

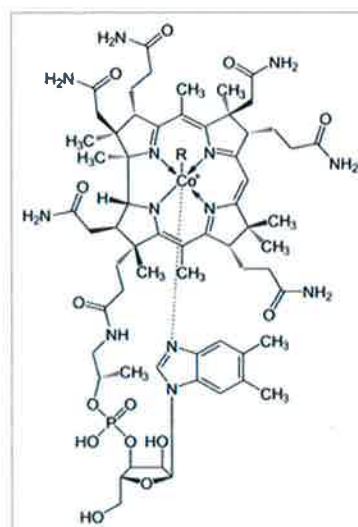
3.7 Vitaminen

Vitaminen zijn het beste te omschrijven als complexe organische verbindingen die in zeer kleine hoeveelheden aanwezig zijn in natuurlijke voedingsstoffen. Ze zijn noodzakelijk voor lichaamsprocessen, een tekort aan vitaminen veroorzaakt deficiëntieziekten.

Chemisch gezien zijn vitaminen onderling niet aan elkaar verwant. Op basis van hun overeenkomstige functies worden ze echter als een groep geclassificeerd.

De dagelijkse behoefte aan vitaminen is uit te drukken in milligrammen of zelfs microgrammen. Veel vitaminen functioneren als co-enzym in metabolische processen. Een co-enzym is een hulpstof die nodig is voor een enzym om zijn functie te vervullen. Co-enzymen worden ook wel cofactoren genoemd. Zonder dit co-enzym kan de enzymatische reactie niet plaatsvinden. Door de concentratie van het co-enzym te variëren wordt de chemische reactie, die het enzym faciliteert, vertraagd of versneld.

Of bepaalde vitaminen essentieel zijn voor een dier hangt zowel af van de diersoort als de omstandigheden. Zo worden in het maag-darmstelsel van veel gezonde volwassen herbivoren zowel vitamine K als B-vitaminen in voldoende mate aangemaakt. Dit zorgt er dus voor dat de aanwezigheid in het voer niet als essentieel hoeft worden gezien.



Figuur 21: Vitamine B12.

Een vitaminetekort kan het gevolg zijn van verschillende zaken. Het kan komen door onvoldoende voederopname, een te gering vitaminegehalte in het dieet, onvoldoende opname in de dunne darm, een verhoogde behoefte van het dier tijdens een bepaald fysiologisch stadium of het voorkomen van “antivitaminen” in het voer. Een voorbeeld hiervan is avidine in rauwe eieren of thiaminase in sommige zoetwatervissen.

Hypovitaminose en hypervitaminose

Vitamine tekorten, ook wel hypovitaminose genoemd, kunnen leiden tot zeer kenmerkende verschijnselen. Deze worden in de praktijk echter zelden gezien. Meestal is er slechts sprake van zeer algemene symptomen zoals eetlustverlies, groeivertraging en algehele zwakte. De neiging er vrolijk op los te knoeien met supplementen is dan ook wel verklaarbaar. Er moet echter wel bedacht worden dat genoemde verschijnselen ook door heel andere factoren veroorzaakt kunnen worden. Grondige analyse van de voedingssituatie en, indien mogelijk, bepaling van bloedwaarden is in alle gevallen aanbevelenswaardig voordat begonnen wordt met het verstrekken van aanvullingen. Wil men toch graag experimenteren met vitaminepreparaten dan wordt het gebruik van wateroplosbare vitaminen hiervoor aanbevolen gezien deze zelfs bij een grote overmaat weinig toxisch zijn.

Bij een overmaat aan vitaminen spreken we van hypervitaminose, dit kan met name een gevaar zijn bij de vetoplosbare vitaminen. Deze worden opgeslagen in de lever en in de vetweefsels. Wanneer deze vitaminen in grote hoeveelheden vrij komen kan er vergiftiging op treden.

3.7.1 Indeling vitaminen

De vitaminen zijn in twee groepen te verdelen:

De **vetoplosbare** vitaminen A, D, E en K, deze komen vooral voor in vetten. Voor de opname van deze vitaminen is de aanwezigheid van gal in de darm noodzakelijk (net als voor vetabsorptie). Genoemde vitaminen, vooral A en E, kunnen in vetweefsel en lever worden opgeslagen. Tijdelijke afwezigheid in het dieet leidt daarom niet snel tot deficiënties.

De **wateroplosbare** vitaminen, B-complex (een aanduiding voor de hele groep B-vitaminen) en C. Deze vitaminen worden veel sneller afgebroken en/of uitgescheiden dan de meeste vetoplosbare vitaminen. In enkele gevallen is opslag mogelijk, met name in de lever, maar dit is beperkt. Er treden sneller deficiënties op.

Door onderzoek naar de chemische samenstelling opbouw van deze stoffen doorzien. Dit bood de mogelijkheid synthetische vitaminen te maken, zodat men niet meer uitsluitend afhankelijk is van de natuurlijke bronnen. Vooral dit laatste aspect heeft de mogelijkheid geschapen om de veel voorkomende vitamine deficiënties preventief te behandelen. Dit neemt niet weg dat voor bepaalde vitaminen het verband tussen de fysiologische rol en de deficiëntie verschijnselen die hun afwezigheid veroorzaakt nog niet geheel duidelijk is. In figuur 22 zijn de namen van zowel de water- als vetoplosbare vitaminen en hun synoniemen gegeven.

| Letteraanduiding | Officiële naam | Synoniem |
|--------------------------------------|------------------|---------------------------|
| Vetoplosbaar: | | |
| A | Retinol | |
| D ₂ | Ergocalciferol | |
| D ₃ | Cholecalciferol | |
| E | Tocopherol | |
| K ₁ | Phyloquinone | |
| K ₂ | Menaquinone | |
| K ₃ | Menadione | |
| Wateroplosbaar: | | |
| B ₁ | Thiamine | |
| B ₂ | Riboflavine | |
| B ₃ | Niacine | Nicotinezuur |
| (B ₅) | Pantheotheenzuur | |
| (B ₆) | Pyridoxol | Pyridoxal Pyridoxamine |
| (B ₁₀ , B ₁₁) | Foliumzuur | Folacine |
| (H) | Biotine | |
| B ₁₂ | Cyanocobalamine | |
| C | Ascorbinezuur | |
| Choline | Gossypine | |

Figuur 22: Vet- en wateroplosbare vitaminen met synoniemen.

3.7.2 Vitamine A (retinol)

Al in het begin van de twintigste eeuw was het bekend dat een gele kleurstof, caroteen, een essentieel bestanddeel vormt van het dieet. Leverextracten en visolie bleken een vergelijkbaar effect te hebben en hieruit werd een aan caroteen verwante stof geïsoleerd die de naam vitamine A kreeg.

Tegenwoordig weten we dat caroteen en hieraan verwante stoffen in de wand van het darmstelsel worden omgezet in vitamine A om vervolgens te worden opgenomen in het bloed. Caroteen en verwante stoffen zijn dus voorlopers van vitamine A en worden daarom ook wel pro-vitaminen genoemd. Of, en hoe efficiënt dit gebeurt, hangt af van diersoort en omstandigheden. Een belangrijke factor hierbij is de lichaamsvoorraad; hoe groter deze is hoe minder omzetting er plaats vindt. Dit verklaart waarom een overmaat caroteen niet gauw schadelijk is terwijl dit wel het geval is bij een overmaat aan vitamine A.

Na opname in het lichaam wordt retinol omgezet in retinyl palmitaat en vervolgens opgeslagen in de lever.

Functies

Vitamine A vervult verschillende functies in het lichaam. Het maakt deel uit van het lichtpigment (rodopsine) in het oog. Daarnaast is het betrokken bij het vormen van beschermende slijmvliezen en van de huid. Verder speelt het een rol in het celmetabolisme en de vorming van antilichamen.

Eenheden

Vitamine A gehalten in het voer en de behoefte van een dier worden meestal weergegeven in werkingseenheden; zgn. Internationale Eenheden (IE) of in het Engels; international units (IU). Dit wordt gedaan omdat er veel verschillende vormen zijn met elk hun eigen specifieke biologische werking. Met andere woorden; de ene vorm levert meer op per gewichtseenheid dan de andere. Om deze reden is weergegeven in gewichtseenheden minder gewenst, onderstaande tabellen illustreren deze verschillen.

| | |
|--------|---|
| 1 IU = | 0.300 µg vitamine A alcohol (retinol) |
| | 0.344 µg vitamine A acetate (retinyl acetate) |
| | 0.549 µg vitamine A palmitate (retinyl palmitate) |

Of weergegeven als activiteit per gewichtseenheid.

| | |
|------------------------|----------------------|
| 1 mg retinol | = 3333 IU vitamine A |
| 1 mg retinyl acetate | = 2907 IU vitamine A |
| 1 mg retinyl palmitate | = 1818 IU vitamine A |

Hypovitaminose

Eén van de meest kenmerkende deficiëntieverschijnselen is het optreden van nachtblindheid; verminderd of geen gezichtsvermogen bij verminderd licht. Tegelijkertijd treedt vaak beschadiging van het oog op (witte plekken op het netvlies en extreme uitdroging). Uiteindelijk kan dit alles leiden tot totale blindheid.

Andere verschijnselen zijn het meer voorkomen van infecties, verminderde vruchtbaarheid, geboortefwijkingen, afnemende groei en afnemende eetlust. Ook huid-, haar-, of verenkleedaandoeningen komen voor. Bij sommige diersoorten wordt ook een afname van de nierfunctie gezien. Uiteindelijk kan sterfte optreden.

Wie A zegt...

Veel soorten jonge moerasschildpadden eten met name insecten, kreeftachtigen en vis. Wanneer de dieren op de juiste wijze gevoerd en verzorgd worden groeien zij snel, veel dieren van particulieren komen daarom uiteindelijk bij dierentuinen terecht. Jonge moerasschildpadden sterven vaak lang voordat hun formaat een probleem wordt. Een veel gezien probleem is dat van oogontstekingen. Naast omgevingsfactoren (vuil water, lage temperaturen) kan een gebrek aan vitamine A hieraan ten grondslag liggen. Gedroogde zoetwaterkreeftjes van het geslacht *Gammarus* worden verkocht als volledig voer maar bevatten niet het volledige scala nutriënten dat de schildpadden nodig hebben. Hypovitaminose A is hierbij één van de eerste problemen die zich openbaart. Schildpadden die (deels) carnivoor zijn kunnen vitamine A verstrekt krijgen door het gebruik van hele, gewervelde prooidieren of door gebruik van kattenvoer (zowel droog als uit blik). Landschildpadden hebben zelden een tekort aan vitamine A. Uit een overwegend plantaardig dieet krijgen zij voldoende bètacaroteen om dit zelf aan te maken.

Mader, D.R., 2006, Reptile Medicine and Surgery, W.B. Saunders Company, St. Louis

Tekstvak 5: Vitamine A gebrek bij moerasschildpadden.

Hypervitaminose

Een vitamine A overmaat is net zo schadelijk als een tekort. Een overmaat aan vitamine A kan de opname van andere vetoplosbare vitaminen blokkeren.

Bij grote overmaat treden heel duidelijke vergiftigingsverschijnselen op zoals interne bloedingen, botaantasting, vacht- en huidbeschadigingen waarbij soms de huid loslaat, algemene zwakheid en geboorteafwijkingen.

Het langdurig voeren van lever en het ongecontroleerd toepassen van supplementen kunnen leiden tot chronische vergiftiging.

