

Eine kleine Dosis Metalle
oder
Eine Einführung in die Toxikologie der
Metalle

Ein Buchkapitel aus
Eine kleine Dosis Toxikologie – Metalle
von
Steven G. Gilbert, PhD, DABT
Institute of Neurotoxicology & Neurological Disorders (INND)
Seattle, WA 98115

E-mail: sgilbert@innd.org

Supporting web sites
web: www.asmalldoseof.org - "A Small Dose of Toxicology"
web: www.toxipedia.org - Connecting Science and People

Einführung

Ein ausgezeichneter Mann ist wie ein Edelmetall in jeder Hinsicht unveränderbar; ein Bösewicht wird sich wie der Balken einer Waage ständig ändern, nach oben oder nach unten. **John Locke**

Metalle nehmen einen großen Raum im Periodensystem ein und leiten den Strom und die Wärme gut. Metalle bilden Kationen und ionische Bindungen mit Nicht-Metalle, wobei viele von ihnen für den Menschen - und das Leben generell- essenziell sind, wohingegen andere giftig sind. Metalle prägten und formten schon vor mehr als 4000 Jahren die Gesellschaft. In griechischen und römischen Dokumente wird sowohl die Giftigkeit als auch die potenzielle Heilwirkung von Metallen erwähnt. Arsen war sowohl als Gift als auch als Medikament bekannt

Die Verwendung von Metallen in unserer industrialisierten Gesellschaft verändert signifikant die natürliche Verteilung der Metalle in der Umgebung. Der Fortschritt und die Torheiten sind im grönländischen Eis gut dokumentiert. Das Blei in dem Eis Grönlands stieg um 800 v. Chr. an und dokumentiert die Verwendung und Verteilung als diese Zivilisation aufblühte und zu Grunde ging. Eine dramatische Zunahme erfolgte als Blei dem Treibstoff in den 1920er Jahren zugesetzt wurde. Insgesamt lässt sich eine 200 fache Zunahme an Blei aufgrund anthropogener Verwendung im grönländischen Eis feststellen.

Metalle können weder hergestellt noch zerstört werden, aber die Form kann sich verändern und somit auch die biologische Verfügbarkeit und Toxizität. Metallisches Quecksilber verdampft und verteilt sich in der Atmosphäre über die ganze Welt. Wenn Quecksilber auf dem Boden oder in das Wasser zurückkehrt, bilden Bakterien Methylquecksilber, welches durch größere Organismen aufgenommen wird und letztlich im Fisch, wie Thunfisch, landet, der Menschen und Tiere als Nahrung dient.

Die Prinzipien der Toxikologie, Dosis-Wirkung-Beziehungen und individuelle Empfindlichkeit, lassen sich gut an Metallen darstellen. Historisch galt das größte Interesse und Anliegen in den offensichtlichen Auswirkungen von Metallvergiftungen, wie Koliken bei Blei oder die „verrückten Hutmacher“ bei Quecksilber. Der Schwerpunkt hat sich nun verlagert auf subtilere und langfristige Auswirkungen, sowie die Sorge um potentiell empfindliche Personen. Es ist mittlerweile gut dokumentiert, dass Kinder, die auch geringe Mengen Blei ausgesetzt sind, einen niedrigeren IQ und andere Lernschwierigkeiten haben. Diese Erkenntnis führte zu Änderungen unserer Verwendung der Metalle.

Dieses Kapitel der Metalle ist in drei Abschnitte unterteilt:

1. für die Ernährung wichtige Metalle oder essenzielle Metalle
2. wichtige toxische Metalle
3. medizinisch nützliche Metalle.

Ein kurzer Abschnitt über Chelatbildner beschreibt den Gebrauch bei Überdosierung von Metallen. Es werden nur einige Metalle kurz besprochen und die wichtigsten Fakten über biologische und toxische Wirkungen genannt. (Im begleitenden Präsentationsmaterial gibt es für jedes Metall eine Folie, in dem die wichtigsten Fakten hervorgehoben sind). Die Metalle Arsen, Blei und Quecksilber werden im Detail in getrennten Kapiteln behandelt. Diese drei Metalle sind als persistente Kontaminanten bekannt und sind auch toxikologisch wichtig.

Für die Ernährung wichtige Metalle

Einführung

Unsere Existenz hängt von einer Reihe Metalle ab, wobei Eisen das häufigste ist. Einige der wichtigsten sind nachfolgend beschrieben. Da sie lebensnotwendige Elemente sind, wurden die Vor- und Nachteile sorgfältig untersucht und Empfehlungen zur täglichen Aufnahme gemacht. Diese Empfehlungen sind sehr breit gefächert und variieren abhängig vom Alter – Kind oder Erwachsener, jung oder alt – oder während der Schwangerschaft. Die nachfolgenden empfohlenen Tagesdosen gelten für Erwachsene. Diese Empfehlungen beziehen sich auf orale Exposition mit variabler intestinale Resorption und Abhängigkeit vom Metall, sowie anderen Variablen. Ein kurzer Blick auf die Verpackung von Frühstücksflocken zeigt die Wichtigkeit dieser Elemente.

Aufgrund der Notwendigkeit für das Leben, kann die Toxizität der Metalle entweder durch einen Mangel in der Nahrung oder durch ein Zuviel hervorgerufen werden. Im Folgenden soll der Fokus auf das Zuviel gerichtet werden. Eisenmangel ist allerdings erwähnenswert, dass dies ein Problem sowohl in den Vereinigten Staaten, als auch weltweit ist und Eisenmangel zu einer Bleitoxizität beitragen kann. Je nach Verabreichungsweg können Metallvergiftungen sehr unterschiedlich sein. Metalle wie Zink und Mangan können beim Einatmen sehr giftig sein. Wie wir bereits bei einigen Substanzen gesehen haben, gibt es eine gute und schlechte Seite, je nach Expositionsweg und -höhe.

Zusammenfassende Tabelle – Wichtige Metalle in der Ernährung

Tab. 7.1 Zusammenfassung der für die Ernährung wichtigen Metalle

Metall	Funktion	Quelle	Toxizität (im Übermaß)	Empfohlene tägliche Aufnahme
Chrom (Cr)	Steht im Zusammenhang mit Insulin	In Nahrungsmitteln	Nierenschaden, Lungenkrebs (Inhalation)	50 bis 200 µg (Cr ³⁺)
Kupfer (Cu)	Hämoglobinsynthese	In Nahrungsmitteln	Toxizität ist sehr selten, betroffen beim Übermaß: Leber und Niere	1.5-3.0 mg
Eisen (Fe)	Hämoglobin	In Nahrungsmitteln	Magen-Darmtrakt, Leberschaden	10 bis 15 mg
Magnesium (Mg)	Kommt in Enzymen vor	In Nahrungsmitteln, Getreide und Nüsse	Mangel - neuromuskuläre Schwäche, Krämpfe	280 bis 350 mg
Mangan (Mn)	Kommt in Enzymen vor	In Nahrungsmitteln, Inhalation beim Schweißen	Parkinson ähnliches Syndrom	2 bis 5 mg
Selen (Se)	Anticancer	In Nahrungsmitteln	Herz	55 bis 70 µg
Zink (Zn)	Kommt in Enzymen vor	In Nahrungsmitteln	Mangel - beeinträchtigt Wachstum	12 bis 15 mg

