

Auswirkung von Gaben an Müsli-Kost und Zink auf verschiedene Blutparameter bei Leistungssportlern

F. Schardt

Medizinische Poliklinik der Universität Würzburg (Direktor: Prof. Dr. K. Wilms)

Intestinal interaction of cereal raw products and zinc in athletes

Zusammenfassung: Bei 51 Leistungssportlern, die randomisiert in je zwei Kollektive (mit bzw. ohne Zinksupplementierung) und jeweilige Untergruppen (mit bzw. ohne 200 g Getreideflocken) eingeteilt wurden, untersuchten wir die Serumspiegel von Zink, Eisen, Kupfer, Phosphor und Kalium über einen Zeitraum von 8 Wochen während der Wettkampfperiode. Außerdem wurden auch die Subpopulationen der Lymphozyten bestimmt. Veränderungen in der immunologischen Abwehrlage unter besonderer Berücksichtigung des Zinkspiegels fanden sich jedoch nicht. Bei den Serumwerten zeigte sich eine signifikante Abnahme von Zink und Eisen, wenn die Sportler gleichzeitig eine gewisse Menge von Getreiderohkost zu sich nahmen. Ursache hierfür ist vermutlich der relativ hohe Gehalt an Phytaten im Getreide, die Spurenelemente in Form von Komplexsalzen binden.

Summary: A total of 51 athletes, randomly divided into two groups (with or without zinc supplementation) and respective two subgroups (with or without cereal diet) had been tested for their serum levels in respect of zinc, ferrum, copper, phosphorus and potassium over a period of 8 weeks, i.e. during a period of competition. Furthermore, subpopulations of lymphocytes were defined. Modifications of the immunologic defense mechanism with special regard to the zinc level could, however, not be detected. Minerals, i.e. zinc and ferrum revealed to decrease significantly during simultaneous uptake of certain amounts of the cereal products. This is due to the relatively high amounts of phytates in cereals which are capable to bind the trace elements in form of complex salts.

Schlüsselwörter: Müsli-Kost – Zinkresorption – Phytate – Spurenelemente – Lymphozyten-subpopulation

Key words: Muesli-diet– zinc absorption – phytates – trace elements – subpopulation of lymphocytes

Einleitung

Entsprechend der Definition ist Zink zwar ein Spurenelement, da sein Anteil an der Körpermasse kleiner als 0,01 % ist, doch spielt es als Metallion von mehr als 70 Enzymen im Stoffwechsel eine bedeutende Rolle. Ein latenter oder auch akuter Zinkmangel kann mehrere Ursachen haben:

1. verminderte Zufuhr, z.B. einseitige Ernährungsweise, Infusionstherapie, Reduktionsdiäten, Alkoholismus,

2. verminderte Zinkresorption, z.B. phytatreiche Nahrung (Weizenkleie, Sojabohnen, Erdnüsse),
3. verminderte Utilisation des zugeführten Zinks (genetischer Defekt, akuter Eiweißmangel),
4. erhöhte Zinkverluste, z.B. hohe Schweißabsonderung bei ausgeprägter körperlicher Aktivität und Sport und
5. erhöhter Zinkbedarf, z.B. Schwangerschaft, Stillen, Pubertät, Wachstumsschübe, Z.n. Verbrennungen und Operationen.

Auffällig ist, daß in den bisher durchgeführten Untersuchungen der Zinkspiegel bei Leistungssportlern durchschnittlich tiefer lag als bei gleichaltrigen Normalpersonen. Die Frage, ob diese Erniedrigung der Zinkwerte im Serum von Leistungssportlern physiologisch ist, wurde noch nicht ganz geklärt (36, 37). Es wurden bei diesen Probanden zwar keine typischen Zinkmangelsymptome gefunden, jedoch vermutet man einen Zusammenhang zwischen den niedrigen Zinkspiegeln und den häufig zu beobachtenden Infektanfälligkeiten, verbunden mit Abgeschlagenheit bei Leistungssportlern (2, 12, 26, 27, 29, 30, 31, 34).

Als Ursachen kommen die bereits oben zitierten höheren Zinkverluste durch starkes Schwitzen bzw. Proteinurie und der höhere Zinkbedarf in Frage.

