

Basiswissen & Nachschlagewerk

Inhalt

1. Antioxidantien	2
2. Atmung	4
3. Atom	5
4. ATP – Adenosintriphosphat.....	6
5. Blutkreislauf	8
6. Cholesterin	15
7. Energiestoffwechsel	21
8. Erythrozyten	22
9. Freie Radikale	26
10. HRV – Herz Raten Variabilität.....	30
11. Hyperbare Oxygenierung.....	34
12. Kohlenhydrate.....	37
13. Leukozyten	39
14. Lipide	42
15. Moleküle	44
16. Nahrungsergänzungsmittel	45
17. Oxidation.....	47
18. Oxidativer Stress.....	49
19. Peak Flow Meter	50
20. Photodynamische Therapie (PDT).....	51
21. Photosynthese	54
22. PH Wert	59
23. Proteine	62
24. Sauerstoff	65
25. Sauerstoffverwertung.....	69
26. Selbstregulierung.....	72
27. Spirometer	74
28. Spurenelemente.....	75
29. Stoffwechsel.....	76
30. Stoffwechselstörungen.....	77
31. Stress.....	78
32. Thrombozyten.....	83
33. Vegetatives Nervensystem	85
34. Vitamine.....	92
35. Zelle	98

1. **Antioxidantien**

werden in Lebensmitteln und in Kunststoffen eingesetzt, um die Oxidation empfindlicher Moleküle zu verhindern, also die Reaktion mit dem Luftsauerstoff oder anderen oxidierenden Chemikalien. Meistens wirken sie als Radikalfänger. Sie sind u. a. in Knoblauch, Kohl, Broccoli, Süßholz, Ingwer, Tee, Kaffee, Kerbel, Petersilie, Zwiebel, Zitrusfrüchten, Leinsamen, Vollreis, Tomaten, Traubenkernöl, Rosmarin, Minze, Gurke, Spargel, Basilikum und Kakao enthalten und werden in der Lebensmitteltechnik als Lebensmittelzusatzstoffe eingesetzt. Antioxidantien sind auch ein wichtiger Bestandteil der menschlichen Muttermilch, sie wirken im Organismus des Babys als Radikalfänger und helfen u. a. bei der Infektionsabwehr.

Natürliche Antioxidationsmittel

Ein in der Natur vorkommendes Antioxidationsmittel ist Vitamin C (Ascorbinsäure), das in vielen Zitrusfrüchten enthalten ist. Dies kann man auch an einem kleinen Test leicht veranschaulichen, indem man etwas Zitronensaft auf einen frisch geschälten Apfel gibt. Man kann erkennen, dass der Apfel an den behandelten Stellen nicht so schnell braun wird. Vitamin C und seine Salze werden z. B. Limonaden, Marmeladen, Kondensmilch und Würstchen zum Schutz beigefügt.

Es gibt weitere natürliche Antioxidantien, die zur Vitamin-E-Familie gehören und hauptsächlich in Nüssen und Sonnenblumenkernen enthalten sind. Sie werden meist in Pflanzenölen, Margarine und Kakaoprodukten verwendet.

Das zur Gruppe der Carotinoide zählende Lycopin ist ein weiteres natürlich vorkommendes Antioxidationsmittel. Es ist hauptsächlich in roten Tomaten enthalten (ca. 20 mg/kg) und wirkt als Radikalvernichter. Dabei ist Lycopin deutlich effektiver als β -Carotin. Lycopin gehört zu den stärksten natürlichen Oxidationsschutzstoffen. Studien haben gezeigt, dass Lycopin als wirksame Substanz zur Verringerung des Risikos für bestimmte Krebsarten dienen kann. Vor allem bei Prostatakrebs gibt es nachgewiesene Erfolge.

