J, Hultman E, Jonfeldt L, Pernow B, Wahren J (1969) Effect of nicotinic acid on physical working capacity and on metabolism of muscle glycogen in man. *J Appl Physiol* 26:170-176
7. Bourne G (1948/49) Vitamins and muscular exercise. *Br J Nutr* 2:261-263
8. Bourne G (1968) Nutrition and exercise. In: Fall H (ed) *Exercise Physiology*, Academic Press, New York
9. Carlson L, Oro L (1962) The effect of nicotinic acid on the plasma free fatty acids. *Acta Med Scand* 172:641-645
10. Carlson L, Havel R, Ekelund L (1963) Effect of nicotinic acid on the turnover rate and oxidation of the free fatty acids of plasma in man during exercise. *Metabolism* 12:837-845
11. Clausen D (1971) The combined effect of aerobic exercise and vitamin E upon cardiorespiratory endurance and measured blood variables. Unpublished masters thesis, University of Wyoming
12. Clement DB, Sawchuk LL (1984) Iron status and sports performance. *Sports Med* 1:65-74
13. Consolazio CF, le Matoush RO, Nelson RA, Isaac GJ, Hursh LM (1964) Effect of octacosanol, wheat germ oil, and vitamin E on performance of swimming rats. *J Appl Physiol* 19:265-267
14. Csik L, Bencsik J (1927) Versuche, um die Wirkung von B-Vitamin auf die Arbeitsleistung des Menschen festzustellen. *Klin Wschr* 6:2275-2278
15. Cureton TK (1954) Effect of wheat germ oil and vitamin E on normal human subjects in physical training programs. *Am J Physiol* 179:628
16. Cureton TK (1955) Wheat germ oil, the "wonder" fuel *Scholastic Coach*, 24-36
17. Cureton TK (1969B) Nutritive aspects of physical fitness work. *Swimming Techn* 6:44-49
18. Cureton TK (1973) The physiological effects of wheat germ oil and related substances as ergogenic aids. *Br J Sports Med* 7:31-33
19. Darlington FG, Chassels JB (1956) A study on the breeding and racing of thoroughbred horses given large doses of alpha tocopherol. *Summary* 8:1-20
20. Darlington FG, Chassels JB (1956) A further study of breeding and racing of thoroughbred horses given large doses of alpha tocopherol. *Summary* 8:55-82
21. Davis T et al (1969) Review of studies of vitamin and mineral nutrition in the United States (1950-1968). *J Nutr Educat* 1, Suppl 1:41-45
22. Early R, Carlson B (1969) Water soluble vitamin therapy on the delay of fatigue from physical activity in hot climatic conditions. *Internat Zschr Angew Physiol* 27:45-50
23. Egana E et al (1942) The effects of a diet deficient in the vitamin B complex on sedentary men. *Am J Physiol* 127:731-741
24. Elmadfa I, Schlotzer E (1985) Vitamin E. Ist der essentielle Nährstoff auch ein Pharmakon? *Dtsch Apoth Zeit* 13:661