In einer Voruntersuchung an unserer Klinik ergaben sich Hinweise, daß die Ernährungsweise bei Sportlern einen großen Einfluß auf die Resorption von Zink hat. Das Ziel dieser Arbeit war es deshalb, den Einfluß einer Getreiderohkost auf die Resorption von Zinkorotat zu untersuchen. Wir wählten unter den verschiedenen Zinkpräparaten das Salz der physiologisch vorkommenden Orotsäure aus, weil es eine sehr gute Resorption und Bioverfügbarkeit aus dem Dünndarm erreicht und damit auch frei von Nebenwirkungen ist (3).

Methodik

Als Probanden wurden 51 gesunde, männliche Sportler (Nichtraucher) zwischen 18 und 35 Jahren in die Studie eingeschlossen, die bei der körperlichen und blutchemischen Untersuchung völlig unauffällig waren. Eine weitere Bedingung war ein regelmäßiges, leistungsorientiertes Training viermal wöchentlich über 90–120 Minuten während der Wettkampfperiode. Die Auswahl der Sportler beschränkte sich auf 30 Langstreckenläufer, 9 Judoka und 12 Ringer, die in gleichen Anteilen auf die 4 Gruppen verteilt waren. Der Untersuchungszeitraum betrug 8 Wochen, wobei nach der 4. und der 8. Woche – morgens nüchtern und nach 15 min. Ruhelage – eine Blutabnahme erfolgte. Neben Blutdruck, EKG, Blutsenkung und Blutbild wurden die leberspezifischen Transaminasen, alkalische Serum-Phosphatase, Lysozym, Gesamteiweiß, Elektrophorese und an immunologischen Parametern die Subpopulationen der Lymphozyten bestimmt (B- und T-Lymphozyten, CD3, CD4, CD8). An Mineralstoffen und Spurenelementen bestimmten wir mittels ICP-Emissionsspektroskopie (inductively coupled plasma) – Magnesium, Zink, Kupfer, Phosphor, Kalium und Natrium im Serum. Um eine Hämolyse und damit eine Vermischung mit intrazellulären Konzentrationen von Zink zu vermeiden, wurden die Proben bei relativ niedrigen Umdrehungszahlen (1000/min.) 20 Minuten zentrifugiert und dann das Serum abpipettiert (33).

Die Probanden wurden randomisiert in ein Prüfkollektiv (Zinksupplementierung) und ein Vergleichskollektiv eingeteilt, das wiederum in eine Müsli-Gruppe und eine Gruppe mit normalen bzw. unveränderten Ernährungsgewohnheiten unterteilt wurde.

Das Prüfkollektiv erhielt pro Person 1×3 Tabletten Zinkorotat 40 mg (entsprechend 18,9 mg Zink) morgens, da bei abendlicher Gabe unter Umständen Einschlafstörungen auftreten können. Eine zusätzliche Supplementierung mit Mineralien und Vitaminen während des Untersuchungszeitraumes war den Sportlern ausdrücklich verboten worden. Alle Trainer der teilnehmenden Probanden waren ebenfalls über die Bedingungen dieser Studie ausführlich unterrichtet worden. Bei den Untergruppen mit Müslikost erhielten die Probanden eine Dreikornmischung aus Hafer-, Weizen- und Gerstenflocken zur Verfügung gestellt, mit der täglich zweimal (morgens und mittags oder auch abends) ein Müsli zubereitet wurde. Die Dreikornmischung war in einem Großhandel in größeren Mengen gekauft und während der Studie (Woche 0 und 4) an die Sportler abgewogen verteilt worden. Die Menge dafür wurde anhand eines Meßbechers (Joghurtbecher) genau vorgegeben (2×100 g pro Tag). Der Phytatgehalt dieser drei Getreidesorten ist nahezu identisch (14, 20). Die Tagesmenge dieser Dreikornmischung enthielt ca. 8 mg Zink. Die Probanden der Müsli-Gruppen wiesen wir eingehend darauf hin, daß durch die Müsli-Kost Kohlenhydrate der bisherigen Ernährungsweise, wie z.B. Nudeln, Gebäck und Kartoffeln, ersetzt werden sollten. Der Anteil an Vollkornbrot durfte während der Studiendauer von keinem Probanden verändert werden.