Als acceptabel maximum voor gehalten in het voer wordt meestal tien keer de minimum aanbeveling gehanteerd. Hierbij moet wel met nadruk aangetekend worden dat dit alles geldt voor vitamine A in de vorm van retinol en verwante stoffen, maar niet voor de pro-vitaminen (caroteen).

Bronnen en gehalten in het voer

Vitamine A als zodanig komt alleen voor in dierlijke producten. Plantaardige producten die vitamine A bevatten zijn er niet. Bèta- caroteen en vergelijkbare stoffen daarentegen wordt vrijwel uitsluitend gevonden in plantaardige producten. Slechts melkvet en geel vet van planteneters bevat soms ook bèta- caroteen. Gehalten in het voer kunnen sterk variëren en zijn daarnaast afhankelijk van bewerkingsprocessen en opslagomstandigheden. Tijdens voorbereiding kan het vitamine A gehalte met 20% afnemen terwijl bij bewaring onder suboptimale omstandigheden de verliezen kunnen oplopen tot 10% per maand.

Bètacaroteen

Bètacaroteen is een van de ruim 400 carotenoïden die kunnen voorkomen in planten. Naast de als eerder besproken rol als pro-vitamine A blijkt bèta caroteen voor een aantal diersoorten een op zich zelf staande functie te vervullen. Bij runderen, konijnen en paarden is gebleken dat een tekort aan bètacaroteen, ook wanneer voldoende Vitamine A wordt toegevoegd via de voeding, kan leiden tot vruchtbaarheidproblemen. Naarmate hooi of ander groen ruwvoer langer bewaard wordt neemt het bètacaroteen gehalte af. Het einde van het winterseizoen is dus wat dit betreft een risicotijd. In het algemeen geldt dat hoe groener het plantaardige product, hoe hoger het bètacaroteen gehalte. Bètacaroteen in de voeding zal vrijwel nooit aanleiding geven tot overdoseringproblematiek. Wel kan het lichaamsvet erg geel worden en

ook de huid kan verkleuren. Bètacaroteen wordt niet omgezet in vitamine A wanneer de lichaamsvoorraad voldoende is. Dit gegeven is ook van belang bij de risicoanalyse van vitamine A gehalten in voedermiddelen, door het gebruik van het IU-systeem wordt vaak geen onderscheid gemaakt tussen retinol en caroteen.

3.7.3 Vitamine D

Al in de 18e eeuw was bekend dat (kabeljauw-) levertraan een effectief middel was tegen de botaandoening rachitis. De werkzame stof werd echter pas in het begin van de 20^e eeuw geïdentificeerd.

Er zijn twee stoffen met vergelijkbare werking; het in planten voorkomende ergocalciferol (vit D₂) en het in dieren voorkomende cholecalciferol (vit D₃). Beide stoffen worden gevormd door de inwerking van ultraviolet licht op de plant respectievelijk de huid van het dier.

Funcities

Vitamine D₂ en D₃ hebben in een aantal diersoorten dezelfde werkzaamheid. In vogels, reptielen en Nieuwe Wereld apen, grote katachtigen, grote panda en nog een aantal diersoorten is de werkzaamheid van D₂ hooguit een tiende van die van D₃.

De belangrijkste functie van vitamine D is de controle van de absorptie (passage door de wand van het maag-darmstelsel), het transport en de afzetting van calcium en in mindere mate fosfor. Deze rol vervult vitamine D samen met de hormonen calcitonine en PTH.

Eenheden

Aanbevelingen voor gehalten in het voer of benodigde hoeveelheid per dag worden meestal in Internationale Eenheden (IE) gegeven. Cholecalciferol (D₃) is hierbij de standaard

| | | |
|----------------------|---|--------------------------|
| 1 IE vitamine D | = | 0,025 mg cholecalciferol |
| 1 mg cholecalciferol | = | 40.000 IE vitamine D |

Hypovitaminose

Bij een tekort aan vitamine D wordt de absorptie van calcium belemmerd en wordt calcium en fosfor aan de botten onttrokken. Dit leidt tot zacht worden van de botten en buigen, een conditie die ook wel bekend staat als rachitis of Engelse ziekte bij jonge dieren. Bij volwassen dieren wordt het osteoporosis genoemd. Bij vogels en mogelijk ook reptielen kan een tekort ook leiden tot schaalafwijkingen met verminderde broedresultaten tot gevolg. Verder treden zowel conditie- als gewichtsverlies op. Hierbij moet wel aangetekend worden dat deze ziektebeelden ook veroorzaakt kunnen worden door een tekort aan calcium of fosfor of een verkeerde verhouding tussen deze twee macromineralen.

Vitamine D tekorten kunnen zowel ontstaan door tekorten in de voeding als door onvoldoende blootstelling aan UV-straling (waarbij de golflengte ook nog van belang is). Sommige mycotoxinen zoals aflatoxine verminderen de opname van vitamine D door het lichaam.

Hypervitaminose

Een te veel aan vitamine D leidt ook tot problemen. Een overmaat vitamine D zorgt voor een verhoogd calciumgehalte in het bloed (hypercalcaemia). Deze overmaat wordt afgezet op botweefsel, bv. gewrichten maar ook op zachte weefsels zoals de bloedvaten en hart en nieren. Stijfheid, spierzwakte, hartfalen, eetlustverlies en overmatig urineren zijn zichtbare verschijnselen.

Meer dan tien keer de aanbevolen hoeveelheid moet aan dieren niet verstrekt worden om deze problemen te voorkomen.

Al het goede komt van boven?

Vitamine D₃ is belangrijk voor de calciumhuishouding en wordt door veel dieren gemaakt onder invloed van UV-B licht. Dieren die weinig zonlicht gewend zijn maken efficiënt gebruik van vitamine D₃. Dieren die van nature veel zijn blootgesteld aan zonlicht gaan vaak veel minder efficiënt om met deze vitamine. Om deze reden is het belangrijk hen meer UV-B licht, of meer vitamine D₃ in het dieet te verschaffen. Uit hun leven in boomkruinen volgt dat veel primaten een hoge vitamine D₃ behoefte hebben. Wanneer dergelijke dieren grotendeels binnen gehouden worden is een hogere dosis in het voedsel belangrijk.

Bij gemengde verblijven bestaat het risico dat dieren zich voeden met het dieet bedoeld voor hun verblijfsgenoten. Paca's (*Cuniculus paca*) en Agouti's (*Dasyprocta aguti*) blijken te eten van het commerciële primatenvoer dat hun klimmende medebewoners laten vallen. Bij een langdurige opname bekopen de Paca's en Agouti's het eten van dit voer, rijk aan vitamine D₃ (7.000 tot 22.000 IU/kg) met verkalking van diverse organen. Je zou kunnen zeggen dat de dieren uiteindelijk sterven aan 'teveel van het goede'.

NRC, 2006: Nutrient Requirements of Nonhuman Primates

Tekstvak 6: Vitamine D vergiftiging in gemengd verblijf.

Bronnen en gehalten in het voer

Gehalten aan cholecalciferol (in dierlijke materialen) en ergocalciferol (in plantaardige materialen) staan in tabel 8. Vitamine D kan afkomstig zijn uit het voedsel, in synthetisch vorm verstrekt worden, opgenomen worden uit opgelikte huid- en haarschilfers of in de huid gevormd worden door UV-straling (UV-B: golflengte 285 – 315 nanometer).

Dieren die niet of weinig blootstaan aan UV-straling moeten altijd vitamine D toegevoegd krijgen aan hun voeding. Normaal verkrijgbare diervoeders voorzien hierin.

Vitamine D is niet erg stabiel in voedermiddelen. Het is zowel lichtgevoelig als gevoelig voor oxidatie. De aanwezigheid van metaalionen zoals koperionen versnellen dit proces. Verliezen tijdens bewerking van voer en opslag zijn vergelijkbaar met die van vitamine A.

Tabel 8: Vitamine D gehalte per 100 gram voedermiddel (Mc Dowell, 1989).

| Grondstof / ingrediënt | IU/100 gram |
|-----------------------------|-------------|
| Ergocalciferol (D2) | |
| Alfalfa weide | 4,6 |
| Alfalfa hooi, zongedroogd | 142 |
| Alfalfa kuil | 12 |
| Alfalfa verlepte silage | 60 |
| Klaverhooi, zongedroogd | 142 |
| Barley straw | 60 |
| Cocoa shell meal, sundried | 3.500 |
| Maïs (korrel) | 0 |
| Maïs silage | 13 |
| Melasse (suikerbiet) | 58 |
| Rode Klaver (vers) | 4,7 |
| Rode klaver suncured | 192 |
| Sorghum (graan) | 2,6 |
| Sorghum (graan) | 66 |
| Cholecalciferol (D3) | |
| Tonijnleverolie | 4.000.000 |
| Levertraan | 10.000 |
| Eieren | 100 |
| Heilbot (lever olie) | 120.000 |
| Haring (visolie) | 10.000 |
| Melk koeien volvet (zomer) | 4 |
| Melk koeien volvet (winter) | 1 |
| Sardine (visolie) | 8.000 |
| Zwaardvislever olie | 1.000.000 |

3.7.4 Vitamine E

In de jaren twintig van de vorige eeuw werd in een voedingsonderzoek aan ratten die niet meer reproduceerden, als gevolg van de aanwezigheid van ranzig varkensvet in het voer, sla en tarwe verstrekt als aanvulling op het rantsoen. Met deze toevoeging werden de vruchtbaarheidsproblemen opgelost. Ontdekt werd dat de olie aanwezig in de kiem van de tarwe een stof bevatte die verantwoordelijk was voor dit effect. Deze stof kreeg de aanduiding vitamine E, omdat vitamine D vlak daarvoor was ontdekt. De wetenschappelijke naam werd tocoferol wat is afgeleid van de Griekse termen voor het vermogen om kinderen te baren. Vitamine E stond lang bekend als de vruchtbaarheidsvitamine en pas vrij laat na de ontdekking werd duidelijk dat de effecten bij de rat erg soortspecifiek waren.

Er zijn verschillende stoffen met vitamine E werking, de meeste behorend tot de groep van de tocoferolen. De meest werkzame van deze is alfa-tocopherol welke ook het meest voorkomt in granen. Andere tocoferolen zijn veel minder werkzaam en vaak wordt hun werkzaamheid verwaarloosd.

In het lichaam is vitamine E te vinden in alle weefsels, er zijn geen specifieke opslagorganen.

Funcities

Vitamine E vervult verschillende functies in het lichaam. De meeste van deze functies hebben met elkaar te maken. De belangrijkste functie is de rol als anti-oxidant binnen en tussen de cellen. Het verhindert de oxidatie van onverzadigde vetzuren in de cellen. Wanneer deze vetzuren oxideren leidt dit tot celbeschadiging. Cellen met een hoog energieverbruik, zoals in spieren, zijn hiervoor extra gevoelig. De antioxidant functie van vitamine E zorgt ook voor bescherming van de structuur van haarvaten en de bescherming van rode bloedcellen. Verder speelt het nog een rol in de regulatie van het endocriene systeem. Vitamine E heeft, behalve bij ratten, geen specifieke rol bij de reproductie.

De rol als anti-oxidant, waarbij het beschadiging van de cellen door zuurstof (in de vorm van vrije radicalen) helpt voorkomen, heeft er toe geleid dat vitamine E wel wordt gezien als een stof die verouderingsprocessen en het ontstaan van kanker helpt voorkomen. Hoewel er op basis van dieetstudies wel enige aanwijzingen zijn in deze richting ontbreekt tot op heden enig experimenteel bewijs. Toch wordt de aanwezigheid van natuurlijke anti-oxidanten in de humane en diervoeding stevig onder de aandacht van de koper gebracht.