Im Säugetierorganismus werden weiterhin verschiedene antioxidative Enzyme gebildet. Diese Enzyme sind mehrfach Elektronenüberträger. Das bedeutet, dass sie mehrere Elektronen „abgeben“ können ohne selbst radikalisch zu werden. Die wichtigsten sind die Superoxiddismutase (SOD), die Glutathionperoxidase (GPX) und die Katalase. Diese Enzyme sind zur Entgiftung freier Radikale in den Körperzellen von entscheidender Bedeutung. Glutathion (GSH) ist praktisch in allen Zellen vorhanden, oft in hohen Konzentrationen, und kann als eine Art Redoxpuffer angesehen werden. Die Substanz verhindert die Oxidation von Sulfhydrylgruppen in Proteinen und von Eisen (Fe-II) im Häm. Seine Redoxfunktion kann auch zur Entfernung toxischer Peroxide dienen, wie sie sich im Laufe des Wachstums und im Metabolismus unter aeroben Bedingungen bilden.

Antioxidantien sollten jedoch stets aktiv sein. Bei einem Mangel an Bewegung werden Antioxidantien inaktiv und verlieren somit ihre Wirkung.

Künstliche Antioxidationsmittel

Die wichtigste Gruppe der künstlichen Antioxidationsmittel sind die Gallate.

Gallate werden pflanzlichen Ölen und Margarine beigefügt, um ein Ranzigwerden zu verhindern und den Geschmack zu erhalten

2. **Atmung**

Unter Atmung (lat.: Respiration) versteht man allgemein den aeroben, das heißt Sauerstoff verbrauchenden Abbau (Dissimilation) von Stoffen zur Energiegewinnung und die damit einhergehende Abgabe von Kohlendioxid. In der Pflanzenwelt findet neben dem Aufbau (Assimilation) auch Atmung statt. Einige Mikroorganismen können ihre Energieäquivalente auch ohne Sauerstoff als Elektronenakzeptor gewinnen, sie bestreiten also eine Anaerobe Atmung. In der Biologie des Tierreiches wird dabei nach anatomisch/physiologischen und biochemischen Aspekten die äußere von der inneren Atmung (Zellatmung) unterschieden.

Atemwege der Säuger

Beim Atmen strömt die Luft durch Mund (pars orale pharyngis) oder Nase (pars nasale pharyngis) in den Körper. Wird durch die Nase eingeatmet, wird die Luft zunächst durch Haare der Nase und Schleimhäute gereinigt, angefeuchtet und angewärmt. Anschließend gelangt die Atemluft über den Rachenraum vorbei an Kehlkopf (Larynx) und Stimmlippen in die Luftröhre (Trachea). Die Luftröhre verzweigt sich in die beiden Äste der Bronchien, die sich immer weiter verzweigen (Bronchiolen). Am Ende befinden sich die Lungenbläschen (Alveolen) in der Lunge, durch deren dünne Membran Sauerstoff in die Kapillargefäße übertritt und auf umgekehrtem Weg Kohlendioxid aus dem Blut an die Lunge abgegeben wird.

Atemsteuerung

Gesteuert wird die Atmung durch das Gehirn beziehungsweise das Atemzentrum im verlängerten Rückenmark. Ausschlaggebend ist dabei die Reaktion von Chemorezeptoren auf den Kohlendioxid-Gehalt (Kohlendioxid-Partialdruck) des Blutes. Übersteigt dieser einen gewissen Schwellenwert, setzt der Atemreiz ein. Rezeptoren die auf den pH-Wert des arteriellen Blutes sowie einen Sauerstoffmangel (Hypoxie) reagieren, haben nur eine zweitrangige Bedeutung als Atemreiz. Über die sensiblen Fasern des Nervus vagus (Rami bronchiales und pulmonales) wird auch die Ausdehnung der Lunge erfasst. Überschreitet diese ein gewisses Maß, so wird die Inspiration reflektorisch begrenzt (Hering-Breuer-Reflex)

	Atemzüge pro Minute
Erwachsene	12
Jugendliche	15
Schulkind	20
Kleinkind	25
Säugling	30
Neugeborene	40-60

3. Atom

(von altgriechisch άτομος, átomos - unteilbar, (unteilbare) Person) ist der kleinste chemisch nicht weiter teilbare Baustein der Materie. Im Laufe der Wissenschaftsgeschichte wurden unterschiedliche Atommodelle vorgeschlagen.