Vergleichskollektiv (keine Zinksupplementierung)		Prüfkollektiv (mit Zinksupplementierung)	
ohne Müsli- kost (n = 13)	mit Müsli- kost (n = 12)	ohne Müsli- kost (n = 15)	mit Müsli- kost (n = 11)

Die Probanden der beiden anderen Untergruppen verpflichteten wir, während des Untersuchungszeitraumes kein Müsli, in welcher Form auch immer, zu sich zu nehmen. Alle Probanden mußten vorgedruckte Ernährungsprotokolle führen, in denen die Speisen und Getränke eingetragen werden mußten. Diese Protokolle wurden wöchentlich kontrolliert. Wenn Abweichungen von den für die einzelnen Untersuchungsgruppen vorgegebenen Richtlinien oder auch eine mangelnde Compliance bei der Zinksupplementierung bekannt wurde, erfolgte ein sofortiger Ausschluß aus der Studie. Daraus erklären sich auch die leicht unterschiedlichen Probandenzahlen der einzelnen Gruppen.

An statistischen Methoden verwendeten wir die Mittelwertbildung mit Standardabweichungen und die Signifikanzberechnung (t-Test nach Student) dieser Parameter anhand der Mittelwerte innerhalb der randomisierten Gruppen.

Ergebnisse

Bei den Parametern der leberspezifischen Transaminasen fanden sich innerhalb der randomisierten Untergruppen keine signifikanten Veränderungen. Das gleiche gilt auch für die Parameter der Elektrophorese, des Blutbildes und der Subpopulationen der Lymphozyten, wobei hier große Streubreiten auffällig waren. Auf die tabellarische Darstellung dieses umfangreichen Zahlenmaterials wurde deshalb verzichtet. In

der Gruppe mit normaler Ernährung (Vergleichskollektiv) zeigte sich lediglich eine signifikante Abnahme des Kaliumspiegels von 184 mg auf 164 mg um 10,9 % ($p < 0,05$) und eine, wenn auch nicht signifikante, Zunahme des anorganischen Phosphors von 109 mg/ml auf 131 mg/ml. In dem Vergleichskollektiv mit Müsli-Kost ergab sich dagegen eine signifikante Abnahme der Alkalischen Phosphatase ($p < 0,01$), des Zinks ($p < 0,001$), Kupfers ($p < 0,05$) und Eisens ($p < 0,01$). Kalium hat hier jedoch leicht zugenommen ($p < 0,01$). Im Prüfkollektiv mit Müsli-Kost fand sich trotz der Zinksubstitution ein signifikant erniedrigter Zinkspiegel ($p < 0,01$). Unter normaler Ernährung mit Zinksupplementierung stieg dagegen der Zinkspiegel im gleichen Kollektiv an ($p < 0,05$) bei gleichzeitigem leichtem Abfall von Magnesium.

Tab. 1. Laborparameter der Probanden des Vergleichskollektives ohne Müsli-Kost im Verlauf von 8 Wochen ($n = 13$). Die Werte in Klammern stellen die Standardabweichung dar

		Ausgangswerte		Zwischenunter-suchung		Abschlußunter-suchung	
GOT	U/l	11,9	(3,1)	13,3	(3,6)	12,9	(2,0)
Alkal. Serumphosph.	U/l	111,0	(21,6)	98,6	(22,2)	124,1	(12,5)
Lysozym	mg/l	6,5	(2,2)	5,4	(1,6)	6,4	(2,7)
Gesamt-Eiweiß	mg/dl	7,5	(0,6)	7,2	(0,2)	7,0	(0,5)
alpha-1-Globulin	rd/%	3,0	(0,7)	2,8	(0,2)	3,0	(0,3)
beta-Globulin	rd/%	9,2	(1,4)	9,8	(1,1)	10,0	(1,6)
gamma-Globulin	rd/%	15,8	(2,4)	14,8	(1,8)	14,7	(1,6)
alpha-2-Makro-globulin	rd/%	6,7	(1,3)	6,9	(1,3)	7,3	(1,3)
Albuminx	rd/%	65,2	(1,5)	65,6	(1,1)	65,0	(2,2)

Tab. 2. Laborparameter der Probanden des Vergleichskollektives mit Müsli-Kost im Verlauf von 8 Wochen ($n = 12$). Die Werte in Klammern stellen die Standardabweichung dar