De werking van vitamine E als anti-oxidant beperkt zich niet tot het lichaam. Ook bij vetten gebruikt in de voeding helpt een toevoeging van deze stof oxidatie van onverzadigde vetzuren te voorkomen.

Vitamine E

Vitamine E werkt als anti-oxidant en voorkomt zodoende celbeschadigingen. Een bekend verschijnsel bij vitamine E tekort is het zogenaamde 'white muscle disease' waarbij spieren lichte plekken van beschadigde cellen vertonen, dieren lusteloos en slap zijn en in ernstige gevallen zelfs sterven. Vitamine E deficiënties komen relatief vaak voor, vis- en vleeseters vormen een risicogroep, maar ook herbivoren kunnen de genoemde 'white muscle disease' (WMD) vertonen.

Een hoge mortaliteit (43%) onder jongen van de kleine koedoe (*Tragelaphus imberbis*) bleek in veel gevallen terug te voeren op WMD. Mogelijk is het tekort aan vitamine E terug te voeren op het feit dat de dieren relatief veel vers gemaaid gras gevoerd kregen hetgeen in betreffende regio arm is aan vitamine E. Een tekort aan vitamine E is relatief makkelijk te voorkomen door het te supplementeren. Hoewel voor vetoplosbare vitaminen het gevaar van overdosering normaal gesproken op de loer ligt geldt voor vitamine E dat van een (lichte) overdosering geen negatieve effecten bekend zijn.

Besselmann D., et al. 2008, Juvenile mortality in captive Lesser Kudu (*Tragelaphus imberbis*) at Basle zoo and its relation to nutrition and husbandry *Journal of Zoo and Wildlife Medicine* 39(1): 86-91

Tekstvak 7: Relatie eiwit tekort en white muscle disease.

Eenheden

Meestal wordt vitamine E weergegeven in internationale eenheden.

1 mg dl-alpha-tocopheryl acetate = 1 IE vitamine E

Factoren van invloed op de Vitamine E behoefte

1. Vet en vetsamenstelling

Hoe hoger het vetgehalte hoe hoger de behoefte aan vitamine E. Als ruwe vuistregel kan per 1% vet 5 IU vitamine E toevoeging gehanteerd worden. Wanneer het vet voor een groot deel onverzadigd is en/of deels geoxideerd dan stijgt de behoefte sterk.

2. Stress

Onder stressomstandigheden zoals transport, nieuwe omgeving, lawaai-overlast, te hoge bezetting in een verblijf, ziekte etc. stijgt de vitamine E behoefte.

3. Selenium

Lage selenium gehalten in het rantsoen verhogen de behoefte aan vitamine E.

4. Voerkwaliteit

Ingrediënten met ranzig vet, onder vochtige omstandigheden bewaard graan, lang bewaard hooi en de aanwezigheid van mycotoxinen in het voer verhogen de vitamine E behoefte.

5. Luchtverontreiniging

In een onderzoek in de VS naar de vitamine E behoefte van dierentuindieren, die overigens vele malen hoger lijkt te zijn dan die van vergelijkbare dieren in het wild, werd een relatie aangetoond tussen luchtvervuiling en vitamine E behoefte. Dieren in een omgeving met vuilere lucht hadden een hogere behoefte.

6. Inspanning

Bij grote inspanningen zoals bij sledehonden, renpaarden etc. is de behoefte aan vitamine E verhoogd.

Tekstvak 8: Factoren van invloed op Vitamine E behoefte.

Hypovitaminose

Bij een tekort aan vitamine E worden onder meer de spieren aangetast. Skeletspieren vertonen deels witte plekken (*white muscle disease*) en de dieren zijn stram en slap en bewegen zich ongecoördineerd. Wanneer de hartspier wordt aangetast kan dit leiden tot zeer plotselinge dood van het dier. Aantasting van de ademhalingspijpen leidt tot kortademigheid en omdat longvloeistof zich ophoopt ook tot een vorm van longontsteking.

Aantasting van de haarvaten in de hersens van vogels leidt tot een aandoening bekend als 'dolle kuiken ziekte' (CCD). Ook bloedingen in lever en hart kunnen optreden, eveneens het gevolg van aantasting van de haarvaten.

Het voeren van vis aan dieren in gevangenschap is een risicofactor voor het ontstaan van tekorten. Vis is rijk aan onverzadigde vetzuren die gemakkelijk oxideren. Dit proces treedt zelfs op bij diepgevroren vis. De opname van geoxideerde vetzuren (ranzig vet) verhoogt de behoefte aan vitamine E zeer sterk. Ook het voeren van vlees aan roofdieren kan dergelijke risico's met zich meebrengen. Het verstrekken van langdurig op het veld gedroogd en/of lang bewaard hooi kan een risicofactor zijn voor herbivoren. Zie voor meer voorbeelden van deficiëntie verschijnselen tabel 9.

Tabel 9: Voorbeelden van ziekten door een gebrek aan vitamine E/selenium.

| Soort weefsel | Aangetoond bij (diersoort) | Ziektebeeld |
|------------------------------|--|---|
| Embryonaal vaatstelsel | Rat, hamster, muis, hen, kalkoen | Afbraak van het embryo |
| Vaatstelsel | Kuiken, kalkoen, varken | Bovenmatige vochtophoping, moerbeihartziekte |
| Manneklijke geslachtsklieren | Rat, marmot, hamster, hond, haan, konijn, rund | Steriliteit |
| Lever | Rat, varken, rund | Levernecrose, hepatotis dietica, vetdegeneratie |
| Alvleesklier | Kuiken, muis | Fibrose |
| Rode bloedcellen | Mens, kuiken, rat | Heamolyse |
| Kleine hersenen | Kuiken | Encephalomalacie |
| Nieren | Rat, muis, nerts | Afbraak van het buisvormig epithelium |
| Vetweefsel | Nerts, varken, kuiken | Geel vet |
| Spierweefsel | Konijn, marmot, aap, muis, eend, nerts, lam, kalf, kuiken, kalkoen | Aandoeningen van hart- en skeletspieren |

Hypervitaminose

Vergeleken met vitamine A en D wordt vitamine E als weinig toxisch beschouwd. Zeer grote overdoseringen kunnen bij sommige dieren leiden tot ernstige huidandoeningen.

Bronnen en gehalten in het voer

Rijk aan vitamine E zijn graankiemen en daaruit gewonnen olie, pinda's, groen gras, melkproducten en vislever.

Oxidatie van deze producten en bewaring of bewerking onder vochtige omstandigheden leiden tot een aanzienlijke reductie van de hoeveelheid beschikbaar vitamine E.

Interactie met Selenium

In het lichaam functioneren vitamine E en het sporenelement selenium voor een deel gezamenlijk. Selenium is een belangrijk bestanddeel van het enzym glutathion peroxidase dat helpt oxidatie van onverzadigde vetten te voorkomen. Omdat beide nutriënten functioneren als anti-oxidant zijn zij deels door elkaar te vervangen. Hierbij moet wel aangetekend worden dat selenium in overmaat zeer toxisch kan zijn.

3.7.5 Vitamine K

In het begin van de vorige eeuw werd in onderzoek naar de oorzaken van bloedingen een factor in de voeding ontdekt die een rol speelt bij tekorten aan protrombine. Protrombine is essentieel voor bloedstolling. Pas in 1939 werd de verantwoordelijke stof, phylloquinone, geïsoleerd. Phylloquinone wordt ook wel aangeduid met K₁, menaquinone (vitamine K₂) wordt door bacteriën gevormd en menadione (K₃) is de synthetische vorm. Van de laatste vorm zijn meerdere varianten beschikbaar, ieder met zijn eigen werkzaamheid.

Functie

De enige rol die van vitamine K bekend is in het lichaam is de rol bij de bloedstolling. Vitamine K is noodzakelijk voor de vorming van protrombine en nog enkele andere stoffen noodzakelijk voor de bloedstolling. Protrombine wordt bij een verwonding omgezet tot trombine wat vervolgens fibrinogeen omzet in fibrine, het uiteindelijke stolsel.

Eenheden

Het aantal eenheden vitamine K wordt doorgaans weergegeven in microgrammen (μg).

Hypovitaminose

In gezonde volwassen dieren is een tekort aan vitamine K zeldzaam. Bacteriën aanwezig in het maag-darmstelsel synthetiseren voldoende om in de dagelijkse behoefte te voorzien. Alleen bij weinig bacteriële activiteit in het maag-darmstelsel, zoals bij zeer jonge dieren of na behandeling met antibiotica, is extra vitamine K voorziening noodzakelijk.

Een bijzondere risicofactor is het rattengif warfarin. Deze stof doodt de ratten langzaam doordat het als antagonist (tegenwerkende stof) werkt op vitamine K. Hierdoor wordt de bloedstolling verstoord en sterft het dier aan interne bloedingen. Dieren die dergelijke dode of verzwakte ratten eten lopen een verhoogd risico.

Ook cumarine, een stof die gevonden wordt in sommige klaversoorten en sulfapreparaten kunnen een antagonistische werking hebben op vitamine K.

Bij een tekort aan vitamine K vindt er geen protrombine vorming plaats in de lever waardoor de bloedstolling ernstig verstoord wordt. Bij pasgeboren dieren is een niet stoppende navelbloeding een signaal van een tekort. In alle gevallen kunnen kleine verwondingen leiden tot eindeloos bloeden en uiteindelijk de dood. Bloedvatwanden kunnen spontaan bloedingen vertonen. Ten opzichte van de ander vetoplosbare vitaminen vindt weinig opslag plaats in de lever of elders.

Hypervitaminose

De verschillende vormen van vitamine K zijn nauwelijks toxisch. De dagelijks aanbevolen dosis moet met een factor 1000 overschreden worden om een effect te bewerkstelligen. Verschijnselen zijn een vorm van bloedarmoede en andere afwijkingen in het bloed.

Bronnen en gehalten in het voer

Blad van planten bevat relatief grote hoeveelheden vitamine K, bij grazende dieren is de voorziening dus vrijwel altijd gewaarborgd. Lever en eidooier bevatten ook een redelijke hoeveelheid vitamine K, maar andere dierlijke materialen zijn vrij arm aan vitamine K. Diervoederbereiding gaat vaak gepaard met grote verliezen van vitamine K. Vooral pelletteren (persen tot cilindrische brokjes) leidt tot een grote daling van de vitamine K-activiteit. Oxidatie, blootstelling aan licht, contact met alkalische of zure stoffen zijn allemaal factoren die de werkzaamheid van vitamine K doen verminderen.

3.7.6 Vitamine B complex

B-complex is een aanduiding voor een groep van negen wateroplosbare vitaminen die oorspronkelijk niet van elkaar werden onderscheiden omdat ze dezelfde functies in het lichaam vervullen en veelal voorkomen in dezelfde voedingsmiddelen. Alle negen vitaminen uit deze groep fungeren als co-enzym voor celenzymen betrokken bij energiemetabolisme en weefselsynthese.

De vitaminen thiamine (B_1), riboflavine (B_2), niacine (B_3), pyridoxine (B_6), pantotheenzuur (B_5) en biotine (B_8) zijn allen betrokken bij het vrijmaken van voedselenergie.

Foliumzuur (B₁₁), cyanacobalamine (B₁₂) en choline (B₄) spelen een rol bij het celonderhoud, groei en/of vorming van bloedcellen.