Chrom (Cr)

Chrom ist ein häufig vorkommendes Element, welches in den Oxidationsstufen Cr²⁺ bis Cr⁶⁺ vorkommt, wobei Cr³⁺ biologisch und Cr⁶⁺ industriell wichtig ist. Cr³⁺ steht in Verbindung mit Insulin und der Regulation von Glukose. Die empfohlene Tagesdosis beträgt 20-2 µg. (Cr⁶⁺) kommt in einer Reihe industrieller Anwendungen vor, so in Legierungen aus rostfreiem Stahl und beim Gerben vom Leder, allerdings ist es sehr giftig. Die gravierendste industrielle Exposition geschieht beim Einatmen und ist am

deutlichsten in der Chromproduktionen- und Beschichtungsindustrie. Eine akute Exposition verursacht Nierenschäden, Hautkontakt kann zu einer Kontaktdermatitis führen und beim Einatmen kann die Nasenschleimhaut gereizt werden. Auch als Lungenkarzinogen sollte es betrachtet werden.

Kupfer (Cu)

Kupfer ist in der Hämoglobinsynthese beteiligt und eine Toxizität, sei es durch Mangel oder Überschuss, ist bei Menschen selten. Die empfohlene Tagesdosis liegt bei 1,5-3,0 mg. Es ist in einer Reihe von Produkten, wie auch im Sanitärbereich, in Drähten und steht mittlerweile auch als Ergänzungsmittel zur Verfügung. Kupfermangel wurde mit Anämie in Verbindung gebracht, aber in der Regel sind noch größere Ernährungsprobleme vorhanden. Weidetiere, wie Rinder, können zu viel Kupfer aufnehmen, was die Leber und Niere beeinträchtigt. Kupfer ist für Wasserorganismen giftiger als für Säugetiere und stellt eine wichtige Umweltverunreinigung des Wassers dar.

Eisen (Fe)

Im Körper sind 3-5 g Eisen, wovon zwei Drittel an Hämoglobin der Blutzellen gebunden ist. Die empfohlene Tagesdosis beträgt 10-15 mg und steigt während der Schwangerschaft auf 30 mg. Eisenmangel ist der häufigste Stoffmangel weltweit, der sowohl Kinder als auch Erwachsene betrifft. Aus Eisenmangel resultiert Anämie oder hat eine Einschränkung der Fähigkeit des Blutes, Sauerstoff zu transportieren, zur Folge. Im Magen-Darm-Trakt wird aktiv Eisen aufgenommen. Bei geringen Anteil Eisen in der Nahrung werden andere Metalle – wie Blei – aufgenommen, was zu einer steigenden Bleivergiftung führt. Vor der Einführung von kindersicheren Verschlüssen an Medikamenten, litten Kinder oft an den akuten Nachwirkungen einer Eisenvergiftung. Nachdem sie Eisenpräparate eingenommen hatten, zeigten sich Symptome wie Erbrechen, Leberschäden, Schock, Nierenversagen und sogar Tod. Chronische Einwirkung von zu viel Eisen kann zu Geschwüren des Verdauungstraktes führen, was sich wiederum in blutigem Erbrechen und schwarzem Kot zeigt.

Magnesium (Mg)

Das ernährungsphysiologisch wichtige Metall Magnesium kommt in Getreide, Fisch, Nüsse, Fleisch und im Trinkwasser vor. Die empfohlene Tagesdosis liegt im Bereich von 280-350 mg, sowohl für Frauen als auch für Männer. Es kommt auch in einer Reihe von Antazida und Abführmittel vor. Eine Milch von Magnesia oder Magnesiumhydroxid ist als universelles Gegenmittel bei Vergiftungen bekannt. Magnesium ist ein Kofaktor in zahlreichen lebensnotwendigen Enzymen und ist in mehreren wichtigen

Stoffwechselreaktionen beteiligt. Magnesium wird hauptsächlich im Dünndarm resorbiert und täglich werden etwa 12 mg im Urin ausgeschieden. Die Magnesiumspiegel sind konstant und werden durch den Körper reguliert.

In der Regel ist ein Magnesiummangel das Ergebnis einer verminderten Resorption oder einer übermäßigen Ausscheidung und führt zu neuromuskulären Schwächen und Krämpfen. Eine Mangelernährung bei Rindern ist als „grass staggers“ bekannt. Eine Magnesiumvergiftung aufgrund einer gestörten Exposition oder übermäßiger Aufnahme von Antazida führt zu Übelkeit, Erbrechen, Blutdruckabfall und Beeinträchtigungen des zentralen Nervensystems.

Mangan (Mn)

Mangan ist ein Element, welches in vielen enzymatischen Reaktionen, insbesondere des Fettsäurestoffwechsels, beteiligt ist. Die Aufnahme im Darmtrakt ist schlecht (weniger als 5 %), aber in Getreide, Früchte, Nüsse und Tee ist es leicht verfügbar. Die empfohlene Tagesdosis beträgt 2-5 mg. Es gibt ein steigendes Interesse an der Mangantoxizität, wegen der Verwendung als Kraftstoffadditiv, wie MMT (Methylcyclopentadienylmangantricarbonyl), welches als Mangansalz durch die Auspuffrohre der Autos in der Umwelt verteilt wird. Mangan wird auch für Stahllegierungen verwendet. Das Einatmen von Manganstaub während des Manganabbaus oder bei der Stahlproduktion können Erkrankungen der Atemwege verursachen. Manganexposition können auch zu schweren Erkrankungen des Nervensystems, die sich in Bewegungsstörungen einer Parkinson-Krankheit, zeigen. Dieses ist gekennzeichnet durch die Schwierigkeit beim Gehen, Reizbarkeit und Sprachschwierigkeiten. Weitere Forschungen über die möglichen nachteiligen Auswirkungen durch die Verwendung als Kraftstoffzusatz sind im Gange.

Selen (Se)

Selen kommt in einer Vielzahl von Lebensmittel wie Garnelen, Fleisch, Milchprodukte und Getreide vor. Die empfohlene Tagesdosis beträgt 55-70 µg. Selen kommt in mehreren Oxidationsstufen vor, wobei Se^{6+} biologisch am wichtigsten ist. Selen wird leicht im Darm aufgenommen und in den Geweben des Körpers verteilt, wobei die höchsten Werte in der Leber und Niere erreicht werden. Selen ist in einer Vielzahl von Zellfunktionen beteiligt und wirkt auch zusammen mit Vitamin E. Selen scheint die toxischen Effekte von Metallen, wie Kadmium und Quecksilber zu reduzieren, und auch antikarzinogene Aktivität aufzuweisen. Selen zeigt sowohl bei Überschuss, als auch bei Mangel Nebenwirkungen, die empfohlene Tagesdosis für Erwachsene beträgt 70 µg und sollte nicht mehr als 200 µg überschreiten.