Atome sind elektrisch neutral, jedoch werden oft auch Ionen unter dem Begriff „Atom“ gefasst. Atome bestehen aus einem Atomkern mit positiv geladenen Protonen und elektrisch neutralen Neutronen, sowie einer Atomhülle aus negativ geladenen Elektronen. Atome gleicher Anzahl der Protonen, welche durch die Kernladungszahl ausgedrückt wird, gehören zu demselben Element. Bei neutralen Atomen ist die Anzahl von Protonen und Elektronen gleich. Die physikalischen Eigenschaften der Atomhülle bestimmen das chemische Verhalten eines Atoms. Atome gleicher Kernladungszahl besitzen dieselbe Atomhülle und sind damit chemisch nicht unterscheidbar.

Nahezu die gesamte von uns wahrnehmbare, unbelebte und belebte Materie in unserer irdischen Umgebung besteht aus Atomen oder Ionen. Kosmologisch betrachtet stellt diese Materieform jedoch nur einen sehr kleinen Anteil dar, neben dem Plasma, aus dem die Sterne bestehen, der Neutronenmaterie von Neutronensternen und eventuell einer noch hypothetischen Dunklen Materie bislang unbekannter Natur. Ein Atom besteht aus einer Hülle und einem im Vergleich zu seinem Gesamtvolumen winzigen Kern. Die Atomhülle (Elektronenhülle) hat mit einem Radius von etwa 10^{-10} m einen ungefähr zehntausendfach größeren Radius als der Atomkern ($r = 10^{-14}$ m). Zur Veranschaulichung: Würde man ein Atom auf die Größe einer Kathedrale aufblähen, so entspräche der Kern der Größe einer Fliege (wobei beinahe die gesamte Masse des Atoms auf diesen winzigen Kern entfällt). Der Atomkern nimmt nur etwa ein Billiardstel des Gesamtvolumens eines Atoms ein. Das Atom als Grundbaustein der Materie besteht somit fast ausschließlich aus leerem Raum. Der Atomkern besteht aus den so genannten Nukleonen, Protonen und – außer beim Wasserstoff-Isotop ^1H – aus Neutronen. Die Atomhülle besteht aus Elektronen. Im Atomkern konzentriert sich fast die gesamte Masse des Atoms. Die Elektronen tragen eine negative elektrische Ladung und die Protonen eine positive von gleichem Betrag, wodurch sie sich gegenseitig anziehen. Die Neutronen sind elektrisch neutral und haben eine geringfügig größere Masse als die Protonen.

4. **ATP – Adenosintriphosphat**

ist ein Nucleotid, bestehend aus dem Triphosphat des Nucleosids Adenosin, und als solches ein energiereicher Baustein der Nucleinsäuren DNA und RNA. ATP ist jedoch auch die universelle Form unmittelbar verfügbarer Energie in jeder Zelle und gleichzeitig ein wichtiger Regulator energieliefernder Prozesse. ATP kann aus Energiespeichern (Glykogen, Kreatin-Phosphat) bei Bedarf freigesetzt werden. Das ATP-Molekül besteht aus einem Adenin-Rest, dem Zucker Ribose und drei Phosphat-Resten (alpha bis gamma) in Ester- (alpha) bzw. Anhydrid-Bindung (beta und gamma).

Bedeutung als Energieträger für den Organismus

Für die in Zellen ablaufenden Prozesse wird Energie benötigt, da dabei chemische, osmotische oder mechanische Arbeit geleistet wird. Diese Energie muss in irgendeiner Form bereitgestellt werden. Dies geschieht über das Molekül ATP. Die Bindungen der drei Phosphatreste sind sehr energiereiche chemische Bindungen. Die Phosphate sind über so genannte Phosphoanhydrid-Bindungen (Säureanhydrid-Bindungen) miteinander verbunden. Werden diese Bindungen durch Enzyme hydrolytisch gespalten, entsteht das Adenosindiphosphat (ADP) bzw. das Adenosinmonophosphat (AMP). Dabei werden jeweils etwa 32,6 kJ/mol oder 64,3 kJ/kg Energie frei. Diese freiwerdende Energie ermöglicht die Arbeitsleistungen in den Zellen.