Met uitzondering van vitamine B₁₂ en in bepaalde gevallen B₁ vindt er niet of nauwelijks opslag plaats van deze vitaminen. Een overmaat wordt uitgescheiden met de urine. Voor de meeste geldt dus dat het verstrekken van een grote hoeveelheid ineens, om voorraadvorming in het lichaam te bewerkstelligen, zinloos is. B-vitaminen zijn hierdoor wel weinig toxisch.

Voedingsmiddelen rijk aan B-vitaminen zijn: gist, peulvruchten en dierlijk weefsel. Natuurlijk B₁₂ kan zelfs uitsluitend uit dierlijke producten verkregen worden. Zoals voor alle vitaminen geldt zijn ook hiervan synthetische varianten verkrijgbaar. Wanneer deze synthetische vitaminen identiek zijn aan de natuurlijke variant mogen deze worden aangeprezen als 'natuurlijke' vitaminen.

In een gezond functionerend maagdarmkanaal worden door de daar aanwezige micro-organismen in veel gevallen voldoende B-vitaminen gevormd om te voorzien in de dagelijkse behoefte. Zeker bij planteneters worden in de delen van het darmstelsel waar op grote schaal fermentatie plaatsvindt veel van deze vitaminen gevormd. Het is onzeker in hoeverre de in de blinde darm (cecum) en dikke darm (colon) gevormde B-vitaminen ten goede komen aan het dier. Dieren die coprofaag (eten van uitwerpselen) zijn profiteren in ieder geval van de op deze plekken geproduceerde B-vitaminen.

3.7.7 Thiamine (Vitamine B₁)

Thiamine was de eerste vitamine waaraan uitgebreid onderzoek is gedaan. Bij mensen die overwegend leefden op gepolijste rijst (bv. in Indonesië en andere Aziatische landen) ontstond in veel gevallen de ziekte beriberi. Het toevoegen van rijstzemelen aan het dieet bleek preventief te werken. Uit deze zemelen werd de werkzame stof, thiamine of B₁, geïsoleerd.

Functie

Thiamine speelt een belangrijke rol in veel enzymsystemen. Deze zijn meestal betrokken bij het vrijmaken van energie uit opgenomen of opgeslagen koolhydraten en vetten. Om energie vrij te maken uit vetten is minder thiamine nodig dan bij koolhydraten. Verder speelt thiamine een rol bij het functioneren van het zenuwstelsel.

Hypovitaminose

Een tekort aan thiamine heeft een onmiddellijk effect op de beschikbaarheid van energie. Spierzwakte en kramp zijn de eerste verschijnselen van een tekort. Het zenuwstelsel wordt ook aangetast, vaak eindigend in verlamming. Een karakteristiek symptoom is "sterrenkijken", de kop van het dier ligt hierbij in de nek.

Hartfalen en interne bloedingen zijn ook verschijnselen die kunnen voorkomen. Bij een licht tekort wordt vooral gewichtsverlies, eetlustverlies, zwakte en soms diarree waargenomen.

Hypervitaminose

Evenals de andere wateroplosbare vitaminen is thiamine weinig toxisch. Pas bij doseringen meer dan het duizendvoudige van de aanbevolen dosis zijn enige schadelijke effecten zichtbaar.

Bronnen en gehalten in het voer

In het maag-darmstelsel van gezonde volwassen dieren komt veel thiamine vrij door bacteriële activiteit. Een deel van de daar gevormde thiamine komt beschikbaar voor het dier. Onder normale omstandigheden is alleen al de in de voermagen van een niet-producerende herkauwer geproduceerde thiamine voldoende voor de dagelijkse behoefte. Voor het paard,

waar thiaminevorming in blinde en dikke darm plaatsvindt, is het onbekend in welke mate het dier hiervan profiteert.

Coprofage dieren profiteren doordat zij uitwerpselen eten, deze zijn vaak rijk aan B-vitaminen.

Voedermiddelen die relatief rijk zijn aan thiamine zijn; gist, zemelen, (graan)kiemen, peulvruchten, nieren en lever.

Bij het bereiden van voeders kan bij gebruik van hitte en vocht het verlies aan thiamine tot 50% oplopen.

Thiaminase

Ook wanneer de voeding ogenschijnlijk ruim voorziet in de thiaminebehoefte kunnen er tekorten optreden. Dit wordt in veel gevallen veroorzaakt door de thiamine-antagonist (tegenwerker) thiaminase. Dit is eigenlijk een groep stoffen die als gezamenlijk kenmerk heeft dat ze thiamine onwerkzaam maakt voordat het een rol kan spelen in het metabolisme. In een dergelijk situatie is sprake van een secundaire deficiëntie. d.w.z. een deficiëntie die niet wordt veroorzaakt door een absoluut tekort, maar door de aanwezigheid van een factor die het nutriënt onwerkzaam maakt.

Rauwe vis is een bekende bron van thiaminase, naarmate de vis langer dood is neemt de thiaminase concentratie toe. Juist de delen die de mens niet eet, en dus vaak aan dieren verstrekt worden, zijn rijk aan thiaminase. Bij visetende dieren in dierentuinen zijn dan ook veel gevallen van door thiaminase veroorzaakte problemen beschreven.

Bij planteneters kan het eten van bepaalde soorten varens (*Pteris aquilinum*) voor soortgelijke problemen zorgen. Een graanrijk dieet kan bij zowel vogels als zoogdieren de groei van bepaalde bacteriën in het maag-darmstelsel stimuleren die eveneens thiaminase produceren.

Thiaminase kan onwerkzaam gemaakt worden door een hittebehandeling van het voer. Bij het voeren van visetende dieren is het standaardpraktijk een grote dosis thiamine te verstrekken om het effect van thiaminase te compenseren.

Duizelige slangen?

Regelmatig wordt melding gemaakt van neurologische problemen bij kousebandslangen van het genus *Thamnophis*. De dieren bewegen schokkerig, draaien het lichaam in rare bochten of gooien hun kop achterover. De gevreesde besmettelijke ziekte IB (Inclusion Body Disease) kent soortgelijke symptomen, maar bij kousebandslangen is de oorzaak vaak dieet gerelateerd.

Kousebandslangen jagen van nature voornamelijk op amfibieën en vissen. Amfibieën zijn meestal niet beschikbaar als voer en daarom bestaat het dieet in gevangenschap vaak volledig uit vis. Vis kan thiaminase bevatten, een stof die de werking van thiamine (vitamine B1) tegengaat. Om de invloed van het mogelijk aanwezig thiaminase teniet te doen kan het product kort worden verhit (5 minuten bij 80°C voldoet). In een dierentuin situatie is het echter het eenvoudigst om te supplementeren met thiamine. Een advies voor supplementeren is bij iedere maaltijd per kg vers product 25-30 mg thiamine toe te voegen (Bernard et al., 2002). In Nederland wordt vaak 50 mg/kg als richtlijn gehanteerd, Overdosering kan bij deze wateroplosbare vitamine nauwelijks optreden.

Bernard, J.B et al., 2002. Feeding captive piscivorous animals: nutritional aspects of fish as food. NAG Factsheet 005. www.NAGonline.net

Zwart P., 1982. Thiaminase (antivitamine B1) in de slangenvoeding. *Lacerta* 40:96-97

Tekstvak 9: Tekort aan thiamine bij visetende slangen.

3.7.8 Riboflavine / Vitamine B₂

Het bij thiamine al genoemde verstrekken van rijstzemelen aan mensen die lijden aan beriberi bleek als gunstig neveneffect ook nog eetlust en groei te doen toenemen en een afname te veroorzaken van zweertjes in de mondhoeken bij kinderen. Dit effect kon uiteindelijk toegeschreven worden aan de stof riboflavine (vitamine B₂).

Funcities

Riboflavine speelt een rol bij de celstofwisseling, koolhydraat-, aminozuren- en vetmetabolisme.

Eenheden

De hoeveelheid riboflavine wordt aangegeven in milligrammen of microgrammen (mg of µg).

Hypovitaminose

Riboflavine is noodzakelijk voor groei en normale gezondheid. Tekorten leiden tot weinig specifieke aandoeningen zoals huidproblemen en zenuwstoornissen.

Zowel bij paard, hond als kat zijn de symptomen groeivertraging, vermagering en complete zwakte waargenomen. Bij de kat is ook leververvetting een symptoom.

Bij parkieten en andere vogelsoorten treedt een vorm van verlamming op waarbij de tenen zijwaarts verbuigen.

Hypervitaminose

Bij een zeer grote hoeveelheid riboflavine in het rantsoen raakt het mechanisme waarmee riboflavine wordt geabsorbeerd verzadigd. Dit is één van de verklaringen waarom zelfs een zeer hoge dosis bij allerlei diersoorten geen vergiftigingsverschijnselen doet optreden.

Bronnen en gehalten in het voer

Riboflavine wordt gesynthetiseerd in groene planten, schimmels, gisten en sommige bacteriën. In het bijzonder snel groeiende bladgroenten en het gewas luzerne (alfalfa) zijn rijk aan deze vitamine. Verder zijn wei, een bijproduct van kaasbereiding, en gist belangrijke bronnen. Evenals bij thiamine speelt ook microbiële synthese in het maag-darmstelsel een belangrijke rol (zie ook bij thiamine).

3.7.9 Nicotinezuur / Niacine

Ook bij niacine speelde in de ontdekkingsgeschiedenis een specifieke ziekte een rol. In weinig welvarende gebieden waar maïs het basisvoedsel was kwam de ziekte pellagra veel voor. Deze ziekte wordt gekenmerkt door huidaandoeningen (dermatitis), diarree, hersenaandoeningen (dementie) en uiteindelijk sterfte. Uit (alweer!) rijstzemelen werd uiteindelijk de stof nicotinezuur gesynthetiseerd die de ziekte hielp voorkomen. De oude naam voor de vitamine was dan ook vitamine PP wat staat voor Pellagra Preventing.

Niacine is de verzamelnaam voor een aantal stoffen waaronder nicotinezuur en nicotinamide met dezelfde werking in het lichaam. Vitamine B₃ is een aanduiding die ook wel gebruikt wordt maar kan door gebrek aan eenduidigheid welke vitamine hiermee bedoeld wordt beter niet gebruikt worden. De stof kan in het lichaam gevormd worden uit het aminozuur tryptofaan.

Functie

Niacine is een hoofdbestanddeel van twee co-enzymen die onder andere betrokken zijn bij de citroenzuurcyclus (Krebscyclus) waarin energie wordt vrijgemaakt uit koolhydraten en andere energieleverende stoffen.

Eenheden

De hoeveelheid niacine wordt aangegeven in milligrammen of microgrammen (mg of µg).

Hypovitaminose

Een niacine deficiëntie wordt gekenmerkt door huidafwijkingen, darmproblemen en aandoeningen van het zenuwstelsel. Eerste verschijnselen zijn verlies van eetlust, achterblijvende groei en diarree. In een latere fase ontstaan darmslijmvliesontstekingen en zelfs necrose van de darmwand. De huid wordt korstig evenals tong en verhemelte. Bij vogels treden botproblemen (perosis) op. De aantasting van het zenuwstelsel kan leiden tot epileptische aanvallen en verlamming. Uiteindelijk treedt sterfte op.