Eine überschüssige Selenaufnahme kommt bei Tieren und Menschen vor, die in Gebieten mit erhöhten Selenvorkommen im Boden leben. Die meisten Gräser und Getreide speichern kein Selen, aber wenn ein Tier Pflanzen frisst, die Selen speichern (einige bis zu 10 000 mg/kg), kann es zu Symptomen kommen, die als „blind stagger“ bekannt sind. Diese Symptome sind: verminderter Appetit, Sehstörungen, im Kreis taumeln und schließlich Lähmungen und Tod. Menschen sind für ähnliche Effekte anfällig, sowie für weitere neurologische Wirkungen. Selenmangel führt zu Herzerkrankungen, Skelettmuskelschäden und Leberschaden.

Zink (Zn)

Zink spielt eine wichtige Rolle im Körper und ein Mangel kann zu schwerwiegenden Nebenwirkungen führen. Die empfohlene Tagesdosis beträgt 12-15 mg. Zink ist sehr verbreitet in der Umwelt und steht in mehreren Nahrungsmitteln, wie Getreide, Nüsse, Hülsenfrüchte, Fleisch, Meeresfrüchte und Milchprodukte zur Verfügung. Zahlreiche Enzyme benötigen Zink, ebenso wie Proteine, welche für die Genexpression zuständig sind. Zink spielt eine Rolle im Immunsystem und ist auch für die Entwicklung und Funktion des Nervensystems notwendig.

Zinkmangel während der fetalen Entwicklung oder beim Kleinkind kann das Wachstum beeinträchtigen und führt zu Krankheitsanfälligkeit, Beeinträchtigung der Heilung, Haarausfall Störungen des zentralen Nervensystems. Einigen Studien zufolge steht ein Zinkmangel beim Erwachsenen im Zusammenhang mit neurologischen Erkrankungen wie die Alzheimer-Krankheit. Krankheiten die ebenfalls mit Zinkmangel verbunden sind sind Lebererkrankungen aufgrund von übermäßigem Alkoholkonsum. Zahlreiche Medikamente, insbesondere Chelatoren und einige Antibiotika, beeinflussen das Zinkgleichgewicht. Die Exposition von Zink und anderen Metallen beim Schweißen kann „Metallampffieber“ verursachen, welches durch Schüttelfrost, Fieber, Schwäche und Schwitzen gekennzeichnet ist.

Toxikologisch wichtige Metalle

Einführung

Während einige Metalle ernährungsphysiologisch wichtig sind, gibt es eine andere Gruppe Metalle ohne biologischen Vorteil und in einigen mit Fällen sogar mit ernsthaft toxischen Folgen. Die komplexe Beziehung zu Metallen wird durch Blei illustriert, welches für eine Vielzahl von Anwendungen seit dem Altertum verwendet wird. In den letzten 100 Jahren wurde Blei in Farbe und als Treibstoffadditiv weitgehend zugesetzt. In den letzten 100 Jahren wurde festgestellt, dass Kinder, die einer geringen Menge Blei ausgesetzt sind, unter bleibende Hirnschäden

und Intelligenz leiden. Dieser weltweiter Gebrauch und die Verteilung von Blei hat erhebliche Auswirkungen auf Individuen als auch auf die Gesellschaft. Eine ähnliche Geschichte gibt es auch für Quecksilber. Die Beispiele von Blei und Quecksilber verdeutlichen die Grundprinzipien der Toxikologie – Dosis-Wirkungsbeziehungen und die individuelle Sensitivität.

Zusammenfassende Tabelle – Toxische Metalle

Tab. 7.2 Zusammenfassung toxischer Metalle

Metall	Toxische Effekte	Quelle
Aluminium (Al)	Dialyseudemenz	Während der Dialyse, Nahrung, Trinkwasser
Arsen (As) (kommt in unterschiedl. Formen vor)	Krebs (Haut und Lunge) Neurotoxische (sensorische) Effekte, Leber und Gefäße	Trinkwasser, Schmelzen von Erzen, in Pestizide, behandeltem Holz
Beryllium (Be)	Lunge, Hypersensitivität, verzögerte und progressive Effekte (Berylliose), Kontaktdermatitis	Kernkraftwerk, Legierungen, Kohleverbrennung
Cadmium (Cd)	Lunge, Emphysem, Niere, Calciummetabolismus, möglicher Lungenkarzinogen	Muscheln, Zigarettenrauch, wird von Pflanzen aufgenommen, Metall-Legierung beim Schweißen
Cobalt (Co)	Inhalation "Schwermetall" Pneumoconiose	Legierung – auch in Zusammenhang mit Vitamin B ₁₂
Blei (Pb)	Verminderte Lern- und Gedächtnisfähigkeit (Kinder sind sehr empfindlich)	Ältere Farbe, Nahrungsmittel, früher als Benzinzusatz, Autobatterien
Quecksilber anorganisch (Hg)	Tremor, Erregbarkeit, Gedächtnisverlust, die "verrückte Hutmacher"	Thermometer, Schalter, Leuchtstoffröhren, einige Knopfzellen
Quecksilber - organisch (Hg-CH ₃)	Tremor, Auswirkungen auf die Entwicklung des Nervensystems	Fisch
Nickel	Lungencarcinogen, Kontakt-dermatitis	Schmuck, Küchenutensilien, andere Nickel haltige Gegenstände
Zinn (Sn)	anorganisch – gering, Lunge Organisch – zentrales Nervensystem	anorganisch – Lebensmittelverpackungen, Staub; Organisch - selten

Aluminium (Al)

Aluminium wurde zum ersten Mal 1920 isoliert und inzwischen als häufigstes Metall der Umwelt anerkannt. Diese Menge zeigt sich geschichtlich nicht in der biologischen Verfügbarkeit, dass es hoch reaktiv ist und an einer Reihe von Elementen gebunden bleibt. Saurer Regen hat jedoch die Bioverfügbarkeit von Aluminium in der Umgebung erhöht. Aluminium wird in einer großen Palette von Produkten in Flugzeugen verwendet, als Bier- und Getränkedosen und Pfannen. Eine Aluminiumexposition auf den Menschen kommt über das Trinkwasser zu Stande. Die Tagesdosis reicht von 1-10 mg. Aluminium wird schlecht im Darm resorbiert und scheint auch keine wesentliche biologische Funktion zu haben.

Die neurologischen Effekte von Aluminium wurden erstmals bei dialysepflichtigen Menschen in der Behandlung beim Nierenversagen beobachtet. Dieses als Dialyse-Demenz bezeichnete Syndrom beginnt mit Sprachstörungen und im weiteren Verlauf kommen noch Demenz und Krämpfe hinzu. Die Symptome korrelieren mit den steigenden Aluminiumwerten, die in Knochen, Gehirn und Muskeln nach 3-7 Jahre Behandlung gefunden werden. Erhöhte Aluminiumkonzentrationen wurden auch im Gehirn von Menschen mit Alzheimer Krankheit gefunden. Trotz erheblicher Forschung ist noch nicht klar, ob diese Aluminiumansammlungen im Gehirn die Ursache oder die Folgen einer Gehirnsveränderung aufgrund dieser Krankheit sind.