		Ausgangswerte		Zwischenunter-suchung		Abschlußunter-suchung		p
GOT	U/l	12,2	(4,2)	13,7	(7,4)	11,7	(4,6)	
Alkal. Serumphosph.	U/l	121,6	(30,9)	94,8	(20,7)	86,4	(21,6)	$< 0,01$
Lysozym	mg/l	5,4	(3,0)	5,9	(3,5)	4,6	(2,1)	
Gesamt-Eiweiß	mg/dl	7,3	(0,4)	7,2	(0,5)	7,2	(0,7)	
alpha-1-Globulin	rd/%	3,3	(0,4)	3,4	(0,4)	3,4	(0,5)	
beta-Globulin	rd/%	9,4	(0,2)	9,8	(0,9)	9,7	(0,8)	
gamma-Globulin	rd/%	13,1	(3,2)	14,4	(2,8)	14,1	(2,6)	
alpha-2-Makro-globulin	rd/%	7,4	(0,8)	7,9	(0,9)	8,1	(0,9)	
Albuminx	rd/%	65,4	(4,2)	64,5	(3,5)	64,7	(3,2)	

Tab. 3. Laborparameter der Probanden des Prüfkollektives (Zinksupplementierung) ohne Müsli-Kost im Verlauf von 8 Wochen (n = 15). Die Werte in Klammern stellen die Standardabweichung dar

		Ausgangswerte		Zwischenunter-suchung		Abschlußunter-suchung	
GOT	U/l	13,9	(7,0)	10,7	(2,7)	10,1	(2,9)
Alkal. Serumphosph.	U/l	114,9	(28,8)	103,9	(36,5)	130,0	(38,5)
Lysozym	mg/l	5,8	(2,1)	7,2	(3,4)	7,2	(3,3)
Gesamt-Eiweiß	mg/dl	7,2	(0,4)	7,2	(0,4)	7,2	(0,8)
alpha-1-Globulin	rd/%	3,2	(0,4)	3,1	(0,4)	3,1	(0,5)
beta-Globulin	rd/%	10,2	(0,8)	10,3	(1,0)	10,2	(0,8)
gamma-Globulin	rd/%	15,5	(2,0)	15,7	(2,2)	16,5	(2,0)
alpha-2-Makroglobulin	rd/%	6,5	(1,5)	6,8	(1,0)	6,8	(1,0)
Albumin	rd/%	64,4	(2,5)	63,8	(2,6)	62,7	(2,4)

Tab. 4. Laborparameter der Probanden des Prüfkollektives (Zinksupplementierung) mit Müsli-Kost im Verlauf von 8 Wochen (n = 11). Die Werte in Klammern stellen die Standardabweichung dar

		Ausgangswerte		Zwischenunter-suchung		Abschlußunter-suchung	
GOT	U/l	13,0	(5,7)	13,0	(7,4)	11,5	(3,6)
Alkal. Serumphosph.	U/l	118,3	(39,5)	113,0	(42,4)	96,1	(3,6)
Lysozym	mg/l	5,9	(3,1)	6,8	(3,2)	6,6	(2,5)
Gesamt-Eiweiß	mg/dl	7,4	(0,5)	7,2	(0,4)	7,3	(0,4)
alpha-1-Globulin	rd/%	3,3	(0,6)	3,3	(0,8)	3,4	(0,7)
beta-Globulin	rd/%	10,0	(1,3)	10,1	(0,7)	10,0	(0,8)
gamma-Globulin	rd/%	13,9	(2,6)	14,5	(2,3)	15,5	(1,8)
alpha-2-Makroglobulin	rd/%	7,3	(1,3)	7,9	(1,2)	7,8	(1,3)
Albumin	rd/ %	65,5	(2,9)	64,2	(2,1)	63,4	(2,0)

Diskussion

Für den Leistungssportler sind die Spurenelemente, insbesondere Zink, während einer intensiven Trainingsphase von entscheidender Bedeutung (9, 13, 21, 26, 32). Konkrete Erkenntnisse über Ernährung und Supplementierung von Mineralien sowie deren Auswirkung auf die körperliche Leistungsfähigkeit erhalten unter diesem Aspekt ihr besonderes Gewicht. Auch die besonderen Ernährungsgewohnheiten vieler Leistungssportler können hier eine Rolle spielen. So ist z.B. eine kohlenhydratreiche Kost relativ arm an Zink. Die täglich empfohlene Zinkzufuhr für Erwachsene wurde von der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) auf 15 mg täglich festgelegt (30). Wegen des erhöhten Zinkbedarfs bei Leistungssportlern verabreichen wir in Ergänzung der üblichen Zinkaufnahme eine tägliche Supplementierung von 18,9 mg Zink im Prüfkollektiv.