Bij katachtigen wordt dik, stinkend speeksel geproduceerd en raakt de mondholte vol met zweren. Vanwege de uiterst pijnlijke tong wordt vachtverzorging nagelaten en ziet de kat er slecht verzorgd uit. De verschijnselen bij de hond zijn vergelijkbaar met die van de mens. In het eerste pellagra onderzoek is de hond om deze reden als proefdier gebruikt. Bij de hond heet de aandoening "black tongue disease" vanwege de aantasting van tong en de rest van de mondholte. Ook bij vogels treden vergelijkbare symptomen op.

Hypervitaminose

Ook deze vitamine is weinig giftig. Bij proefdieren lukte het pas om enig effect te krijgen bij een dosis van meer dan 1 gram per kg lichaamsgewicht. Dit is een hoeveelheid die ver uitstijgt boven de normale dosis. Een overmaat wordt vrij snel uitgescheiden door het lichaam.

Bronnen en gehalten in het voer

In het lichaam kan niacine op twee manieren gevormd worden. Zoals ook bij de andere B-vitaminen kan niacine gevormd worden door bacteriën in het maag-darmstelsel.

De andere mogelijkheid is de vorming van niacine uit het aminozuur tryptofaan. Niet alle dieren kunnen dit, katachtigen en mogelijk andere verplichte carnivoren missen dit vermogen. De omzetting van tryptofaan naar niacine vindt alleen plaats als de eiwitvoorziening ruim is en er voldoende riboflavine en vitamine B₆ aanwezig zijn. Deze twee vitaminen katalyseren de omzetting. Zelfs onder de meest gunstige omstandigheden is 45 milligram tryptofaan nodig voor de vorming van 1 milligram niacine. Voedingsmiddelen rijk aan niacine zijn kip, lever, gist en zemelen.

3.7.10 Panthotheenzuur

Panthotheenzuur is een van de meest verspreid voorkomende vitaminen. De stof als zodanig werd dan ook betrekkelijk laat ontdekt in een onderzoek naar aanleiding van huidproblemen bij kippen. In de Amerikaanse literatuur wordt de stof ook wel aangeduid met B₅, terwijl in de Engelse literatuur de aanduiding B₃ wel voorkomt. Dit geeft nogmaals het belang aan van het gebruik van de wetenschappelijke termen voor vitaminen.

Functie

De belangrijkste functie van pantothotheenzuur is als essentieel onderdeel van co-enzym A welke een centrale rol vervult in het energiemetabolisme. Daarnaast speelt het een rol in de

synthese en afbraak van vetzuren, de citroenzuurcyclus, de vorming van anti-lichamen en het functioneren van het zenuwstelsel.

Eenheden

De hoeveelheid niacine wordt aangegeven in milligrammen of microgrammen (mg of μg).

Hypovitaminose

Deficiëntieverschijnselen zijn zeldzaam. Eetlustverlies en groeivertraging zijn de eerste symptomen van een tekort. Bij een ernstiger tekort treedt schurftachtige korstvorming van de huid op, speciaal rondom mond of snavelhoeken, rondom de ogen, achter de oren en soms onder de voeten. Verder kan depigmentatie of verlies van haar of veren optreden.

De vruchtbaarheid bij zowel vogels als zoogdieren kan afnemen. Bij honden en katten is ook wankel voortbewegen waargenomen. Bij varkens is een klassiek symptoom een neurologische aandoening bekend als "ganzenpas".

Hypervitaminose

Een overmaat pantotheenzuur wordt snel uitgescheiden. Een vergiftiging is met deze stof praktisch niet op te wekken.

Bronnen en gehalten in het voer

Ook pantotheenzuur wordt in het maag-darmstelsel geproduceerd door de activiteit van bacteriën. Pantotheenzuur is verder wijd verspreid in voedingsmiddelen. Belangrijke bronnen zijn gist, zemelen, maïsglutenvoer, lever, hart en nieren.

Gehalten in het voer worden negatief beïnvloed door bewerking en bewaring.

3.7.11 Pyridoxine / Vitamine B₆

Vitamine B₆ is een aanduiding voor pyridoxine en een aantal verwante stoffen met een vergelijkbare werking. Het is pas betrekkelijk laat ontdekt als een op zichzelf staande stof.

Functies

Als onderdeel van veel co-enzymen is vitamine B₆ betrokken bij metabolismeprocessen van aminozuren. Daarnaast is het betrokken bij de citroenzuurcyclus, vetmetabolisme, de activiteit van het centrale zenuwstelsel en de productie van hemoglobine. Ook is B₆ betrokken bij de productie van globulinen.

Eenheden

De hoeveelheid pyridoxine wordt aangegeven in milligrammen of microgrammen (mg of μg).

Hypovitaminose

Omdat vitamine B₆ betrokken is bij veel processen kan een tekort veel verschillende consequenties hebben. Een licht tekort geeft symptomen die niet afwijken van de symptomen van andere B-vitaminen tekorten, zoals eetlustverlies en groeivertraging. Ernstiger tekorten leiden tot huidaandoeningen, zenuwaandoeningen en een specifieke vorm van bloedarmoede.

Hypervitaminose

Een overmaat wordt snel uitgescheiden. Het is vrijwel onmogelijk vergiftigingsverschijnselen op te wekken met deze vitamine.

Bronnen en gehalten in het voer

Ook B₆ wordt geproduceerd door bacteriën in het maag-darmstelsel. Daarnaast komt het algemeen voor in voedingsmiddelen. Gist en zemelen zijn rijk aan deze vitamine.

3.7.12 Cyanacobalamine / Vitamine B₁₂

In de jaren 30 en 40 van de vorige eeuw werd ontdekt dat leverextracten de groei van landbouwhuisdieren stimuleerden en konden worden gebruikt als behandeling tegen perniciëuze anemie; een ernstige, vaak dodelijke vorm van bloedarmoede bij mensen. Pas ver na de Tweede Wereldoorlog lukte het de stof te synthetiseren. Vitamine B₁₂ is de enige vitamine waar een metaalion deel uitmaakt van de chemische structuur. Het betreft hier het sporenelement kobalt (Co). De vitamine kan alleen geabsorbeerd worden met behulp van in de maag geproduceerde stoffen, gezamenlijk bekend onder de naam 'intrinsieke factor'. Van katachtigen is bekend dat deze de vitamine kunnen absorberen zonder deze factor. In tegenstelling tot veel andere vitaminen uit deze groep kan het langdurig in het lichaam (lever) worden opgeslagen.

Functies

Vitamine B₁₂ vervult veel taken in samenhang met andere B-vitaminen waaronder foliumzuur. Een belangrijke functie is de rol bij het eiwitmetabolisme, vooral de synthese van lichaamseiwitten, maar ook bij het metabolisme van koolhydraten en vetten speelt het een rol. Verder is de vitamine betrokken bij de omzetting van propionzuur, een vluchtig vetzuur die voor een groot aantal planteneters een belangrijke energiebron is.

Eenheden

De hoeveelheid Vitamine B₁₂ wordt aangegeven in milligrammen of microgrammen (mg of µg).

Hypovitaminose

Een deficiëntie kan opgewekt worden door het verstrekken van een zuiver plantaardig dieet gedurende lange tijd. Een licht tekort geeft dezelfde verschijnselen als bij andere B-vitaminen. Ernstige tekorten veroorzaken aanzienlijke groeiafname, aandoeningen van het zenuwstelsel en een ernstige vorm van bloedarmoede die uiteindelijk tot sterfte zal leiden. Bij vogels is embryonale sterfte en misvorming van kuikens in het ei vastgesteld bij een vitamine B₁₂ tekort.

Hypervitaminose

Hoewel vitamine B₁₂ wel wordt opgeslagen in het lichaam is het vrijwel onmogelijk met hoge doseringen negatieve reacties in het lichaam te veroorzaken.

Bronnen en gehalten in het voer

Bacteriën in het maag-darmstelsel kunnen vitamine B₁₂ produceren onder voorwaarde dat er voldoende kobalt (Co) aanwezig is. Bij planteneters geeft een tekort aan kobalt daarom dezelfde verschijnselen als een tekort aan B₁₂.

Plantaardige producten bevatten vrijwel geen B₁₂. De voorziening kan alleen plaatsvinden met producten van dierlijke oorsprong of door middel van synthetische preparaten. In het bijzonder lever is rijk aan deze vitamine.

Het vitamine B₁₂ molecuul is erg instabiel, alle mogelijke omstandigheden tijdens bewerking en bewaring van het voer kunnen effect hebben op het gehalte werkzame stof.

3.7.13 Biotine

Vroeger werd biotine wel aangeduid met de term vitamine B₈. Tegenwoordig wordt vrijwel uitsluitend de term biotine gehanteerd. Hoewel biotine veel voorkomt in allerlei voedingsmiddelen is het vaak niet beschikbaar als gevolg van organische bindingen. Het is daarom een vitamine die extra aandacht verdient bij de beoordeling van voedingssituaties.

Funcities

Het biologisch functioneren van biotine is nog niet volledig bekend. Het speelt in ieder geval een rol in de koolhydraat-, vet- en eiwitstofwisseling. In het bijzonder is het betrokken bij de gluconeogenese en de vetzuursynthese. Ook speelt het een belangrijke rol bij de synthese van 'harde' eiwitstructuren zoals keratine (hoorn, haar en veren).

Eenheden

De hoeveelheid biotine wordt aangegeven in milligrammen of microgrammen (mg of µg).

Hypovitaminose

In veel diersoorten is een van de eerste signalen van een tekort het optreden van huid-, hoorn-, haar- en/of veerproblemen. Een droge schrale huid, korstvorming op de huid, verlies van haren of veren en het zacht worden van hoornweefsel komen allemaal voor. Bij paarden wordt vaak scheurvorming en verkrumming van de hoornlaag op de hoef geconstateerd. Bij vogels kan het hoorn van de snavel aangetast worden. Een heel acute deficiëntie kan de gluconeogenese stop doen zetten met soms sterfte tot gevolg. Ook bij biotine speelt de aanwezigheid van antagonisten soms een rol in het ontstaan van secundaire deficiënties. In kippen-eiwit komt bijvoorbeeld de stof avidine voor. Deze stof maakt biotine direct onwerkzaam. Bij het verwerken van eiproducten in de voeding moet dan ook veel aandacht besteed worden aan dit aspect. Een hittebehandeling maakt avidine onwerkzaam.

Hypervitaminose

Biotine is niet giftig, zelfs het verstrekken van 10.000 maal de dagelijkse behoefte kan bij ratten geen schadelijke effecten bewerkstelligen.

Bronnen en gehalten in het voer

Biotine wordt vooral bij planteneters door bacteriën in het maagsdarmstelsel in vrij grote hoeveelheden geproduceerd. Omdat de feces ook vaak rijk zijn aan biotine profiteren coprofage dieren van deze bron. De absolute behoefte aan biotine is erg laag en daarom dragen soms zelfs mestdeeltjes in de lucht bij aan de biotine voorziening.

3.7.14 Foliumzuur

Foliumzuur of folacine werd het eerst geïsoleerd uit leverextract. Oude termen voor deze stof zijn vitamine M en vitamine B₉. Nederlands onderzoek naar het reducerende effect van foliumzuur supplementatie op het voorkomen van open ruggetjes bij kinderen heeft deze vitamine in de belangstelling geplaatst.

Funcities

Foliumzuur speelt vooral een rol als onderdeel van co-enzymen in het aminozuurmetabolisme. De belangrijkste rol is waarschijnlijk de betrokkenheid bij de vorming van een essentieel onderdeel van het DNA.

Eenheden

De hoeveelheid foliumzuur wordt aangegeven in milligrammen of microgrammen (mg of µg).