25. FDA: US recommended daily allowances. In: Vitamin and mineral products, Labeling and composition regulations, § 80.1. Dietary supplements of vitamins and minerals, § 125.1. Definitions and interpretations of terms, § 125.3. Label statements relating to vitamins and minerals, § 125.5. Effective date, Fed Reg 41, No 203:46170–46176
26. Foltz E, Ivy A, Barborka C (1942) Influence of components of the vitamin B complex on recovery from fatigue. *J Labor and Clin Med* 27:1396–1399
27. Fox F, Dangenfield L, Gottlich S, Jokl E (1940) Vitamin C requirements of native workers. *Br Med J* 2:143–147
28. Frankau I (1943) Acceleration of co-ordinated muscular effort by nicotinamide. *Br Med J* 2:601–603
29. Gey G, Cooper K, Bottenberg R (1970) Effects of ascorbic acid on endurance performance and athletic injury. *J Am Med Ass* 211:105
30. Hamilton E, Whitney E (1979) *Nutrition: Concepts and Controversies*. St Paul: West Publishing Co
31. Haralambie G (1976) Vitamin B₂ status in athletes and the influence of riboflavin administration on neuromuscular irritability. *Nutr and Metab* 20:1–8
32. Haralambie G, Keul J, Baumgartner A, Winker KH, Bauer G (1975) Die Wirkung eines Multivitamin-Elektrolytgranulats auf Elektrodermalreflex und neuromuskuläre Erregbarkeit bei langwährender Körperarbeit. *Schweiz Sportmed* 3:113–128
33. Harper AA, Mackay IFS, Raper HS, Camm GL (1943) Vitamins and physical fitness. *Br Med J* 1:243–245
34. Haymes EM (1980) The use of vitamin and mineral supplements by athletes. *Drug Iss* 361–369
35. Henschel A, Taylor H, Brozek J, Mickelsen O, Keys A (1944) Vitamin C and ability to work in hot environments. *Amer Trop Med Hyg* 24:259–265
36. Herbert V, Colman N, Jacob E (1980) Folic acid and vitamin B₁₂. In: Goodhart R, Shils M *Modern nutrition in Health and Disease*, Lea and Febiger, Philadelphia
37. Hilsendager D, Karpovich P (1964) Ergogenic effect of glycine and niacin separately and in combination. *Research Quarterly* 35:389–392
38. Hoogerwerf A, Hoitink A (1963) The influence of vitamin C administration on the mechanical efficiency of the human organism. *Internat Z Angew Physiol* 20:164–172
39. Hoitink A (1946A) *Vitamin C and Work*. Leiden: Nederlands Instituut voor Praeventieve Geneeskunde TNO
40. Hoitink A (1946B) Researches on the influence of vitamin C administration on the human organism, in particular in connection with the working capacity. *Acta Brevia Neerleandicaade Physiologia, Pharmacologia Microbiologia*, 14:62
41. Horák J et al (1977) Ascorbic acid blood level prior to laboratory work and after: Its relationship to spiroergometric parameters in top-performance athletes. *Casopis Lekaru Ceskych* 116:679–682
42. Horák J, Brandejský P, Polák P, Bunc V (1983) Einfluß hoher Askorbinsäuredosen auf die kardio-respirative und metabolische Reaktion bei Belastung unter Laborbedingungen. In: *Sport: Leistung und Gesundheit*. Deutscher Ärzte-Verlag Köln 311–315
43. Horstman D (1972) *Nutrition*. In: Morgan W (ed) *Ergogenic acids and muscular performance*. Academic Press, New York
44. Howald H, Segesser B (1975) Ascorbic acid and athletic performance. *Ann N Acad Sci* 258:458
45. Jetzler A, Haffter C (1939) Vitamin-C-Bedarf bei einmaliger sportlicher Dauerleistung. *Wien Med Wschr* 89:332
46. Jokl E, Suzman H (1940) A study of the effects of vitamin C upon physical efficiency. *Transvaal Mine Medical Officers Association Proceedings* 19:292–300

47. Karpovich P, Millman N (1942) Vitamin B and endurance. *N Engl Med* 226:881-882
48. Keren G (1980) The effect of high dosage vitamin C intake on aerobic and anaerobic capacity. *J Sports Med Phys Fitn* 20:145-148
49. Keul J (1961) Zur Frage einer Beeinflussung der Kreislauffunktion durch orale Zufuhr von Vitamin C. Unveröffentlicht
50. Keul J (1978) Eisenmangel und Leistungsdefizit. *Pharmazie in unserer Zeit* 7, 6:185-190
51. Keul J, Haralambie G, Winker KH, Baumgartner A, Bauer G (1974) Die Wirkung eines Multivitamin-Elektrolyt-Granulats auf Kreislauf und Stoffwechsel bei langwährender Körperarbeit. *Schweiz Z Sportmed* 22:169-184
52. Keul J, Huber B, Schmitt M, Spielberger B, Zöllner G (1979) Die Veränderungen von Kreislauf- und Stoffwechselgrößen bei Kindern während eines Skilanglaufs unter einem Multivitamin-Elektrolyt-Präparat. *Dtsch Z Sportmed* 7:65-72
53. Keul J, Berg A, Lehmann M, Dickhuth HH, Schmid P, Jakob E (1984) Erschöpfung und Regeneration des Muskels in Training und Wettkampf. *Leist Sport* 5:13-18
54. Keys A, Henschel AF (1942) Vitamin supplementation of US Army rations in relation to fatigue and the ability to do muscular work. *J Nutr* 23:259-269
55. Keys A et al (1943) The performance of normal young men on controlled thiamine intake. *J Nutr* 26:399-415
56. Keys A et al (1945) Experimental studies on men with a restricted intake of the B Vitamins. *Am J Physiol* 144:5-42
57. Kirchoff H (1969) Über den Einfluß von Vitamin C auf Energieverbrauch, Kreislauf und Ventilationsgrößen im Belastungsversuch. *Nutritio Dieta (Basel)* 11:184
58. Kübler W (1980) Bedarfszahlen, wünschenswerte Aufnahme. In: *Biochemie und Physiologie der Ernährung*, Bd I. Georg Thieme Verlag, Stuttgart New York, S 606-609
59. Lamb L (1974) Vitamin C (Ascorbic acid). *The health letter* 3:1-4
60. Lasswell WL (1981) Vitamins and Minerals: What they are and why we need them. In: *Nutrition and athletic performance. Conference on Nutritional Determinants in Athletic Performance*, San Francisco, September, Proceedings pp 68-104
61. Lawrence J, Smith J, Bower R, Riehl W (1974) The effect of alpha-tocopherol (vitamin E) and pyridoxine HCl (vitamin B₆) on the swimming endurance of trained swimmers. *J Am College Health Assoc* 23:219-222
62. Lind J (1953) *Lind's Treatise on Scurvy*, Stewart CP, Guthrie D (eds) University Press, Edinburgh 69
63. Margaria R, Aghemo P, Rovelli E (1964) The effect of some drugs on the maximal capacity of athletic performance in man. *Internat Z Angew Physiol* 20:281-287
64. McCormick W (1940) Vitamin B and physical endurance. *Med Rec* 152:439
65. Montoye H, Spata P, Pinckney V, Barron L (1955) Effects of vitamin B₁₂ supplementation on physical fitness and growth of young boys. *J Appl Physiol* 7:589-592
66. Nagawa T et al (1968) The effect of vitamin E on endurance. *Asian Medical J* 11:619-633
67. Nöcker J (1983) *Die Ernährung des Sportlers*. Hofmann-Verlag, Schorndorf
68. Percival L (1951) Vitamin E in athletic efficiency. *Shute Foundation for Medical Research*, December, 3, No 2
69. Potenza P (1959) Estere fosforico della riboflavina et fatica. *Vitaminologia*, 17:345-350