Als Energiequelle wird ATP für die grundlegenden energieverbrauchenden Prozesse aller Lebewesen genutzt: Synthese von organischen Molekülen, aktiver Stofftransport durch Biomembranen hindurch in die Zellen oder hinaus sowie Bewegungen wie zum Beispiel bei der Muskelkontraktion.

ATP im Vergleich zu anderen Energieträgern

Bei der Spaltung werden 64,3 kJ Energie pro kg frei. Im Vergleich zum Brennwert von Benzin, welcher rund 43.000 kJ pro kg beträgt, oder Wasserstoff, dessen Brennwert bei rund 120.000 kJ pro kg liegt, hat ATP einen äußerst niedrigen Energiegehalt. Dieser entspricht jedoch genau dem Bedarf, der in einer Zelle für die endothermen Reaktionen benötigt wird. Die Energiemenge eines Glucose-Moleküls wäre für solche Reaktionen zu groß.

Regeneration des ATP

Aus dem bei der Energieabgabe aus ATP entstandenen AMP bzw. ADP regeneriert die Zelle das ATP. Dafür gibt es zwei verschiedene Prinzipien, die als Substratphosphorylierung und Elektronentransportphosphorylierung bezeichnet werden. Bei der Substratphosphorylierung wird ein Phosphat-Rest an einen Zwischenstoff des Abbaus von Energiequellen gebunden und nach weiterem Umbau des Zwischenstoffes auf ADP übertragen. Die Bezeichnung Substratphosphorylierung bezieht sich auf die Zwischenstoffe des Abbaus der Energiequellen, die an Enzyme gebunden sind und deshalb als Enzymsubstrate bezeichnet werden. Bei der Elektronentransportphosphorylierung werden durch einen Transport von Elektronen entlang eines Redox-Gradienten über verschiedene Elektronen- und Wasserstoff-Überträger in einer Membran, Protonen von einem durch die Membran umschlossenen Raum der Zelle in

einen anderen (oft der Raum außerhalb der Zelle) exportiert. So wird ein Protonen-Konzentrationsunterschied über die Membran erzeugt. Der Rückfluss der Protonen durch das ebenfalls in der Membran lokalisierte Enzym ATP-Synthase treibt die von diesem Enzym katalysierte energieverbrauchende Bindung anorganischer Phosphatreste an das AMP bzw. ADP.

Bei chemotrophen Organismen ist der Elektronentransport mit einem oxidativen Abbau der Energiequellen verbunden. Dabei werden Wasserstoff-Atome abgespalten und diese in Protonen und Elektronen gespalten. Bei Eukaryoten findet der Vorgang in den Mitochondrien statt. Siehe auch **Chemotrophie**. Bei phototrophen Organismen werden die Elektronen nach Absorption von Licht von Chlorophyllen auf hohem Energieniveau abgegeben. Man spricht deshalb in diesem Fall von Photophosphorylierung. Siehe auch **Phototrophie**.

Kurzzeitregeneration

Da die oxidative Phosphorylierung in der Atmungskette relativ langsame Prozesse sind, muss der ATP-Vorrat in stark beanspruchten Zellen (Muskelzellen) auch kurzfristig wieder aufgefüllt werden. Der ATP-Vorrat reicht bei starker Beanspruchung nur ca. 1 s. Eine Pufferwirkung übernehmen hier Moleküle mit höherem Gruppenübertragungspotenzial als ATP. Säugetiermuskelzellen halten einen Vorrat an Kreatinphosphat bereit; die Kreatin-Kinase katalysiert die Übertragung der Phosphorylgruppe vom Kreatinphosphat an das AMP bzw. ADP. Ist dieser Vorrat verbraucht, müssen die oben genannten Mechanismen die ATP-Regeneration alleine tragen.

ATP-Konzentrationen

In der Zelle ist die ATP-Konzentration eine Regelgröße.