Hypovitaminose

Een foliumzuurtekort heeft een negatief effect op celvorming en functioneren van de cel. Bij een tekort treedt groeivertraging op en bloedcellen worden niet vervangen.

Bloedarmoede is een symptoom dat bij veel diersoorten wordt gezien. Bij jonge dieren vermindert de groei van de haren respectievelijk de veren. Bij drachtige zoogdieren treedt resorptie van de foetus op of worden jongen doodgeboren. Bij vogels heeft het een negatief effect op de uitkomstresultaten. Veel vaker worden echter de niet specifieke symptomen gezien zoals beschreven bij de andere B-vitaminen.

Hypervitaminose

Foliumzuur wordt in geringe mate opgeslagen in lever, nieren en spieren maar er zijn geen aanwijzingen dat een overmaat problemen oplevert.

Bronnen en gehalten in het voer

Micro-organismen in het maag-darmstelsel kunnen foliumzuur produceren onder voorwaarde dat er para-aminobenzoezuur (PABA) beschikbaar is. Deze component van foliumzuur kunnen de bacteriën namelijk niet zelf synthetiseren.

Diermeel, schroten en schilfers van olierijke zaden en kiemen en groene planten zijn belangrijke bronnen van foliumzuur.

3.7.15 Choline

Choline (oude termen B₄ en B₇) wordt vaak gerekend tot het B-complex. Vanwege de relatief grote benodigde hoeveelheid is er discussie of de stof tot de vitamines gerekend mag worden. Daarbij kan het in tegenstelling tot de overige B-vitaminen gesynthetiseerd worden in de lever. Choline heeft vaker een functie als onderdeel van structuren dan als co-enzym.

Functies

Choline is essentieel voor opbouw en in stand houden van de celstructuur. Het is een bestanddeel van de lecithinen, dit zijn lipiden waarvan een van de drie vetzuren is vervangen door choline. De vele verschillende lecithinen spelen een rol in de celstructuur en activiteiten. Choline speelt een belangrijke rol in het vetmetabolisme in de lever. Overtollig vet wordt omgezet in lecithinen of de omzetting van vetzuren wordt versneld.

Verder is een bestanddeel van acetylcholine welke een rol speelt in de overdracht van zenuwimpulsen.

Tenslotte kan choline nog een rol spelen als methyl donor, maar deze rol kan ook vervuld worden door stoffen als methionine.

Eenheden

De hoeveelheid choline (behoefte per dag of hoeveelheid per kg voer) wordt aangegeven in milligrammen of microgrammen (mg of µg).

Hypovitaminose

Onder normale omstandigheden is de synthese in de lever toereikend om te kunnen voorzien in de dagelijkse cholinebehoefte. Alleen onder extreme omstandigheden treden tekorten op.

Deficiëntieverschijnselen zijn leververvetting, algehele zwakte, pootafwijkingen, nierbloedingen en verminderde broedresultaten.

Hypervitaminose

Overmatig opgenomen choline wordt voor een groot deel al afgebroken in het maag-darmstelsel. Bij extreme doses (meer dan 10 gram per kg lichaamsgewicht) kunnen zweten, misselijkheid en aandoeningen van hart en longen optreden.

Bronnen en gehalten in het voer

Behalve in de lever wordt choline ook gevormd door micro-organismen in het maag-darmstelsel, hierin is het onderdeel van lecithinen.

Choline wordt aangetroffen in veel voedingsmiddelen als integraal onderdeel van cellen.

3.7.16 Vitamine C

Al honderden jaren geleden ontdekten zeelieden dat de ziekte scheurbuik kon worden genezen door het drinken van limoen- of citroensap. In de 16e eeuw ontdekten de overlevende deelnemers van de expeditie van Willem Barentz de eveneens heilzame werking van lepelblad. Toch werd de voor dit effect verantwoordelijke substantie, vitamine C of L-Ascorbinezuur, pas in de jaren 30 van de vorige eeuw ontdekt.

Alleen de L-isomeer is werkzaam als vitamine.

De meeste diersoorten zijn in staat ascorbinezuur uit glucose te synthetiseren in de nieren. De mens en enkele andere diersoorten (vooral fruiteters) missen dit vermogen. Er zijn enkele aanwijzingen dat het ook bij dieren die zelf vitamine C aanmaken in gevallen van stress zin kan hebben extra vitamine C te verstrekken. Ook bij jonge dieren bestaat de kans dat het vermogen om zelf vitamine C te maken onvoldoende ontwikkeld is.

Functies

Ascorbinezuur speelt een belangrijke rol in de oxidatie en reductiereacties in het celmetabolisme. Het is belangrijk voor de vorming van collageen.

Ook speelt het een rol in het transport van ijzer uit het plasma naar opslagplaatsen in de lever. Evenals vitamine E is ook vitamine C een anti-oxidant. Schadelijke vrije radicalen (zuurstof) worden door deze vitamine onwerkzaam gemaakt. In fagocyten komt veel vitamine C voor, het beschermt deze cellen tegen beschadiging door oxidatie.

Eenheden

De hoeveelheid ascorbinezuur wordt aangegeven in milligrammen of microgrammen (mg of µg).

Hypovitaminose

Tekorten aan vitamine C leiden tot de aandoening scheurbuik. Hierbij treden bloedingen en zwelling van het tandvlees op, daarnaast extreme zwakte en zeer pijnlijke botten. Andere verschijnselen zijn lagere eiproductie, slechte eischaalkwaliteit en embryonale sterfte. Bij cavia's zijn de verschijnselen eetlustverlies, groeireductie, botontkalking, bloedarmoede en bloedingen.

Hypervitaminose

Vitamine C is weinig toxisch. Zeer hoge doses kunnen wel leiden tot misselijkheid, diaree, verzuring van het bloed en op lange termijn botverzwakking. In de praktijk zal een dergelijke situatie echter waarschijnlijk nooit voorkomen.

Bronnen en gehalten in het voer

Vitamine C wordt door veel dieren zelf gesynthetiseerd. Primaten, cavia's en een aantal fruitetende vogels en vleermuizen zijn afhankelijk van vitamine C in het voedsel. In vers fruit en groenten is het rijkelijk aanwezig.

Vitamine C in voedsel is erg gevoelig voor licht, warmte en oxidatie. Bewerking en bewaring van het voer leiden tot grote verliezen in het voer.

3.8 Mineralen

Naast eiwitten, vetten, koolhydraten en vitamines zijn er nog een twintigtal elementen van essentieel belang voor het in stand houden en normaal functioneren van het lichaam. Deze elementen moeten in het voer in voldoende mate voorkomen.

De mineralen zijn een grote groep van anorganische stoffen, ook wel elementen, zouten of as-bestanddelen genoemd. Ze komen in relatief kleine hoeveelheden voor in het dier en in de voedermiddelen en dragen niet bij tot de energievoorziening van het dier. Toch zijn mineralen essentieel voor dieren en een tekort leidt snel tot gebrekverschijnselen. Mineralen worden in twee grote groepen verdeeld; macro-elementen en micro-elementen, zie hiervoor tabel 10. De indeling in twee groepen berust uitsluitend op de hoeveelheid benodigd voor het functioneren van het lichaam. Macro-elementen zijn in grotere hoeveelheden nodig voor het lichaam, ze hebben vele functies waarvan het geven van structuur er een is. De micro- of sporenelementen komen in zeer kleine hoeveelheden in het lichaam voor (minder dan 50 mg/kg) en hebben alleen als onderdeel van enzymen een functie in het lichaam.

Tabel 10: Overzicht van de essentiële macro- en micro-elementen.

| | |
|-----------------|--|
| Macro-elementen | Calcium (Ca), Fosfor (P), Magnesium (Mg), Natrium (Na), Kalium (K), Chloor (Cl), Zwavel (S) |
| Micro-elementen | IJzer (Fe), Koper (Cu), Zink (Zn), Mangaan (Mn), Molybeem (Mo), Selenium (Se), Kobalt (Co), Jodium (I) |

Algemene functies mineralen

Mineralen kunnen de volgende functies hebben in het dier:

- Steunfunctie: In het geraamte. Voornamelijk Calcium (Ca), Fosfor (P) en Magnesium (Mg).
- Zuur-base evenwicht. Voornamelijk Natrium (Na) en Chloor (Cl) maar ook Kalium (K), Calcium (Ca), Fosfor (P) en Magnesium (Mg).
- Invloed op zenuwgeleiding.
- Invloed op spiercontracties.
- Werkzame deel van enzymen. Vooral de sporenelementen, maar ook Fosfor (P) en in mindere mate de andere macro-elementen.

De macro-elementen

Onder de macro-elementen vallen die mineralen die in gehalten van meer dan 50 mg/kg in het lichaam voorkomen. Dit zijn: Ca, P, Mg, Na, K, Cl en S. Zwavel komt speciaal voor in de S-houdende aminozuren (methionine, cysteïne en cystine), in de voeding zijn de zwavelhoudende aminozuren de belangrijkste bron. IJzer wordt soms tot de macro-mineralen gerekend.

In tabel 11 zijn de gemiddelde gehalten aan mineralen van een witstaarthert (*Odocoileus virginianus*) in het lichaam en in het bloedserum vermeld. Het gehalte in het totale lichaam kan van het gegeven gemiddelde gehalte afwijken omdat het van diersoort, leeftijd, voeding e.d. afhankelijk is. De gehalten in het bloedserum wisselen slechts zeer weinig, omdat deze tussen zeer nauwe grenzen vastliggen. Afwijkingen van de waarden zijn het gevolg van ziekten of voedingsdeficiënties. Voor het handhaven van de gehalten in het bloedserum bezit het lichaam verschillende reguleringsmechanismen. Calcium bv. wordt door het parathyroid hormoon uit de bijnieren geregeld. Evenzo wordt het fosforgehalte door de hormonen van de bijnieren geregeld.

Tabel 11: Mineralensamenstelling witstaarthert per gram droge stof (in mg of µg) (Robbins, 1993).

| Mineraal | |
|----------------|---------|
| Calcium (Ca) | 30,9 mg |
| Fosfor (P) | 22,6 mg |
| Kalium (K) | 9,5 mg |
| Natrium (Na) | 3,9 mg |
| Magnesium (Mg) | 0,9 mg |
| IJzer (Fe) | 165 µg |
| Zink (Zn) | 68 µg |
| Mangaan (Mn) | 29 µg |
| Koper (Cu) | 26 µg |

N.B.: Om de leesbaarheid te bevorderen zijn de standaarddeviaties niet vermeld.

De verdeling van de mineralen over de lichaamsdelen is sterk verschillend. Verreweg het grootste deel van de Ca (98%), P (85%) en Mg (65%) gehalten bevindt zich in de beenderen. De beenderen zelf bestaan voor ± 36% uit Ca, 17% P en 0,8% Mg. De verhouding Ca.: P in de beenderen is dus ± 2 : 1. K (60%), Na (30%) en Cl (45%) bevinden zich vooral in de spieren en de weefsels. Zie ook tabel 8.

De micro- of sporenelementen

De micro- of sporenelementen vervullen een rol die veel overeenkomsten vertoont met die van vitamines, omdat zij een aandeel hebben in enzymatische reacties. Zij kunnen aan enzymreacties deelnemen in twee vormen: als metallo-proteïnen en als metaalenzymen. Metallo-proteïnen zijn organische verbindingen waarin het metaal-ion is gebonden aan een eiwitmolecuul, waarvan het moeilijk is los te maken. Metaalenzymen zijn daarentegen verbindingen waarin het metaal-ion geen wezenlijk onderdeel van het enzymmolecuul is, maar daarmee los is verbonden met als functie de enzymreactie te versnellen.