Arsen (As)

Arsen hat eine bewegte Geschichte, weil es mit erheblichen Wirkungen als Gift verwendet wurde, als auch für Medikamente, einschließlich zur Krebsbehandlung. Seine Eigenschaften wurden erstmals vor über 2000 Jahre untersucht und trugen zu den ersten Theorien über Toxikologie bei. Trotz seiner Giftigkeit kann Arsen in der Kosmetik des 20. Jahrhunderts noch gefunden werden. Bevor die toxischen Eigenschaften von Arsen erkannt wurden, war Arsen als Schädlingsbekämpfungsmittel in Obstplantagen im Einsatz, was zu einer Bodenverschmutzung führte. Im Wohnungsbau behandeltes Holz enthält mehrheitlich Arsen. Eine Arbeitsplatzexposition erfolgt bei der Verhüttung von Erzen und Arsen ist darüber hinaus auch in der elektronikverarbeitenden Industrie weit verbreitet. Der Nachweis von Arsen im Trinkwasser erregte in der Öffentlichkeit für eine erhebliche Besorgnis, die zu mehreren von der Regierung veranlassten großen Studien führte. Einige kommunale Wasserversorgungen wie auch Brunnenwasser können einen erhöhten Arsengehalt aufweisen.

Chemisch ist Arsen komplex, da es eine Vielzahl an Oxidationsstufen aufweisen kann, dreiwertig (Arsentrioxid für die Computerchipherstellung) und fünfwertig (Arsensäure). Arsen wird in Hautzellen, Schweiß, Haare und Fingernägel ausgeschieden, das sich als weiße Querstreifen im Fingernagel zeigt. Eine akute Arsenexposition führt zu Magen-Darmschmerzen, Sensibilitätsstörungen, Herz-Kreislauf-Versagen und zum Tod. Eine

chronische Exposition oder das Überleben der akuten Exposition führen zu einem Verlust der peripheren sensorischen Funktionen und des zentralen Nervensystems. Chronische Arsenexposition kann auch zu Lungen- und Hautkrebs führen.

Beryllium (Be)

Beryllium ist ein wichtiges Metall in der Stromindustrie, welches zusammen mit anderen Metallen eingesetzt wird. Seine Anwesenheit in Kohle und Öl führt zu einer jährlichen Freisetzung von 1250 t in die Umwelt. Eine Exposition findet in erster Linie über Einatmen statt und Hautkontakt kann zu Dermatitis führen. Auch in Zigarettenrauch ist etwas vorhanden. Zuerst verteilt es sich in der Leber und wird dann im Knochen resorbiert.

Eine Kontaktdermatitis und Hypersensitivität auf Beryllium ist die häufigste giftige Reaktion. Das Einatmen von Beryllium am Arbeitsplatz kann schwerwiegende Folgen haben. Eine akute Exposition kann zu Entzündungsreaktionen in den gesamten Atemwegen führen. Dies ist eine ernste und fortschreitende degenerative Erkrankung, bei der die Lunge zunehmend fibrotisiert und dadurch ihre Aufgabe nicht mehr erfüllen kann. Langzeit-Exposition kann zu Lungenkrebs führen und die internationalen Zulassungsbehörden haben Beryllium als ein Karzinogen eingestuft.

Cadmium (Cd)

Cadmium ist ein weit verbreitetes Metall, welches in einer Reihe von Verbraucherprodukten vorkommt. Es wird auch in vielen bei Herstellungsprozessen verwendet. Cadmium kann in Schalentieren und in - auf Cadmium belastete Böden angebaute Pflanzen - vorkommen. Die Aufnahme wird erhöht, wenn nur geringe Mengen an Eisen oder Calcium in der Nahrung sind. Einige Pflanzen, wie Tabak, können Cadmium aus dem Boden konzentrieren. Da die Lunge leicht Cadmium absorbiert, haben Zigarettenraucher eine erhöhte Cadmiumexposition. Cadmium wird auch für Metall-Legierungen verwendet, sowie in Farbe und Batterien (Ni-Cd). Eine Arbeitsplatzexposition kann beim Schweißen und bei der Batterieherstellung auftreten.

Bei oraler Cadmiumaufnahme beträgt die Absorption weniger als 100 %, wohingegen die Inhalation zu einer höheren Absorption durch die Lungen führt. Cadmium reichert sich in der Leber und Niere an, wobei die Nieren besonders wichtig für die Cadmiumbindung und die Entgiftung ist. Die Aufnahme hoher Cadmiummengen bei akuter Exposition führt zu Bauchschmerzen, Übelkeit und Erbrechen, während eine Exposition durch Inhalation zu Atemstörung (Lungenödem oder Ansammlung von Flüssigkeit in der Lunge) führt. Eine chronische Exposition kann eine obstruktive Lungenkrankheit, Emphysem und Nierenerkrankungen bewirken. Cadmium kann auch zu einem steigenden Blutdruck (Hypertension) beitragen und es ist ein mögliches

Lungenkarzinogen. Cadmium beeinflusst ebenso den Calciummetabolismus und kann zu einem Knochenverlust führen. Diese Bedingung wird als „Itai-Itai“-Krankheit bezeichnet, was auf Japanisch „Aua-Aua“ bedeutet und auf die Knochenschmerzen zurückzuführen sind, die von den Auswirkungen des Cadmiums auf Calcium herrühren.

Kobalt (Co)

Kobalt ist in kleinen Mengen ein essenzielles Element und steht in Verbindung mit Vitamin B₁₂, in hohen Mengen ist es aber toxisch. Es gibt keine empfohlene Tagesdosis für Kobalt, weil Bakterien es zum Herstellen von Cobalamin verwenden, was wiederum ein notwendiger Bestandteil von Vitamin B₁₂ ist. Industriell wird Kobalt für Pigmente, Permanentmagneten und als Legierung verwendet, um Hartmetalle für Bohrer und Hartmetallmesser herzustellen.

Hohe chronische orale Kobaltseinnahmen wurden verwendet, um eine Anämie zu behandeln. Kobalt kann aber auch einen Kropf verursachen. Hoher Kobaltskonsum kann zu Erbrechen, Durchfall, Wärmgefühl und Herzversagen führen. Letzteres wurde in einem Zeitraum festgestellt, als Kobalt zur Verbesserung der Schaumbildung des Bieres zugesetzt wurde. Beim Einatmen von Kobalt, beispielsweise in den Metallschleifscheiben zum Schärfen, kann es zu einer Hartmetall-Staublung kommen, eine fortschreitende Lungenerkrankung.