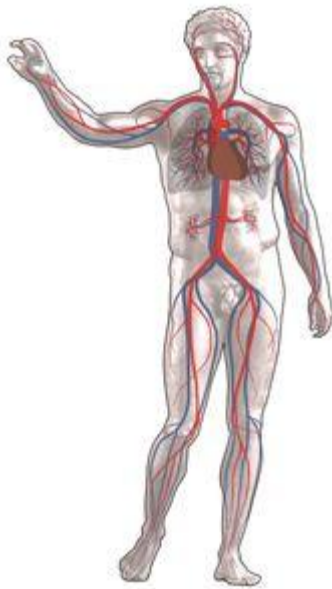
- a) Absinken unter einen Schwellenwert (4–5 mmol/L) aktiviert energieliefernde Reaktionen (siehe Phosphofruktokinase)
- b) Übersteigen des Schwellenwertes bewirkt Energiespeicherung, z. B. durch:
 - 1) Bildung von Kreatin-Phosphat als schnell verfügbaren (ATP-liefernden) Speicher im Muskel
 - 2) Aufbau von Glykogen als „Energiepolster“ in der Leber. Kohlenhydrat- und Proteinspeicher sind allerdings limitiert; weiterer Energieüberschuss führt (über Acetyl-CoA) zur Speicherung von Fett.

Bei einem durchschnittlichen erwachsenen Menschen entspricht die Menge ATP, die täglich in seinem Körper auf- und wieder abgebaut wird, etwa seinem Körpergewicht. Der ATP-Durchsatz kann bei intensiver Arbeit auf 0,5 kg pro Minute ansteigen

5. Blutkreislauf

Der Blutkreislauf ist das Strömungssystem des Blutes, das vom Herzen und, wenn vorhanden, einem Netz aus Blutgefäßen (kardiovaskuläres System) gebildet wird. Er sichert das Überleben des Organismus, indem er den Stoffwechsel jeder einzelnen Körperzelle versorgt und die chemischen und physiologischen Eigenschaften der Körperflüssigkeiten aufrecht erhält.

Zum einen transportiert das Blut Sauerstoff aus den Lungen zu den Zellen und Kohlendioxid in entgegengesetzter Richtung (siehe auch Atmung). Zum anderen werden aus der Verdauung gewonnene Nährstoffe wie Fette, Zucker oder Eiweiße aus dem Verdauungstrakt in die einzelnen Gewebe transportiert, um dort je nach Bedarf verbraucht, weiterverarbeitet oder gespeichert zu werden. Die entstandenen Stoffwechsel- oder Abfallprodukte (zum Beispiel Harnstoff oder Harnsäure) werden dann in anderes Gewebe oder zu den Ausscheidungsorganen (Nieren und Dickdarm) transportiert. Außerdem verteilt das Blut auch Botenstoffe wie zum Beispiel Hormone, Zellen der Körperabwehr und Teile des Gerinnungssystems innerhalb des Körpers



Blutkreislauf beim Menschen. Rot bezeichnet Arterien, blau Venen

Aufbau

Der Blutkreislauf besteht aus dem Herzen und den Blutgefäßen. Blutgefäße, die zum Herzen führen, werden als Venen bezeichnet, diejenigen, die vom Herz wegführen, als Arterien. Je weiter die Blutgefäße vom Herzen entfernt sind, umso verzweigter werden sie, und umso kleiner wird auch ihr Durchmesser. Arterien werden zuerst zu Arteriolen und diese zu Kapillaren, welche das Gewebe versorgen. Diese führen wiederum zusammen und bilden die postkapillaren Venolen, die zu Venen werden.

Blutgefäße

Blutgefäße werden auf Grund ihres Aufbaus und ihrer Funktion in mehrere Arten unterteilt. Die Arterien transportieren das Blut unter hohem Druck und mit hoher Fließgeschwindigkeit, deswegen besitzen sie eine dicke Gefäßwand.