3.8.1 Calcium en Fosfor

Deze twee mineralen zijn de belangrijkste bouwstoffen van beenderen, tanden en eiscaal. Daarnaast hebben ze nog een aantal fysiologische functies te vervullen, die voornamelijk bestaan uit de activering van een aantal enzymen bij de vertering en de stofwisseling. Calcium draagt zorg voor de activering van trypsine en prothrombokinase (bloedstolling). Verder beïnvloedt calcium de doorlaatbaarheid van de celmembranen en daarmee het transport van stoffen door deze celmembranen heen.

Fosfor is onderdeel van een groot aantal enzymen. Het is verder nodig voor de opbouw van nucleïne-zuren en fosfoproteïden. Fosfor is ook erg belangrijk bij energieoverdracht.

Funcities

In de voeding van dieren in gevangenschap is het optreden van botafwijkingen een veel voorkomend probleem. Het betreft hier een heel scala aan aandoeningen, waarbij rachitis en osteomalacie, die samen wel worden aangeduid met de term “Metabolic Bone Disease” (MBD). Hoewel niet uitsluitend hebben veel van deze botaandoeningen te maken met de voorziening van de mineralen calcium, fosfor en vitamine D (zie ook aldaar).

Het lichaam van gewervelden bevat ongeveer 1 – 1,5% calcium waarvan 98% is vastgelegd in het skelet en 0,5 – 0,8% fosfor waarvan 80% is vastgelegd in het skelet. Botmineraal bestaat voor het grootste deel uit calcium –fosfor zouten. De verhouding tussen beide mineralen (Ca : P) varieert van 1,3 : 1 tot 2 : 1.

Beide mineralen vervullen dus een gezamenlijke functie een probleem is echter dat ze bij de absorptie door het lichaam ook elkaars antagonist zijn. Een overmaat fosfor blokkeert de opname van calcium terwijl een overmaat calcium hetzelfde effect kan hebben op de opname van fosfor. Het effect van fosfor op calcium is wel sterker dan andersom. Fosfor kan dus een secundaire calciumdeficiëntie veroorzaken. In de praktische voeding wordt dan ook aanbevolen de Ca/P-verhouding te laten variëren van 1⁺ : 1 tot 2 : 1.

Gedurende de periode waarin bij vogels de eischalen worden gevormd moet de eerder genoemde verhouding veel ruimer zijn, ongeveer 5 : 1 of zelfs hoger. Wanneer deze waarden gehanteerd worden zal de Ca:P verhouding weinig problemen veroorzaken. Uiteraard zal per diersoort en situatie bekeken moeten worden of meer specifieke waarden gehanteerd moeten worden.

Een bijkomend probleem is dat veel producten die aan dieren verstrekt worden naast lage mineralengehalten ook een verkeerde calcium/fosfor verhouding hebben, zie hiervoor ook tabel 12.

Door voeding veroorzaakte botproblematiek, veelal veroorzaakt door een primaire of secundaire calciumdeficiëntie, is dus een risico in de praktijk van voeding. Bij rantsoenanalyse zal dit aspect dan ook altijd moeten worden meegenomen.

Tabel 12: Ca:P gehalten in DS en verhouding in een aantal rantsoenbestanddelen.

| | Ca | P | Ca : P |
|-----------------|------|------|---------|
| Meelworm | 0,04 | 0,57 | 1 : 14 |
| Sprinkhaan | 0,31 | 1,27 | 1 : 4 |
| Makreel (heel) | 1,37 | 0,34 | 4 : 1 |
| Makreel (filet) | 0,03 | 0,91 | 1 : 30 |
| Muis (heel) | 3,4 | 1,92 | 1,8 : 1 |
| Rundvlees | 0,01 | 0,24 | 1 : 24 |
| Runderlever | 0,04 | 0,82 | 1 : 20 |
| Lucerne | 1,60 | 0,31 | 5 : 1 |
| Appels | 0,06 | 0,06 | 1 : 1 |
| Banaan | 0,03 | 0,11 | 1 : 4 |
| Maïskolf | 0,05 | 0,35 | 1 : 7 |

Bovenstaande tabel geeft maar een klein aantal mogelijke rantsoenbestanddelen weer, grotendeels met een vrij ongunstige Ca:P-verhouding. Duidelijk is wel dat de, op zich correcte,

vertaling 'vleeseters' voor carnivoren ons in de voeding op het verkeerde been zet. Carnivoren moeten dieren eten en niet uitsluitend vlees.

De waarden bij enkele veel gebruikte insecten in het dieet van insectivoren geven ook aan dat daar een grote kans op problemen bestaat.

Een beetje ruggengraat...

Gewervelde dieren hebben relatief grote hoeveelheden calcium nodig om een sterk skelet te kunnen vormen en behouden. Ook in de voortplanting is calcium belangrijk; jongen/eieren en productie van melk vragen veel calcium van het moederdier.

Insecten hebben geen botten en bevatten nauwelijks calcium, ze leveren dus niet genoeg voor de behoefte van de (gewervelde) insectenetters. Dit verschil wordt vaak overbrugd door de insecten te bepoederen met een calciumpreparaat maar kan ook worden opgelost door de insecten voedsel te geven dat rijk is aan calcium (het zgn. 'gutloading').

Voedsel dat 10 tot 12% calcium bevat en vanaf 24 uur voor het opvoeren aan de krekels wordt verstrekt levert voedseldieren op met een calciumpercentage van > 1% en een calcium:fosfor verhouding tussen 1:1 en 2:1 .

Ook andere ongewervelden zoals slakken, regenwormen en pissebedden (een kreeftachtige) kunnen worden gevoerd. Ze worden vaak graag gegeten en bevatten van nature meer calcium dan insecten.

Eidhof K, Venema D. 2003. Beïnvloeding van het calciumgehalte in krekels *Lacerta* 61 (3): 93-94
Eidhof K, Venema D, Kuiper D, Huisman TR. 2006. Increasing calcium content in Jamaican field crickets (*Gryllus assimilis*). *Zoo Animal Nutrition* III. p. 291-293

Tekstvak 10: Verhogen Calcium in bot insecten.

Fosfor uit planten is voor dieren zonder een voormagenstelsel, zoals herkauwers hebben, niet of moeilijk verteerbaar. Dit komt door de vorm waarin deze fosfor (fytinefosfaat) is gebonden. Bij de berekening van het fosforaanbod uit de voeding moet hier wel rekening worden gehouden. Minerale fosfor en fosfor van dierlijke oorsprong is over het algemeen wel goed opneembaar. Fytine zorgt ook voor opnameproblemen bij meer mineralen zoals zink.

3.8.2 Magnesium

Magnesium (Mg) is eveneens een belangrijk bestanddeel van het botweefsel. Van de hoeveelheid magnesium in het lichaam bevindt zich ongeveer 70% in het botweefsel. As van botten bevat tussen 0,3 en 0,8% magnesium. Een andere zeer belangrijke rol van magnesium in het lichaam is de activering van enzymen betrokken bij de energiestofwisseling. Ook speelt het een rol bij de spiercontractie. Een optimale Mg-voorziening door het dieet bevordert de opname van calcium.

Deficiëntieverschijnselen zijn vasodilatatie, overgevoeligheid, stuiptrekkingen, moeizaam opstaan, evenwichtsstoornissen, bloedstollingproblemen, kalkafzetting op zachte weefsels, botaantasting en uiteindelijk sterfte. Bij melkvee en andere landbouwhuisdieren staat deze aandoening bekend als kopziekte.

Magnesium speelt ook nog een rol bij het ontstaan van urinestenen (struviet) bij o.a. katten. Een verlaagde pH in het voer helpt dit probleem onder controle te houden.

Een hoog gehalte kalium in het voer blokkeert de opname van magnesium. Dit kan dus leiden tot een secundaire magnesiumdeficiëntie.

3.8.3 Natrium, Kalium en Chloride

Deze drie macromineralen zijn alle drie noodzakelijk voor het handhaven van de osmotische druk van de lichaamsvloeistoffen. Natrium heeft behalve de hierboven genoemde osmotische functie ook een functie bij de totstandkoming van het membraanpotentiaal rondom zenuwcellen, waardoor bij prikkeling van een elektrische stroomgeleiding kan ontstaan die de berichtoverdracht verzorgt van hersenen naar orgaan en vice versa. De uitscheiding van natrium geschiedt zowel via de urine als door zweten. Een ander deel wordt via speeksel, gal, darmsappen en pancreassappen endogeen uitgescheiden. Acut natriumtekort kenmerkt zich door slaphed en ongecoördineerde bewegingen. Afname van het plasmavolume en dat van andere lichaamsvloeistoffen kan zelfs leiden tot shock en sterfte. Een chronisch tekort leidt tot eetlustverlies en groeivertraging, zacht worden van het botweefsel en verminderde benutting van energie en eiwit.

Kalium speelt net als natrium een rol bij de handhaving van de osmotische waarde, maar dan vooral van het celvocht. Een kaliumtekort kan onder meer spierzwakte, hartfalen, reproductieproblemen, groeivertraging en nieraantasting veroorzaken.

Een bijzonder verschijnsel is de zogenaamde natrium/kalium pomp die in veel membranen aanwezig is. Dit is een structureel onderdeel van het membraan dat uitwisseling kan verzorgen van natrium tegen kalium, tegen concentratie in. Dit kost energie in de vorm van ATP. Deze Na/K pomp speelt onder andere een rol bij de natrium-opname in de nieren en bij de zenuwprikkeling.

Chloride-ionen vormen de belangrijkste tegenhanger van Na en K. In maagzuur worden veel chloride-ionen uitgescheiden bij de afgifte van zoutzuur. Als gevolg hiervan kan bij overvloedig braken een tekort aan chloride ontstaan. Chloride kan worden uitgescheiden in zweet, feces en urine, als natrium-, kalium-, of ammoniumzout. Een chloridetekort leidt tot groeistoornissen, bloedverdikking, uitdroging en zenuwaandoeningen.

Bij normaal samengestelde rantsoenen, in het geval van graseters aangevuld met zoutlikstenen, zullen zelden of nooit problemen ontstaan met deze nutriënten.

Niet zo flauw

Dieren eten normaal gesproken naar energiebehoefte, dit houdt in dat een dier voedsel opneemt en een hongergevoel houdt tot de benodigde energie is opgenomen. Er bestaan echter ook andere 'typen' honger, zo is het bekend dat diverse diersoorten bewust op zoek gaan naar zoutbronnen.

Veel dieren nemen klein gesteente op of likken aan rotsen om in hun behoefte aan specifieke zouten te voorzien. Bij wilde berggorilla's (*Gorilla beringei beringei*) is waargenomen dat ze met grote regelmaat rottend hout opnemen. Dit hout voorziet de dieren in zouten die ze op een andere wijze niet voldoende binnenkrijgen. Het feit dat veel diersoorten een systeem kennen dat hen bewust laat zoeken naar zouten geeft ook het belang van deze stoffen aan. In deze behoefte is eenvoudig te voorzien door ook exotische dieren als bijvoorbeeld primaten te voorzien van een liksteen.

Rothman et. al. (2010) Decaying wood is a sodium source for mountain gorillas, Biol. Lett. 2006 (2), 321-324

Tekstvak 11: Behoefte aan zouten bij berggorilla's.