Blei (Pb)

Blei war im römischen Reich genauso wichtig wie im 20. Jahrhundert und die Verwendung war ähnlich katastrophal. Wegen der leichten Verformbarkeit und des niedrigen Schmelzpunktes wurde es im römischen Reich für Wasserleitungen verwendet, dem Gebrauch zum Verschweißen der Wasserleitungen Jahrhunderte später nicht ganz unähnlich. Die Römer fügten auch Blei als Süßstoff- und Konservierungsmittel dem Wein zu. Im 20. Jahrhundert wurde Blei häufig in Farben gemischt – manchmal mehr als 50 % – was in der Tat zu einer hervorragend lang anhaltenden Farbe führte. Der süße Geschmack von Blei verführte Kinder, die getrocknete Farbe ähnlich wie Chips zu essen, ein Verhalten das als Pica oder Pica-Syndrom¹ bezeichnet wird. Aufgrund seines niedrigen Schmelzpunktes wurde Blei auch für die Schweißnähte der Nahrungsmittel enthaltenen Blechdosen und im Sanitärbereich verwendet. Blei wurde auch dem Benzin hinzugefügt, um die Haltbarkeit des Automotors zu verbessern. Dies wurde von einigen als die größte gesundheitliche Katastrophe des 20. Jahrhunderts bezeichnet. Blei wurde aus den Auspuffrohren der Autos freigesetzt und belastete sowohl die lokalen als auch

¹ – nach lat.: pica (Elster) – eine seltene Essstörung, bei der Menschen Dinge zu sich nehmen, die allgemein als ungenießbar oder auch ekelregend angesehen werden (Wikipedia, Juli 2015 (Pica-Syndrom)).

entfernte Gebiete. Bei oraler Einnahme absorbieren Kinder bis zu 50 % des Bleis und verdrängen dadurch das dringend benötigte Kalzium. Im Gegensatz dazu absorbieren Erwachsene nur etwa 10 % der oral aufgenommenen Bleimenge. Blei stellt immer noch ein ernsthaftes Problem in der Nähe von Hüttenwerke und Wohnungen mit bleihaltigen Anstrichen dar. Als die Toxizität von Blei auch bei geringerer Menge erkannt wurde, wurde es in Farbe und Benzin verboten.

Der Grieche Dioscurides erkannte im zweiten Jahrhundert v. Chr. die gesundheitlichen Auswirkungen von Blei und erklärte „Blei macht den Geist schwach“. Im 18. Jahrhundert bemerkte Benjamin Franklin dass Bleiexposition zu „Koliken“ oder Magenverstimmung führt. Maler, die bleihaltige Farbe verwendeten, litten an „fallende Hände“ und weiteren Nebeneffekten hervorgerufen durch das Blei auf das periphere Nervensystem. An der wende des 20. Jahrhunderts wurde erkannt, dass Kinder besonders anfällig gegenüber hohen Bleiwerten sind, die in einer Schwellung des Gehirns, Nierenerkrankungen, Auswirkungen auf das Hämoglobin und möglicherweise den Tod zur Folge haben. 1970 belegt eine Studie, dass selbst geringe Mengen an Bleiexposition die Entwicklung des Nervensystems beeinträchtigen können. Mittlerweile ist allgemein anerkannt, dass Blei ein sehr starkes Nervengift ist. Australien verbot die Verwendung von Blei in Farben 1920, aber in den USA wurde dies erst 50 Jahre später verboten. Im Durchschnitt zeigte sich der stärkste Rückgang in Blutwerten von Kindern nach dem Ausstieg aus dem Bleizusatz in Benzin 1980. Das amerikanische Gesundheitsministerium (Centers for Disease Prevention and Control, CDC) legte als Richtwert einen Wert von Blei im Blut von 100 µg/L fest. Bei dieser Zahl ist kein Sicherheitsfaktor enthalten und es gibt ausreichende Daten, die zeigen, dass das Nervensystem von Kindern bei einem Bleiblutwert von 100 µg/L beschädigt werden kann daher dieser Wert gesenkt werden muss (siehe Kapitel über Blei).

Quecksilber – anorganisch (Hg)

Anorganisches Quecksilber ist bei Raumtemperatur eine silbrig glänzende Flüssigkeit. Gegenstände werden von Quecksilber kaum benetzt. Quecksilber verdampft leicht und es gibt ernsthafte gesundheitliche Konsequenzen beim Einatmen von Quecksilberdampf. Aufgrund seiner reaktiven Eigenschaften und die Fähigkeit mit anderen Metallen Amalgame zu bilden, wurde es bei Atomwaffen und Goldbergbau verwendet. Für den Abbau des Goldes wurde Quecksilber mit der Metall Mischung erhitzt und das Quecksilber anschließend verdampft. Dabei blieb das Gold zurück. Dieses Verfahren führte zu einer signifikanten Freisetzung von Quecksilber in die Atmosphäre. Die atmosphärische Zirkulation sorgte für die weltweite Verbreitung des Quecksilbers. Wenn anorganisches Quecksilber auf die Erde oder in das Wasser gelangt bilden sich organische Quecksilberverbindungen (siehe unten). Es gibt Bestrebungen, die wachsende Verwendung von Quecksilber aus Konsumgüter zu entfernen. Thermometer, Schalter (Thermostate), Leuchtstoffröhren und wissenschaftliche Instrumente enthalten Quecksilber. Viele von uns tragen Quecksilber als Silberamalgam im Mund.

Zahnfüllungen enthalten etwa 50 % Quecksilber. Dieses Quecksilber wird in Krematorien freigesetzt und stellt eine wichtige Quelle des Quecksilbers in der Atmosphäre dar. Zahnarztpraxen sind ebenfalls eine wichtige Quelle für Quecksilber in der Abfallentsorgung und anschließend auch für die Umwelt. Quecksilber wurde auch verwendet, um eine Vielzahl von Krankheiten – einschließlich Syphilis – zu behandeln. Kohle enthält ebenfalls Quecksilber und die Verbrennung von Kohle in Kohlekraftwerken stellt ebenfalls eine wichtige Quelle atmosphärischen Quecksilbers dar. Auch wenn die menschliche Tätigkeit einen wesentlichen Beitrag zur Freisetzung von Quecksilber leistet, gibt es auch natürliche Freisetzungen von Quecksilber aus dem Boden und aus vulkanischer Aktivität.

Die Giftwirkungen von Quecksilberdampf sind gut dokumentiert und auch in der Literatur wird davon berichtet wie von den „verrückten Hutmacher“ in Louis Carols „Alice im Wunderland“. Quecksilber wurde verwendet, um den Filz der Hüte haltbar zu machen. Die Arbeiter entwickelten die charakteristischen Anzeichen einer Quecksilberdampfvergiftung. Eine akute Exposition gegenüber hohen Quecksilberdampfkonzentrationen verursacht eine Atemnot, die tödlich sein kann. Zu den Symptomen einer chronischen Exposition gehören Veränderungen der Persönlichkeit, Reizbarkeit, Depressionen, Gedächtnisverlust, Verlust der Feinmotorik (das Zittern kann immer schlimmer werden), die Zahnfleischentzündungen (Gingivitis) und Halluzinationen. Es gibt Quecksilberausdünstungen von Amalgamfüllungen, aber die meisten Menschen zeigen keine gesundheitlichen Schäden. Metallisches Quecksilber wird schlecht über den Darm aufgenommen und daher ist es weniger gefährlich das Thermometerquecksilber zu schlucken, als die Dämpfe einzuatmen (siehe Kapitel über Quecksilber).