Durch sie gelangt das Blut aus dem Herzen in die verschiedenen Gewebe. Von den Arterien gehen die Arteriolen ab, sie dienen als Kontrollventile, und haben deswegen starke muskuläre Wände, die die Gefäße verschließen (Vasokonstriktion) oder weiten (Vasodilation) können. Sie verzweigen sich weiter zu den Kapillaren, die den Austausch von Flüssigkeiten, Nährstoffen, Elektrolyten, Hormonen und anderen Stoffen zwischen Blut und Gewebe vornehmen und deswegen mit einer dünnen Gefäßwand (nur Endothel) ausgestattet sind, die für geringmolekulare Stoffe permeabel (durchlässig) ist. In einigen Organen (Leber, Milz) sind die Kapillaren erweitert, dann spricht man von Sinusoiden.

Venolen haben nur eine dünne Gefäßwand. Sie sammeln das Blut aus den Kapillaren, um es wieder den Venen zuzuführen, die es von der Peripherie zurück zum Herzen transportieren. Weiterhin dienen sie als Blutspeicher. Sie haben dünne, muskuläre Wände, die das Weiten oder Verschließen der Gefäße erlauben. Ein Teil der Flüssigkeit tritt im Kapillargebiet aus den Gefäßen aus und wird über Lymphgefäße abtransportiert. Die großen Lymphsammelstämme münden nahe des Herzens wieder in das Venensystem. Benachbarte Blutgefäße mit gleichem Zielgebiet werden als Kollaterale bezeichnet. In fast allen Körperregionen gibt es Verbindungen zwischen diesen benachbarten Blutgefäßen, so genannte Anastomosen. Diese sorgen dafür, dass bei einer Verlegung (z. B. Thrombose) oder Verletzung eines Blutgefäßes, die Versorgung durch das Nachbargefäß übernommen werden kann. Arterien die keine Anastomosen aufweisen nennt man Endarterien. Kommt es zu einer Verlegung einer Endarterie, so wird der entsprechende Gewebsabschnitt nicht mehr mit Blut versorgt und stirbt ab (Infarkt). Die Anastomosen können aber auch zu schwach sein, um eine vollständige Kompensation eines Ausfalls zu ermöglichen. In diesem Fall spricht man von funktionellen Endarterien. Eine Verstopfung oder Verletzung dieser Arterien führt zu einer Minderdurchblutung (Ischämie).

Aufgaben und Funktion

Blut erfüllt im Körper verschiedene Aufgaben. Es transportiert sauerstoffreiches Blut aus den Lungen zum Gewebe und mit Kohlenstoffdioxid angereichertes Blut zurück. Weiterhin wird das Gewebe mit Nährstoffen aus dem Verdauungstrakt versorgt und von entstandenen Stoffwechsel- und Abfallprodukten befreit, die zu den Ausscheidungsorganen (Niere und Darm) transportiert werden. Blut dient zudem als wichtiges Medium für den Transport von Hormonen zwischen einzelnen Organsystemen und Komponenten der Immunabwehr und der Blutgerinnung zu Orten im Körper an denen sie gebraucht werden.

Der Blutkreislauf dient demzufolge letztendlich dazu, dem Blut zu ermöglichen, sich durch den gesamten Körper zu bewegen. Weiterhin spielt der Blutkreislauf eine wichtige Rolle bei der Thermoregulation. Über den Grad der Durchblutung der Haut wird die Wärmeabgabe über die Körperoberfläche reguliert.

Im Gegensatz zu den wechselwarmen Tieren ist das Herz der gleichwarmen Tiere, und damit auch das des Menschen, vollständig in zwei Kammern geteilt. Deshalb kann es als in zwei Hälften geteilt betrachtet werden, obwohl es sich im gesamten um ein einziges Organ handelt. Jede dieser Hälften besteht aus einem Vorhof und einer Kammer, die jeweils als Einheit arbeiten. Während die