3.8.4 IJzer

Hoewel ijzer als sporenelement in een relatief lage concentratie aanwezig is in het lichaam, vervult het een bijzonder belangrijke rol in de stofwisseling. Ongeveer 70% van het ijzer in het lichaam is aanwezig in hemoglobine, het bloedpigment dat zuurstof transporteert.

Daarnaast is ijzer gebonden aan eiwit om transport van ijzer te veroorzaken (transferrine), is ijzer aanwezig in myoglobine, in het spierpigment dat daar zuurstof bindt, in enzymsystemen waar redoxreacties plaatsvinden en in opslag in de vorm van ferritine in lever, milt en beenmerg.

Vanwege de functie bij het zuurstoftransport en in belangrijke enzymen is ijzer onontbeerlijk als bouwstof en als regulerende stof. Het eenmaal geabsorbeerde ijzer wordt nauwelijks uitgescheiden, veel wordt hergebruikt. Er hoeven dus dagelijks slechts zeer kleine hoeveelheden te worden aangevuld. Ijzer gaat verloren door algemene slijtage van lichaamcellen (w.o. huid en haar), en bij de uitscheiding van overblijfselen van spijsverteringsenzymen in het darmkanaal via de feces. Ook vindt er een geringe ijzeruitscheiding met zweetvocht plaats en door bloedingen. Gebrek aan ijzer leidt tot bloedarmoede (anemie).

Ijzer kan gemakkelijker in de ferrovorm (Fe^{2+} , haemijzer) worden opgenomen. Dit soort ijzerverbindingen komt voor in dierlijke producten. De ferrivorm (Fe^{3+}) komt vooral voor in plantaardig materiaal. Deze vorm is moeilijker opneembaar. De opneembaarheid neemt echter toe wanneer vitamine C, citroenzuur en bepaalde aminozuren aanwezig zijn in de voeding. Oxaalzuur, fytine, vet en ruwe celstof verminderen de opname door het lichaam.

In de dierentuinvloeding staat op dit moment de problematiek van ijzerstapeling in de lever in de belangstelling. Fruitetende dieren (frugivoren) zoals sommige vogels, apen en ook vleermuizen hebben vanwege de zeer lage ijzergehalten in hun natuurlijk dieet een erg efficiënt ijzermetabolisme. In gevangenschap krijgen deze dieren vaak diëten die op zichzelf geen extreme ijzergehalten bevatten, maar voor de dieren toch een grote overmaat vormen. Dit ijzer wordt niet uitgescheiden maar vooral opgeslagen in de lever. Uiteindelijk leidt deze situatie ertoe dat de weerstand van de dieren afneemt en dat zij gevoeliger worden voor allerlei infectieziekten.

Ook bij niet-fruitetende dieren zoals het paard zijn problemen met een overmaat aan ijzer bekend. Hier leidt het tot leverproblemen met soms geelzuchtachtige verschijnselen. In alle gevallen zijn dit soort problemen veroorzaakt door overdadige supplementatie. Bij teveel ijzer in het dieet kan het ook nog antagonistisch werken op andere sporenelementen.

IJzersterk supplementeren

In diëten in dierentuinen wordt vaak gebruik gemaakt van voedingssupplementen. Al sinds jaar en dag bestaat de discussie of we moeten supplementeren, en zo ja; met wat? Eén van de nutriënten waarvan vast staat dat deze vaak kunstmatig moet worden aangevuld is calcium. Het dieet van frugivore dieren bestaat in dierentuinen vaak grotendeels uit vruchten die zijn geproduceerd voor humane consumptie, vrijwel al deze fruitsoorten bevatten slechts kleine hoeveelheden calcium.

Nadat onderzoek had aangetoond dat dieren uit de groep leden aan een calciumdeficiëntie werd een groep brilbladneusvleermuizen (*Carollia perspicillata*) extra calcium verstrekt door gebruik van een vitaminen- en mineralenpreparaat. Hoewel de calciumdeficiëntie verleden tijd was hield sterfte aan, dit keer werd ijzerstapeling in de lever waargenomen, was stapeling van ijzer in de dieren de doodsoorzaak. Frugivore dieren zijn erg gevoelig voor het overmatig innemen van ijzer. Supplementen zijn vaak hard nodig, maar ook hier moet een bewuste keuze worden gemaakt.

Boer, A. de, Hall, S. van. (2002). Bad(t) diet? Nutritionele behoeften van de brilbladneusvleermuis in gevangenschap. BSc. thesis, Van Hall Institute, Leeuwarden.

Tekstvak 12: Nadelige gevolgen van ijzerbevattende supplementen.

3.8.5 Zink

Zink is in het lichaam nodig als co-factor voor de werking van enzymen. Het is onder andere essentieel bij het transport van koolstofdioxide (CO₂) en zuurstof (O₂) door de betrokkenheid bij het enzym koolzuuranhydrase in rode bloedcellen. Ook bij de eiwit- en nucleïnezuursynthese is zink als co-factor betrokken. Zink kan worden uitgescheiden via de urine en door zweten (koorts!). Zink stimuleert ook de omzetting van retinol (vit. A) in retinal, dat nodig is voor de vorming van het lichtpigment rhodopsine.

Vanwege de rol bij het vormen van retinal kan een zinkdeficiëntie leiden tot nachtblindheid. Andere typische deficiëntieverschijnselen zijn eetlustverlies, groeivertraging, huidaandoeningen en ontkleuring van het haar.

Een secundaire zinkdeficiëntie kan ontstaan door de aanwezigheid van een overmaat calcium of fytine in de voeding. Deze stoffen verhinderen de absorptie van zink.

Een zinkovermaat kan leiden tot bloedarmoede en braken.

3.8.6 Mangaan

Mangaan is essentieel voor het normaal functioneren van testes en ovaria en voor de normale botvorming. Het blijkt tevens een activator te zijn van enzymen. In vogels speelt het een onmisbare rol bij de botvorming en de bevedering, ook bij de eischaalvorming is mangaan belangrijk.

Botmisvorming, vruchtbaarheidsproblemen en gebrekkige eischaalvorming zijn symptomen van mangaangebrek, het komt echter zeer weinig voor.

3.8.7 Koper

Koper is essentieel voor de vorming van hemoglobine. Het doet dienst als activator van enzymen die bij de zuurstofoverdracht betrokken zijn. Ook is koper betrokken bij de bot en kraakbeenvorming. Uitscheiding van koper vindt plaats door aan eiwit gebonden koper via de gal. Ruwweg 90% van het koper uit het voedsel wordt niet opgenomen in de darm.

Bij kopergebrek kunnen bloedarmoede, ontkleuring van het haar en botafwijkingen ontstaan.

Een secundaire koperdeficiëntie kan ontstaan bij overdadig supplementeren met zinkpreparaten, dit gebeurt wel eens in de hoop een slechte huid- en vachtconditie te verbeteren. Zink werkt als antagonist in op de koperabsorptie.

In zeer hoge doses kan koper kan leiden tot braken en kan uiteindelijk dodelijk zijn.

3.8.8 Jodium

Jodium is een bestanddeel van thyroxine, het schildklierhormoon. Dit hormoon reguleert de energieafgifte van de cel. Het versnelt op deze manier de reacties in bijna alle cellen met als gevolg een verhoogd zuurstofverbruik en toename van het basaalmetabolisme. Uitscheiding van jodium geschiedt voornamelijk via de urine.

Verschijnselen bij jodiumtekort zijn: een vergroting van de schildklier (struma), lusteloosheid, verminderde groei en vruchtbaarheid, gewichtsverlies en oedeem. Veel aan dieren gevoerde producten zoals rood vlees, zoetwatervis, fruit, noten en zaden zijn arm aan jodium. Bij honden en katten wordt een jodiumgebrek wel het "all meat disease" genoemd. Thuis gemaakte diëten, bestaande uit vlees en graanbestanddelen hebben regelmatig tot deze aandoening geleid. Ook bij niet-gedomesticeerde carnivoren in gevangenschap is dit probleem vrij vaak in de literatuur beschreven.

Een overmaat jodium in het rantsoen kan leiden tot verschijnselen die sterk lijken op een tekort. Omdat jodium normaal gesproken in zeer lage concentraties voorkomt worden problemen vooral veroorzaakt door verkeerde toepassing van supplementen.

3.8.9 Chroom

Chroom blijkt noodzakelijk te zijn voor een normaal verloop van de glucosestofwisseling. Het is een co-factor van insuline, het hormoon dat de bloedsuikerspiegel reguleert. Problemen met dit element komen voor zover bekend niet voor.

3.8.10 Kobalt

Kobalt is nodig voor de vorming van vitamine B₁₂. Het vormt daarin een organisch complex en oefent als zodanig zijn functie uit. Voor dieren die met behulp van bacteriële activiteiten in het maag-darmstelsel in hun eigen B₁₂ behoefte voorzien is kobalt essentieel. Kobalt wordt slecht geabsorbeerd en vrijwel geheel met de ontlasting uitgescheiden. Reeds opgenomen kobalt wordt via de gal en in geringere mate via de darm uitgescheiden. Verschijnselen van een kobaltdeficiëntie zijn identiek aan die van een vitamine B₁₂ deficiëntie.

3.8.11 Fluor

Fluor is een belangrijk bestanddeel van skeletdelen. Tandbederf (cariës) is voor een deel het gevolg van de geringe opname van fluorzouten uit het voedsel. Fluor wordt na opname in de darm gebruikt om van binnenuit in het tandglazuur te worden ingebouwd. Het fluor-ion kan echter ook door direct contact van fluor uit voedsel en water met de tanden en kiezen, dus van buitenaf via de mondholte, worden opgenomen door het glazuur.

Fluortekorten komen zelden voor, een overmaat (fluorosis) komt vaker voor. Botaandoeningen, zebratanden (zwarte strepen op het glazuur), aangetaste tanden, breuken in tanden en kaakbeen en reproductieproblemen zijn allen verschijnselen van een overmaat.

3.8.12 Molybdeen

Molybdeen speelt een rol bij enkele elektronenoverdragende enzymen. Als zodanig speelt het ook een rol bij de ijzerstofwisseling. Het wordt gemakkelijk uit de darm geabsorbeerd, uitscheiding vindt hoofdzakelijk plaats met de urine.

Een overmaat molybdeen zorgt in de praktijk vaker voor problemen dan tekorten. Bij een overmaat kan de opname van koper verstoord worden. Vergiftigingsverschijnselen zijn weinig specifiek; gewichtsverlies, verlaagde voeropname en diarree.

3.8.13 Selenium

Selenium of Seleen blijkt nodig voor optimaal functioneren van een aantal enzymsystemen. Seleen is bestanddeel van een enzym dat in belangrijker mate betrokken is bij het afvoeren van toxische stoffen. Ook zou seleen de kankerverwekkende werking van een aantal stoffen remmen. Seleen blijkt nauw betrokken te zijn bij de werking van vitamine E (zie ook vitamine E). Seleen kan zowel in organische als in anorganische vorm aan het voedsel toegediend worden om deficiënties te voorkomen.

Seleniumtekorten geven ongeveer dezelfde verschijnselen als vitamine E deficiënties. Selenium veroorzaakt ook vrij vaak vergiftigingsproblemen, verschijnselen variëren van

afnemende groei tot veel ernstiger symptomen als (embryonale) verlammingen, hart en leveraantasting, blindheid en uiteindelijk sterfte.

Er zijn gebieden in de wereld waar de seleniumconcentratie in de bodem van nature zo hoog is dat zelfs in het wild levende dieren problemen krijgen. Bij gehouden dieren zijn het vooral supplementen die voor problemen zorgen.