Quecksilber – organisch (überwiegend Hg-CH₃)

Es gibt verschiedene organische Quecksilberverbindungen, aber bei weitem die wichtigste in Bezug auf gesundheitliche Auswirkungen, ist Methylquecksilber. Bei Abscheidung atmosphärischen Quecksilbers im Boden oder im Wasser wird es von Bakterien in Methylquecksilber umgewandelt. Quecksilberverbindungen sind sehr giftig und die Umwandlung des anorganischen Quecksilbers in Methylquecksilber verringert die Toxizität für die Bakterien. Kleintiere konsumieren die Bakterien zusammen mit dem Methylquecksilber und größere Tiere wiederum fressen die kleinere und erhöhen so die Konzentrationen von Methylquecksilber. Methylquecksilber reichert sich in den größeren fleischfressenden Tieren an, von denen die wichtigsten Fische wie Thunfisch, Hecht und Hai sind. Da es sich dort in den Muskel des Fisches anreichert, ist es praktisch unmöglich, die Aufnahme von Methylquecksilber ein Fischverzehr zu vermeiden. Methylquecksilber wird leicht aus dem Darm absorbiert und gelangt über die Blut-Hirn-Schranke und die Plazentaschranke.

Die verheerenden drastischen gesundheitlichen Auswirkungen wurden zunächst in Minamata (Japan) in den späten 1950 er Jahren bei Fischer und deren Familien

dokumentiert. Eine weitere Quecksilbervergiftung ereignete sich im Irak, als die Bevölkerung Saatgut verzehrte, welches mit quecksilberhaltigen Fungiziden behandelt war. Beide Vorfälle betrafen tausende von Menschen und die negativen Auswirkungen auf die Entwicklung von Quecksilber wurden dadurch deutlich vor Augen geführt. Frühe Anzeichen einer Quecksilbervergiftung sind Kribbeln und eine Taubheit um den Mund und Lippen, wobei sich das taube Gefühl bis zu den Fingern und Zehen ausdehnen kann. Fortgesetzt Exposition führt zu Gehschwierigkeiten, Müdigkeit, Konzentrationsschwäche, Verlust der Sehkraft, Tremor und schließlich zum Tod. Der sich entwickelnden Fötus und Kleinkinder sind besonders empfindlich auf die Auswirkungen einer Methylquecksilberexposition. Die ersten Gefahren von Quecksilber in Zusammenhang mit seiner weiten Verbreitung haben zu zahlreichen Gesundheitswarnungen und Beschränkungen beim Fischkonsum geführt. In der Regel wird Frauen im gebärfähigen Alter und Kindern empfohlen, den Verzehr von Fischarten, die für eine Quecksilberanreicherung bekannt sind, zu begrenzen. Die amerikanische Gesundheitsbehörde (FDA) empfiehlt eine Quecksilberkonzentration von in Dosen verpackten Thunfisch von 1 ppm (siehe Kapitel über Quecksilber).

Nickel (Ni)

Nickel wird häufig als Metalllegierungskomponente in rostfreiem Stahl eingesetzt, wo es die Härte und die Korrosionsbeständigkeit erhöht. Nickel ist auch in für die Elektronik und Elektrofahrzeugen verwendeten Nickel-Hydridbatterien enthalten. Es ist in der Umwelt weit verbreitet und scheint ein essenzielles Element für einige Pflanzen und Bakterien zu sein. In Lebensmitteln ist es in geringen Konzentrationen vorhanden. Eine ernsthafte Exposition findet durch Einatmen am Arbeitsplatz statt. Eine Exposition der allgemeinen Bevölkerung findet übrigens in Schmuck, Küchengegenstände und andere Nickel enthaltene Metalle statt.

Für die allgemeine Bevölkerung besteht eine primäre Gesundheitsgefahr in einer allergischen Reaktion durch Hautkontakt. Am Arbeitsplatz kann das Einatmen von Nickelverbindungen zu Krebs der Atemwege, insbesondere zu Lungen- und Nasenkrebs führen. Nickel ist eines der wenigen gesicherten Karzinogene. Die Gefahr einer Kontaktdermatitis ist auch am Arbeitsplatz vorhanden.

Zinn (Sn)

Zinn ist ein anderes Metall, welches eine Vielzahl von Anwendungen aufweist. In der anorganischen Form wird es in Lebensmittelverpackungen, Lötmetalle, Messing und in Legierungen mit anderen Metallen eingesetzt. Als Organometallverbindung wird es als Triethylzinn und Trimethylzinn in Fungizide, Bakterizide und als Antifaulmittel für Boote verwendet.

Anorganisches Zinn wird schlecht im Darm absorbiert und eine Vergiftung ist selten. Fortgesetztes Einatmen von Zinkstaub kann zu Lungenerkrankung führen. Organisches Zinn wird leicht im Darm absorbiert und ist weitaus toxischer. Expositionen organischen Zinns können Schwellungen des Gehirns und den Zelltod im Nervensystem verursachen.

Medizinisch wichtige Metalle

Einführung

Die medizinische Verwendung von Metallen nahm mit dem Aufkommen von gezielten medikamentösen Therapien ab, aber früher wurden sie zur Behandlung einer Vielzahl von Krankheiten beim Menschen, wie Durchfall, Syphilis und Malaria eingesetzt. Zur Zeit werden sie noch zur Behandlung von Eierstockkrebs und Arthritis verwendet, aber auch diese Verwendung ist rückläufig. Eine Ausnahme stellt Fluor dar, welches zwar ein Halogen ist, der aber in diesem Abschnitt behandelt wird, weil es einen verbreiteten Einsatz hat, wie in der kommunalen Wasserversorgung, um Karies zu reduzieren. Der therapeutische Einsatz von Metallen wird in der Regel durch die Giftigkeit begrenzt. Metalle zeigen offensichtlich sowohl Vorteile in einer Behandlung als auch die Nachteile einer Vergiftung.

Zusammenfassende Tabelle – Medizinisch wichtige Metalle (und Fluoride)

Tab. 7.3 Zusammenfassung der medizinisch wichtigen Metalle

Metall	Funktion	Quelle	Vergiftungen
Wismuth (Bi)	Antazide (Magengeschwüre)	Konsumgüter	Nierenschäden
Fluoride (F)	Stärkt den Zahnschmelz	Natürlich vorkommend, wird dem Trinkwasser zugesetzt	Gefleckte Zähne, steigende Knochendichte
Gallium (Ga)	Medizinische Diagnostik (Röntgen)	Bergbau, Medizin	Nierenschäden
Gold (Au)	Behandlung der rheumatoiden Arthritis	Bergbau, Medizin	Dermatitis, Nierenschäden
Lithium (Li)	Zur Behandlung psychiatrischer Störungen	Nahrungsmittel	Tremor, Anfälle, Herz, Übelkeit
Platin (Pt)	Antikrebsmittel (Cisplatin), Katalysator	Antikrebsmittel, Bergbau	Nieren, Gehör, Nervensystem

Wismuth (Bi)

Wismut wurde im Jahr 1753 entdeckt und hat eine lange Geschichte in der Medizin zur Behandlung von Krankheiten, die von Syphilis und Malaria bis zu Durchfall reichen. In jüngerer Zeit wurden die antibakteriellen Eigenschaften der wismuthaltigen Antazide verwendet, um Magengeschwüre zu behandeln. Allgemein nahm die medizinische Verwendung von Wismut mit dem aufkommen neuer Arzneimitteltherapien ab.