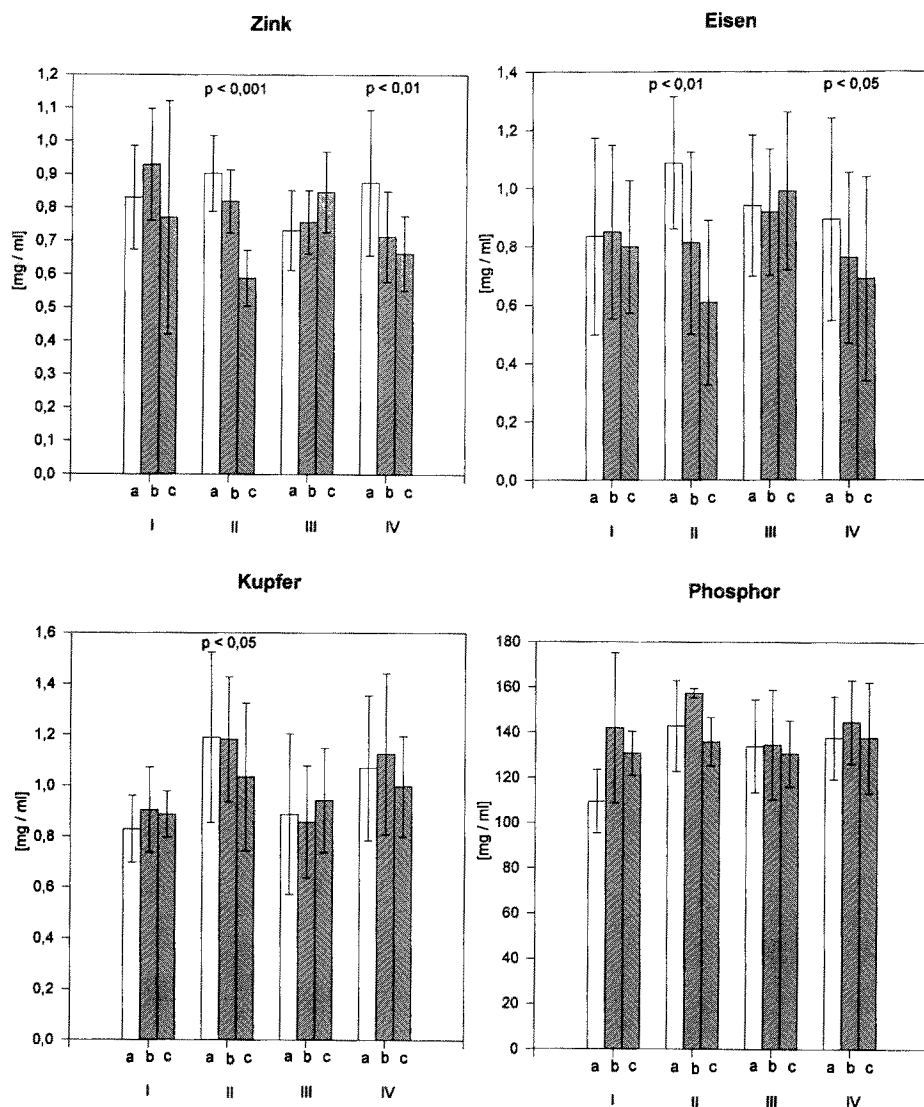


Abb 1. Veränderungen der Parameter von Zink, Eisen, Kupfer und Phosphor im:

- I: Vergleichskollektiv ohne Müsli-Kost
- II: Vergleichskollektiv mit Müsli-Kost
- III: Prüfkollektiv (Zinksupplementierung) ohne Müsli-Kost
- IV: Prüfkollektiv (Zinksupplementierung) mit Müsli-Kost
- a: zu Beginn der Untersuchung
- b: nach 4 Wochen
- c: nach 8 Wochen

Da eine Wirkung von Zinksupplementierung auf die Immunabwehr und Infektanfälligkeit in der Literatur häufig beschrieben wird, bestimmten wir zu Beginn, nach der 4. und 8. Woche die Subpopulationen der Lymphozyten (B- und T-Lymphozyten, CD3, CD4, CD8). Es konnten aber keine signifikanten Veränderungen in der zellulären Abwehr gefunden werden. Eine Schwächung der Immunabwehr war bisher in der Literatur nur bei ausgeprägtem Zinkmangel beschrieben worden. Offensichtlich waren die Zinkspiegel im Prüfkollektiv vor der Zinksupplementierung nicht so stark erniedrigt, um durch die Gabe von Zink einen signifikanten Einfluß auf die Lymphozytenpopulationen zu induzieren. Auffällig waren lediglich hohe Standardabweichungen der einzelnen Subpopulationen, die aber bereits in der Literatur beschrieben wurden (11, 15, 19, 22, 25, 27, 29, 33, 36).