rechte Herzhälfte das Blut durch den Lungenkreislauf pumpt, der das Blut mit Sauerstoff anreichert, pumpt die linke Herzhälfte das Blut durch den Körperkreislauf, um die Organe mit Nährstoffen und Sauerstoff zu versorgen. Diese beiden Kreisläufe sind in Reihe geschaltet, so dass das gesamte Blut immer durch den Lungenkreislauf fließen muss. Im Unterschied dazu sind die Organe im Körperkreislauf parallel geschaltet. Die Existenz zweier Blutkreisläufe (Körper- und Lungenkreislauf) hat wichtige Vorteile: a) Der Druck kann in beiden Kreisläufen unterschiedlich sein. Im Lungenkreislauf ist er erheblich niedriger, so dass eine geringere Wanddicke in den Lungen für einen besseren Gasaustausch möglich ist, b) Die Lunge mit ihren Kapillaren funktioniert als Filter gegen Blutgerinnsel (Thromben) u. ä., bevor das Blut von der linken Herzseite u. a. zum Gehirn gepumpt wird. Die Lunge hat dazu thrombolytische Eigenschaften. Im Lungenkreislauf verlässt das Blut die rechte Herzkammer über den Lungenstamm (lat. Truncus pulmonalis) in Richtung der Lungen, wo es mit Sauerstoff angereichert wird. Dann wird es von der Lungenvene (lat. Vena pulmonalis) in den linken Herzvorhof gepumpt. Vom linken Vorhof gelangt es in die linke Kammer, von wo aus es durch die Aorta in den Körperkreislauf gepumpt wird. Während bei den Säugern die Aorta auf der linken Körperseite verläuft, liegt sie bei Vögeln auf der rechten. Nach der Versorgung der Organe kehrt das nun mit Kohlendioxid angereicherte Blut durch die obere bzw. die untere Hohlvene in den rechten Vorhof zurück. Mit dem Übergang vom rechten Vorhof in die rechte Kammer beginnt der Kreislauf von neuem. Eine Besonderheit stellt das Pfortadersystem dar. Blut, das von den Organen des Verdauungstrakts kommt, wird in der Pfortader gesammelt und gelangt in die Leber, wo die aufgenommenen Nährstoffe verwertet werden. Auch die Hirnanhangsdrüse (Hypophyse), bei Vögeln (und Reptilien) auch die Nieren besitzen ein Pfortadersystem.

Blutdruck- Volumen

Man unterscheidet zwischen dem so genannten Niederdruck- und dem Hochdrucksystem. Zum Niederdrucksystem gehören die Arteriolen, Kapillaren und Venen des Körperkreislaufs, das rechte Herz und die Gefäße des Lungenkreislaufs. Das Hochdrucksystem beinhaltet die Arterien des Körperkreislaufs. Die Hauptaufgabe des Niederdrucksystems ist seine Blutspeicherfunktion, denn 80 Prozent des im Körper zirkulierenden Blutes (etwa sieben Prozent der fettfreien Körpermasse, beim Menschen circa vier bis fünf Liter) findet man dort. Diese Funktion wird durch die hohe Dehnbarkeit und die große Kapazität der Gefäße begünstigt. Im Falle eines Blutverlustes kann das Volumen durch Verengung (Vasokonstriktion) der Venen bis zu einem gewissen Grad ausgeglichen werden. Im umgekehrten Fall, der zum Beispiel bei Bluttransfusionen auftritt, ändert sich hauptsächlich das Volumen des Niederdrucksystems. Deshalb ist im Normalfall der zentrale Venendruck (Normalwert etwa drei bis neun mmHg) ein guter Indikator für das Blutvolumen. Im Gegensatz dazu ist die Hauptaufgabe des Hochdrucksystems die Versorgung der Organe. Der Blutdruck ist im Verlauf des Systems großen Änderungen unterworfen. Beträgt er noch in der Aorta und den großen Arterien ca. 100 mmHg, fällt er in den Arterienästen auf 40 mmHg ab, und beträgt in den Kapillaren nur noch 25 mmHg. In den Venolen beträgt er 20 mmHg, in den Pfortadern letztendlich nur noch drei mmHg. Im Lungenkreislauf schwankt der

Druck zwischen 15 und 20 mmHg in der Arteria pulmonalis und zwischen 2 und 5 mmHg in der Vena pulmonalis. Spricht man umgangssprachlich vom Blutdruck, so meint man den Blutdruck der Arterien im Körperkreislauf. Dieser schwankt zwischen Systole (der Auswurfphase des Herzens) und Diastole (der Füllungsphase), und wird als Doppelwert dieser beiden Phasen angegeben, wobei zuerst der systolische und dann der diastolische Wert genannt wird. Durchschnittlich liegen diese Werte für die Diastole zwischen 60 und 90 mmHg und für die Systole zwischen 100 und 140 mmHg. Der Unterschied zwischen dem systolischen und dem diastolischen Blutdruck wird als Blutdruckamplitude bezeichnet.