Akute hohe Dosen von Wismut führen zu Nierenschäden. Bei chronischen, geringen Wismutdosen können hingegen zu Schwäche, Gelenkschmerzen, Fieber, Verwirrung und die Schwierigkeiten auftreten. Diese Symptome verschwinden normalerweise, wenn die Exposition aufhört, bei fortgesetzter Exposition kann es aber zum Tod kommen.

Fluoride (F)

Fluoride sind im Boden weit verbreitet und kommen natürlich auch im Trinkwasser vor. Ein Fluorid ist ein Salz, welches das Element Fluor enthält, wie beispielsweise Natriumsfluorid. Es wird leicht im Darm aufgenommen und in den Knochen oder Zahnschmelz eingebunden. Fluoride werden allgemein in das öffentliche Trinkwasser der Vereinigten Staaten zugesetzt, da es starke Hinweise gibt, dass dies Karies reduziert. Die aktuell empfohlene Dosis an Fluoride im Trinkwasser beträgt 1 ppm. Dies wird auch von der US Behörde (Centers for Disease Control, CDC) unterstützt. Neben dem Trinkwasser kommen Fluoride auch in einer Reihe von Verbraucherprodukten vor, oft in wesentlich höheren Mengen, wie Zahnpasta (1000-1500 Teile pro Million oder 1000-1500 ppm), Mundspülungen und Fluoridzusatzstoffe. Auch kommt es in Lebensmitteln vor, die aus fluoridiertem Wasser hergestellt wurden. Der Großteil der positiven Wirkungen des Zahnfluorids hängt nicht mit der Nahrungsaufnahme zusammen, sondern mit der prophylaktisch bedingten Anwendung.

Übermäßige Fluoridexposition führt zu gefärbten oder fleckigen Zähnen und wird als Dentalfluorose bezeichnet. Dies kommt in Gegenden vor, in denen die Fluoridwerte des Wassers mehr als 4 ppm betragen. Eine chronisch erhöhte Fluoridexposition kann auch einer erhöhten Knochendichte führen. Unklar ist jedoch welche Fluoridexposition zu schädlichen Auswirkungen bei Kindern führt. Die geringere Körpergröße der Kinder bedeutet, dass sie pro Kilo Körpergewicht eine größere Menge an Fluorid aufnehmen als Erwachsene. Die amerikanische Behörde (CDC) schätzt, dass 33 % der Kinder eine Dentalfluorose aufgrund einer übermäßigen Fluoridaufnahme – sei es durch Trinkwasser oder durch andere fluoridhaltige Produkte – haben. Daher empfahl die amerikanische Behörde, die Fluoridbelastung bei Kindern unter acht Jahre zu begrenzen und bei der Herstellung von Säuglingsnahrung fluoridfreies Wasser zu verwenden.

Die EPA hat das Ziel, den maximalen Fluoridzusatz im Trinkwasser auf 4 ppm zu begrenzen. Im Jahr 2006 veröffentlichte die National Research Council der National

Academies (NRC) einen Bericht, der dieses Ziel der EPA angesichts neuer Beweis für die Gefahren einer Fluoridbelastung untersucht. Die NRC war weder angewiesen eine Risikobewertung der Auswirkungen einer geringen Fluoridbelastung durchzuführen, noch andere Quellen für Fluoridexpositionen zu analysieren. In Studien mit Menschen und Tiere bezüglich neuropsychologische Auswirkungen steht in dem NAS-Bericht, dass: „die Übereinstimmung der Ergebnisse signifikant genug sind, um weitere Forschungen über die Auswirkungen von Fluoride auf die Intelligenz zu rechtfertigen.“ Die NRC schlug einen Wert von 2 ppm für eine angemessene maximale Belastung vor. Die eigentliche Frage, ob Fluoride über unterschiedliche Expositionswege, sei es über Trinkwasser Nahrungsmittel und Zahnpflegeprodukte, ausreichend angereichert werden und zu Entwicklungsstörungen beitragen.

Gallium (Ga)

Gallium ist wie Quecksilber leicht zu verflüssigen, aber im Gegensatz zu Quecksilber ist es weniger gefährlich. Die interessanteste Anwendung ist, dass es bei Einnahme zur Sichtbarmachung der Weichteile und Knochenläsionen beim Röntgen dient. Industrielle Anwendungen schließen die Verwendung für Hochtemperatur-Thermometer, Metalllegierungen und als Ersatz für Quecksilber in Lichtbogenlampne ein.

Die geringe Toxizität des Galliums und seinen niedrigen Schmelzpunkt machen es zum idealen Werkzeug in der Diagnostik. Gallium hat eine Halbwertszeit im Körper von 4-5 Tagen. Höhere Exposition kann Nierenschäden, Übelkeit, Erbrechen und Anämie verursachen.

Gold (Au)

Die ästhetischen und elektrischen Eigenschaften des Goldes machen es zu einem sehr begehrten und vielverwendeten Metall in zahlreichen industriellen Anwendungen. Gold und Goldkomplexe werden medizinisch verwendet, um rheumatoid Arthritis zu behandeln, aber aufgrund seiner Toxizität dieses Gebrauch rückläufig, zumal bessere Behandlungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen. Gold hat eine lange Halbwertszeit im Körper.

Wie bei vielen Metallen, kann auch Gold die Nieren schädigen. Mund- und Hautverletzungen werden nach einer Goldtherapie zur Behandlung von Arthritis beobachtet.

Lithium (Li)

Lithium wurde zum ersten Mal 1949 verwendet, um manisch-depressive Erkrankungen zu behandeln. Bis 1970 wurde es in den Vereinigten Staaten aufgrund toxikologischer Bedenken nicht benutzt. Bei therapeutischen Anwendungen müssen die

Lithiumblutspiegel innerhalb eines sehr engen Bereichs gehalten werden (das heißt es liegt eine enge therapeutische Beite vor). Lithium scheint nicht lebensnotwendig zu sein, wird aber leicht im Darm absorbiert und in Pflanzen und Fleisch gefunden. Die normale tägliche Aufnahme beträgt etwa 2 mg. Lithium wird in einigen Fertigungsprozessen, als Schmiermittel, in Legierungen und in Batterien verwendet.

Außerhalb des therapeutischen Bereichs hat Lithium eine breite Palette an Nebenwirkungen. Dazu gehören Nebenwirkungen im Zusammenhang mit den Nervensystems: Zittern, Gehschwierigkeiten, Krampfanfälle, eine verwaschene Sprache, Verwirrtheit und andere. Darüber hinaus kann es zu kardiovaskulären Effekte, Übelkeit, Erbrechen und Nierenschäden kommen.