Bei den Serumkonzentrationen von Kalium, Kalzium und Kupfer konnten keine auffälligen Veränderungen festgestellt werden. Lediglich im Prüfkollektiv (Untergruppe: ohne Müsli-Kost) fand sich eine leichte Abnahme von Magnesium und im Vergleichskollektiv (Untergruppe: ohne Müsli-Kost) eine, wenn auch nicht signifikante, Zunahme von Phosphor und eine leichte Abnahme von Kalium. Einflüsse von Zink auf die genannten Mineralien sind nicht bekannt, mit der einzigen Ausnahme, daß Zinkmangel die Resorption von Kupfer verbessern kann (18).

Die Zunahme der Aktivität der Alkalischen Phosphatase im Zusammenhang mit einem Anstieg des Zinkspiegels ist in der Tierphysiologie schon lange bekannt und wird dort für die Beurteilung einer erfolgreichen Zinksupplementierung herangezogen (12). Beim Lysozym konnte, bis auf einen leichten Anstieg der Mittelwerte, keinerlei Abhängigkeit von einer Zinksupplementierung bzw. vom Zinkspiegel erkannt werden.

Auffällig ist in dieser Studie, daß in der Müsli-Gruppe – sowohl mit Zinksupplementierung als auch ohne Zinksupplementierung – nach 4 und 8 Wochen ein signifikanter Abfall des Zinkserumspiegels zu verzeichnen war. Dies ist sicherlich durch eine schlechte Zinkverfügbarkeit bedingt, die wiederum mit dem in Müsli-Kost enthaltenen Phytat im Zusammenhang steht (1). Gleichzeitig fand sich auch ein signifikanter Abfall des Serumeisenspiegels in der Vergleichsgruppe mit Müsli-Kost, während im Prüfkollektiv (Zinksupplementierung) mit Getreiderohkost zwar kein signifikanter Abfall, jedoch eine Reduktion des Mittelwertes zu registrieren ist. Bei der Durchsicht von Literatur über tierexperimentelle Untersuchungen finden sich eindeutige Ergebnisse über den Einfluß phytathaltiger Kost auf die Resorption von Zink, Eisen, Kupfer, Phosphor und Mangan bei Schweinen und Ratten, die ähnlich dem Menschen Monogastrier sind (4, 5, 10, 14, 15, 24, 36). In diesem Zusammenhang ist sicherlich auch die signifikante Abnahme von Eisen und auch die leichte Abnahme des Mittelwertes von Kupfer in der Vergleichsgruppe mit Müsli-Kost zu sehen. In den beiden anderen Gruppen mit normaler Ernährung ist dagegen eine leichte Zunahme dieser Spurenelemente zu verzeichnen. In der Affinität zur Phytinsäure nehmen Zinkionen den ersten Platz ein (19, 20). Von den weiteren Spurenelementen kommen als Bindungspartner der Phytinsäure Kupfer und Mangan in Frage (4).

Die zinkbindende Fähigkeit der Phytinsäure wird durch Ca-Ionen noch verstärkt. Die Zubereitung von Müsli mit kalziumreichen Produkten wie Milch und Joghurt sorgt somit für die entsprechend hohe Kalziumkonzentration. Damit übereinstimmend lösen steigende Kalzium- und Phytatkonzentrationen bei tierphysiologischen Untersuchungen, besonders an Schweinen, schwere Zinkmangelzustände aus (16, 22,

23, 25). Eine zusätzliche Produktion an Phytasen wie durch die Mikroorganismen im Labmagen und Pansen von Wiederkäuern, existiert hier nicht bzw. wird im Enddarm auch nicht mehr wirksam (17).

Dagegen fand sich in der Vergleichsgruppe ohne Müsli-Kost und ohne Zinksupplementierung kein signifikanter Abfall von Zink im Serum. Dies läßt auf eine gute Resorption von Zink aus der Nahrung schließen, auch unter dem Aspekt des erhöhten Zinkbedarfs während der Wettkampfperiode. Die Tatsache, daß im Prüfkollektiv (Müsli-Kost) trotz zusätzlicher Zufuhr von Zink ein Abfall des Zinkspiegels zu verzeichnen war, läßt auf freie Bindungskapazitäten für Zinkionen am Phytatmolekül schließen. In diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß 100 g Weizen, Haferflocken oder Gerste immerhin ca. 4 mg Zink enthalten können. Außerdem finden sich hier nicht unerhebliche Mengen von Kupfer, Mangan, Eisen, Kobalt und Molybdän (12).