70. Prokop L (1960) Die Wirkung von natürlichem Vitamin E auf Sauerstoffverbrauch und Sauerstoffschuld. Sportärztl Praxis 1:19-23
71. Prokop L (1965) Vitamine und Sportleistung. Z Ernährungswiss Suppl 4:83-92
72. Prokop L (1969) Multivitamine bei Spitzenathleten. Ärztl Praxis 52:3005
73. Rasch P, Arnheim D, Klafs C (1962) Effects of vitamin C supplementation on cross-country runners. Sportärztl Praxis 5:10-13, Heft 1
74. Schittenhelm D, Maidorn K (1976) Einfluß von Vitamin E auf den Muskelstoffwechsel. Dtsch Apoth-Z 116, 27:974-976
75. Sharman IM (1981) Nutritional factors and physical performance in man. In: Reeheige M (Hrsg) Handbook of nutritional requirements in a functional context. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc, Vol II, pp 463-478
76. Sharman I et al (1976) The effect of vitamin E on physiological function and athletic performance on trained swimmers. J Sports Med Phys Fitn 16:215-225
77. Sharman I (1971) The effects of vitamin E and training on physiological function and athletic performance in adolescent swimmers. Brit J Nutr 26:265-276
78. Shephard R, Campbell R, Pimm P, Stuart D, Wright G (1974) Vitamin E, exercise, and the recovery from physical activity. Eur J Appl Physiol 33:119-126
79. Simonson E, Enzer N, Baer A, Braun R (1942) The influence of vitamin B (complex) surplus on the capacity for muscular and mental work. J Industr Hyg 24:83-90
80. Spiöch F, Kobza R, Mazur B (1966) Influence of vitamin C upon certain functional changes and the coefficient of mechanical efficiency in humans during physical effort. Acta Physiol Polon 17:251-264
81. Stransky M, Brubacher G, Vuilleumier JP (1982) Zum Vitaminstatus der Schweizer Rekruten. Akt Ernähr Med 7:1-6
82. Suboticanc-Buzina K, Buzina R, Brubacher G, Sapunar J, Christeller S (1984) Vitamin C status and physical working capacity in adolescents. Internat J Vit Nutr Res 34:55-60
83. Thomas P (1957) The effects of vitamin E on some aspects of athletic efficiency. Ph D thesis, University of Southern California, Los Angeles
84. Tin-May-Than, Ma-Win-May, Khin-Sann-Aung, Mya-Tu M (1978) The effect of vitamin B₁₂ on physical performance capacity. Brit J Nutr 40:269-273
85. Vytchikova M (1958) Increasing the vitamin B₁ content in the rations of athletes. Chem Abstr 52:14787
86. Wald G, Brouha L, Johnson R (1942) Experimental human vitamin A deficiency and ability to perform muscular exercise. Amer J Physiol 137:551-556
87. Williams MH (1981) Vitamin, iron and calcium supplementation: effect on human physical performance. In: Nutrition and athletic performance. Conference on Nutritional Determinants in Athletic Performance, San Francisco, proceedings pp 106-153

Eingegangen 21. Januar 1987

Für die Verfasser:

Prof. Dr. J. Keul, Med. Universitätsklinik Freiburg, Abt. Leistungs- und Sportmedizin, Hugstetter Str. 55, 7800 Freiburg