Platin (Pt)

Platin ist ein relativ seltenes Metall und kommt in der Regel mit den verwandten Metallen Osmium und Iridium vor. Es wird für eine Vielzahl industrieller Anwendungen eingesetzt, wobei die häufigste die als Autokatalysator am bekanntesten ist. Diese Anwendung führte zu erhöhten Platinkonzentrationen in Straßenstaub. 1965 wurde entdeckt, dass Platin und seinen Verbindungen Zellen töten oder die Zellteilung hemmen kann. Platinhaltige Medikamente, wie Cisplatin, werden zur Behandlung von Eierstock- und Hodenkrebs, sowie andere Krebsarten, eingesetzt. Leider schränken die toxischen Nebenwirkungen dieser Mittel ihren Einsatz ein.

Im industriellen Bereich ist Platin relativ harmlos, aber besonders empfindliche Menschen können eine allergische Hautreaktionen (Kontaktdermatitis) und eine Reaktion des Atemtraktes entwickeln. Bei der Verwendung als Antikrebsmittel wird Platin üblicherweise intravenös verabreicht. Es tötet Zellen oder verhindert die Zellteilung durch Eingreifen in die DNA-Synthese. Die häufigsten Nebenwirkungen sind Nierenschäden, aber Gehörschäden, Muskelschwäche und Schäden des peripheren Nervensystems sind ebenfalls möglich. Platin ist ein gutes Beispiel für die Vor- und Nachteile für die Verwendung eines hochtoxischen Arzneimittels, um die unkontrollierte Zellteilung von Krebs zu behandeln.

Chelatbildner

Die offensichtliche Behandlung von Vergiftungen einer übermäßigen Metallexposition ist die Entfernung des Metalls aus dem Körper, sprich die Entwicklung von Chelatbildner. Während der Behandlung ist es nötig, eine weitere Exposition zu vermeiden. Tatsächlich besteht die beste Behandlung bei einer niedrigen Exposition darin, die Quelle der Exposition zu erkennen und den weiteren Kontakt mit dem Metall zu beseitigen. Ein hervorragendes Beispiel für dieses Prinzip ist Blei, wo als wichtigste Maßnahme, die Verringerung oder Beseitigung der Exposition ist.

Das Wort „chelate“ kommt aus dem griechischen und bedeutet „Kralle, Krepsschere“. Die Entwicklung von Chelatbildner ist aber noch nicht so alt. Der erste Komplexbildner war BAL (British Antilewisite) und wurde im zweiten Weltkrieg als potenzielle Gegenmittel für arsenbasierte Kampfgase entwickelt. Der ideale Chelatbildner würde nur mit dem Zielmetall unter Bildung eines nicht-toxischen Komplexes reagieren, der leicht aus dem Körper ausgeschieden könnte. Leider ist dies leichter gesagt als getan. BAL bindet beispielsweise einer Reihe anderer Metalle und erhöht sogar die Toxizität von Cadmium.

Eine weitere unerwünschte Eigenschaft aller Chelatbildner ist, dass sie auch Komplexe mit essenziellen Metallen bilden und diese dann aus dem Körper ausgeschieden werden. Die beiden häufigsten davon betroffenen Metalle sind Calcium und Zink. Eine übermäßige Bleiexposition kann mit dem Chelatbildner Calcium-EDTA behandelt werden, aber nicht mit dem Natriumsalz, da dies zur erhöhten Ausscheidung von Calcium führt, mit weiteren möglichen toxischen Nebenwirkungen. Die Bleiblutwerte werden verringert, wenn Blei das Calcium aus dem EDTA-Komplex verdrängt und anschließend im Urin ausgeschieden wird. Dies führt zu einer Wanderung des Bleis aus den Weichteilen, wie Muskeln, in das Blut, was zu Spitzenbleiblutwerte besonders im Gehirn mit neurologischen Auswirkungen führen kann. Das in den Knochen gespeichert Blei ist davon nicht betroffen und verbleibt dort bis Calcium aus den Knochen mobilisiert wird. Eine Studie zeigte, dass eine Bleikomplexbildung die Bleiblutwerte verringerte, aber nicht vor kognitiven Defiziten schützen konnte (Rogan et al., 2001).

Kurzum, Chelatbildner können unter Umständen eine wirksame Behandlung darstellen, sie müssen aber vorsichtig verabreicht werden. Die wichtigste Maßnahme ist jedoch, die Expositionsquelle zu erkennen und zu reduzieren oder zu beseitigen. Auch muss beachtet werden, welche essenzielle Metalle gebunden und durch den Komplexbildner mit ausgeschieden werden können. Der Körper reguliert sehr empfindlich die wichtigsten Metalle und eine Störung kann schwer wiegende unerwünschte (toxische) Auswirkungen haben.

Weitere Informationen und Nachweise

Bilderpräsentation

- A Small Dose of Metals presentation material and references online:
<http://www.toxipedia.org> or <http://www.toxipedia.org/display/toxipedia/Metals>.
Web site contains presentation material related to the health effects of the various metals.

Europäische, asiatische und Internationale Behörden

- England – Department of Health - Maternal and infant nutrition. Online: < <http://www.dh.gov.uk/en/Healthcare/Maternity/Maternalandinfantnutrition/index.htm> > (accessed: 9 April 2009).
The Department of Health provides information on nutritional requirements for children and mothers.
- World Health Organization. Online.: < <http://www.who.int/topics/nutrition/en/> > (accessed: 10 April 2009).
Who information on nutrition, also search the health topics section for a specific metal.

Nordamericanische Behörden

- Health Canada – Food and Nutrition. Online: < <http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/index-eng.php> > (accessed: 9 April 2009).
Health Canada provides information on nutritional issues.
- U.S. Agency for Toxic Substance Disease Registry (ATSDR). Online: < <http://www.atsdr.cdc.gov/> > (accessed: 10 April 2009).
See fact sheets and case studies in many metals and other agents.

Regierungsunabhängige Organisationen

- Dartmouth Toxic Metals Research Program. Online.
<<http://www.dartmouth.edu/~toxmetal/HM.shtml>> (accessed: 10 April 2009).
The site has general information on toxic metals.

Referenzen

Liu, J., Goyer, R.A. and Waalkes, MP. Toxic Effects of Metals. In Casarett & Doull's Toxicology. 7th edition. Ed. Curtis D. Klaassen. McGraw Hill, New York, 2008. pp 931-980.

Curtis D. Klaassen (1996). Heavy Metals and Heavy-Metal Antagonists. Chapter in Hardman, J.G., Limbird, L.E., Molinoff, P.B., Ruddon, R.W. Gilman, A.G. (eds) Goodman & Gilman's The Pharmacological Basis of Therapeutics. 9th edition. McGraw-Hill, New York, 1996, pp. 1649-1671.

National Academy of Sciences. (1993). Measuring lead exposure in infants, children, and other sensitive populations. National Academy Press: Washington, D.C.

Rogan, W.J., Dietrich, K.N., Ware, J.H., Dockery, D.W., Salganik, M., Radcliffe, J., Jones, R.L., Ragan, N.B., Chisolm, J.J., Jr. & Rhoads, G.G. (2001). The Effect of Chelation Therapy with Succimer on Neuropsychological Development in Children Exposed to Lead. N Engl J Med, 344, 1421-1426.

National Research Council. Fluoride in Drinking Water: A Scientific Review of EPA's Standards. In: National Research Council of the National Academies. Available at http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=11571&page=R1; 2006.