In dem Prüfkollektiv mit Zinksupplementierung und ohne Müsli-Kost zeigte sich ein signifikanter Anstieg von Zink im Serum. Offenbar wurde sowohl die applizierte Zinkmenge (18,9 mg), die bereits über dem empfohlenen Tagesbedarf für Erwachsene liegt, als auch das Zink aus der Nahrung sehr gut resorbiert.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß ein hoher zusätzlicher Anteil an Müsli, wie sie nun 2×100 g/Tag darstellten, in der täglichen Nahrung durch den Gehalt an Phytaten einen negativen Einfluß auf die Resorption von Spurenelementen hatten. Auf Grund der vorliegenden Ergebnisse kann man annehmen, daß auch bei gleichzeitiger Einnahme von Zink mit Getreiderohkost die Serumspiegel von diesen Mineralien erheblich beeinträchtigt sein können. Alle Getreidesorten enthalten neben Phytaten auch Phytasen (19). Unter diesen weist der Roggen besonders hohe Konzentrationen auf. Die Aktivität dieser Phytasen erreicht bei 50° C bis 60° C ihr Maximum. Die Phytate werden dann durch enzymatische Spaltung zerstört (6, 7, 8). Entscheidend für die Ergebnisse dieser Studie war aber offensichtlich die Tatsache, daß bei der Herstellung von Getreideflocken (Haferflocken, Gerstenflocken, Weizenflocken) eine Erhitzung bei 150 °C stattfindet. In den für die vorliegende Untersuchung eingesetzten Getreideprodukten dürften somit die Phytasen weitgehend inaktiviert gewesen sein, so daß in dem Phytat-Komplex gebundene Mineralien (Zink, Eisen, Kupfer, Phosphor) nicht freigesetzt und auch nicht resorbiert werden konnten.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. P. Schramel von der GSF Neuherberg für die Durchführung der Emissionsspektroskopie. Herrn Prof. B. Hölldobler, Herrn Prof. M. Lindauer und Herrn Dr. V. Neese vom Zoologischen Institut der Universität Würzburg danke ich für Diskussionsbeiträge und Literaturhinweise aus der Tierphysiologie.

Literatur

1. Barth J, Hansard SL (1962) Comparative availability of phytin and inorganic phosphorus to rumen microorganisms, invitro. *Proc Soc Exp Biol Med* 109:448-451
2. Berg A, Lais M, Huber G, Keul J (1985) Effekte einer biologischen Wirkstoffkombination auf die belastungsinduzierte Immunreaktion bei Ausdauersportlern. *Med Klin* 80:319
3. Davidenko JK, Sinic NN (1979) Wechselwirkung von Biometallen mit Orot- und 2-Thio-Orotsäure. *Koord Chim* 5:1

4. Davies NT, Nightingale R (1975) The effects of phytate on intestinal absorption and secretion of zinc, and whole-body retention of zinc, copper, iron and manganese in rats. *Br J* 34:243–258
5. Erdman JW (1979) Oilseed phytates: nutritional implications. *J Am Oil Chem Soc* 56:736–741
6. Fretzdorff B, Weipert D (1986) Phytinsäure in Getreide und Getreideerzeugnissen. Springer Verlag, 182:287–293
7. Fretzdorff B, Demold A (1992) Veröffentlichungs-Nr 6163 der Bundesanstalt für Getreide-Kartoffel- und Fettforschung. *Getreide, Mehl und Brot* 46:180–185
8. Fretzdorff B (1989) Veröffentl Nr 5732 der Bundesforschungsanstalt für Getreide- und Kartoffelverarbeitung, Detmold. Springer Verlag. *Lebensm Unters Forsch* 189:110–112
9. Haralambie G (1981) Serum Zinc in Athletes in Training. *Int J Sports Med* 2:135
10. Harrison DC, Mellanby E (1939) Phytic acid and the rickets-producing action of cereals. *Biochem J* 33:1660–1681
11. Jokl E (1985) Immunological status of athletes. Sudden death of athletes. Springfield: Thomas 68
12. Kirchgeßner M, Reichelmayr-Lais AM, Roth H-P (1983) In: Brätter P, Schamel P (eds) Trace elements – Analytical chemistry in medicine and biology. Walter de Gruyter & Co, Berlin New York, Vol 2:417
13. Krotkiewski M (1982) Zinc and muscle strength and endurance. *Acta Physiol Scand* 116:309
14. Lantzsch H-J, Hillenbrand S, Scheuermann SE (1988b) Vergleichende Untersuchungen an Jungratten und Ferkeln zur scheinbaren Phosphor-Absorption aus Weizen-, Gerste- und Maisdiäten. *J Anim Physiol Anim Nutr* 60:23
15. Lantzsch H-J, Scheuermann SE, Menke KH (1988a) Untersuchungen zur gastrointestinalen Hydrolyse von Phytat aus Weizen, Gerste und Mais bei jungen Schweinen. *J Anim Physiol Anim Nutr* 59:273–284
16. Lantzsch H-J, Scheuermann SE, Menke KH (1988c) Einfluß verschiedener Phytatherkünfte auf den P-, Ca- und Zn-Stoffwechsel junger Schweine bei unterschiedlicher Zn-Versorgung. *J Anim Physiol Anim Nutr* 60:146–157
17. Nelson TS, Daniels LB, Hall JR, Shields LG (1976) Hydrolysis of natural phytate phosphorus in the digestive tract of calves. *J Anim Sci* 42:1509–1512
18. Nielsen A-L (1944) On Serum Copper. *Acta physiol Scand* 7:271
19. Peter HH (1986) Immunsysteme und Infektanfälligkeit. *Dt Z f Sportmed* 11:348
20. Pointillart A (1991) Enhancement of phosphorus utilization in growing pigs fed phytate-rich diets by using rye bran. *J Anim Sci* 69:1109–1115
21. Prasad AS (1979) Clinical, biochemical and pharmacological role of zinc. *Ann Rev Pharmacol Toxicol* 20:393
22. Prasad A, Oberleas DJ (1970) Binding of zinc to amino acids and serum proteins in vitro. *J Lab Clin Med* 76:416
23. Punj ML, Kochar AS, Bhatia IS (1969) Utilization of phytin phosphorus by rumen microorganisms. *Indian Vet J* 46:881–886
24. Raun A, Cheng E, Burroughs W (1956) Phytate phosphorus hydrolysis and availability to rumen microorganisms. *J Agric Food Chem* 4:869–871
25. Reid RL, Franklin MC, Hallsworth EG (1947) The utilization of phytate phosphorus by sheep. *Austral Vet J* 23:136–140
26. Richardson JH, Drake PD (1979) The effects of zinc of fatigue on striated muscle. *J Sports Med* 19:133
27. Ricken KG, Kindermann W (1986) Der Immunstatus des Leistungssportlers – und Ursache der Infektanfälligkeit. *Z Sportmed Sonderheft* 37:38
28. Rilling S (1975) Zur Synopsis der Blutmineralien. *Erfahrungsheilkunde* 7:16
29. Schroeder HA, Nason AP (1971) Trace-element analysis in clinical chemistry. *Clin Chem* 6:461
30. Smith JC (1980) The vitamin-A-Zinc-connection: a review. *Ann NY Acad Sci* 355:63
31. Sundal E (1978) Bedeutung und Anwendungsmöglichkeiten von Zink in der Medizin. *Med Monatsschr Pharm* 11:338
32. Torre M, Rodriguez AR (1991) Critical Reviews in Food Science and Nutrition 1(1):1–22

33. Van der Meulen G (1987) Zink und Leistung. *Ortho Molekular* 3:21
34. Weiss M, Fuhrmanky R, Lulay R, Weicker H (1985) Häufigkeit und Ursache von Immunglobulinmangel bei Sportlern. *Dtsch Z Sportmed* 36, 5:146
35. Wilson R (1977) Zinc – a radical approach to disease. *New Sci* 558
36. Winter H (1988) Spurenelement Zink Teil I: Aspekte zur Biochemie, Physiologie, Ernährungswissenschaft und Toxikologie. *Dt Apotheker Z* 128, 19:996
37. Winter H (1988) Spurenelement Zink Teil II: Aspekte zur Diagnostik und Ätiologie des Zinkmangels sowie möglichen Indikationen und zur Therapie. *Dt Apotheker Z* 128, 20:1040

Eingegangen 11. Februar 1993

akzeptiert 24. Mai 1994

Anschrift des Verfassers:

PD Dr. F. Schardt, Medizinische Poliklinik Universität Würzburg, Klinikstraße 6/8,
97070 Würzburg