Blutfluss

Trotz der großen Druckunterschiede zwischen Systole und Diastole fließt das Blut relativ gleichmäßig durch den Körper. Dies liegt an der so genannten Windkesselfunktion der Aorta und der großen Arterien. Während der Systole dehnt sich die Gefäßwand aus und nimmt so einen Teil des ausgeworfenen Blutes auf, und gibt ihn in der Diastole, in der kein Blut aus dem Herzen austritt, wieder ab. Diese Volumendehnbarkeit (Compliance) wandelt also das stoßweise austretende Blut in einen gleichmäßigen Strom um. Würde der Druck nicht durch die elastischen Gefäße gespeichert werden können, so würde der Druck in der Aorta wesentlich dramatischer schwanken. Interessanterweise würde im zeitlichen Mittel aber wesentlich weniger Blut durch die Gefäße strömen, da viel Strömungsenergie für das ständige Beschleunigen des Blutes aufgezehrt würde. Die Druckwelle bewegt sich beim jungen, erwachsenen Menschen mit etwa 6 Meter pro Sekunde, beim alten Menschen verdoppelt sich die Geschwindigkeit. Da mit zunehmendem Lebensalter die Gefäßwände immer unelastischer werden, vermindert sich der Druckspeichereffekt mit dem Lebensalter immer mehr und der Volumenstrom reduziert sich. Während der Blutfluss in den Arterien allein von der Pumpkraft des Herzens realisiert wird, spielen bei Venen verschiedene Faktoren eine Rolle. Zu einem gewissen Grad wirkt die Pumpkraft über das Kapillarbett hinaus auch auf die Venen (sog. vis a tergo, „Kraft von hinten“). In den Venen wird das Blut vor allem schubweise über von außen wirkende Kräfte zurück zum Herz transportiert. Zu diesem Zweck befinden sich in ihrem Inneren Venenklappen. Die äußeren Kräfte sind vor allem die Kontraktionen umliegender Skelettmuskeln, bei den großen Venen im Körperinneren die Druckschwankungen durch die Atmung (Erweiterung der Venen durch den Unterdruck bei der Inspiration). Die Venenklappen verhindern, dass in den Pausen dieser äußeren Massagewirkung das Blut nicht wieder der Schwerkraft folgend zurück fließt. Der Ansaugdruck durch die Erweiterung der Vorhöfe des Herzens spielt nur bei den herznahen großen Venen eine Rolle. Regulation - Unabhängig von Umgebungs- und Belastungsbedingungen muss die Blutversorgung zu jedem Zeitpunkt aufrechterhalten bleiben. Es muss sichergestellt werden, dass Herzaktion und Blutdruck immer bestmöglich reguliert werden, alle Organe ein Mindestmaß an Blut erhalten und der Blutstrom entsprechend den Bedürfnissen von den ruhenden hin zu den aktiven Organen verteilt wird, da eine Maximalversorgung aller Organe zur gleichen Zeit nicht möglich ist. Würden alle Organe gleichzeitig maximalversorgt werden, so würde der Blutdruck stark abfallen und zum Schock führen, weil die Gesamtblutmenge dafür nicht ausreicht. Der Körperkreislauf besteht daher aus vielen parallel geschalteten Kreisläufen, die je nach Aktivität zu- oder

abgeschaltet werden können. So wird z. B. nach der Nahrungsaufnahme der Verdauungsapparat vorrangig versorgt, andere Organsysteme werden gedrosselt, Hochleistungssport ist dann nicht möglich. Die Realisierung dieser Zu- und Abschaltungen erfolgt über mehrere Wege.

Die Gefäßweite (das Lumen) der Arterien wird durch den Spannungszustand (Tonus) der glatten Muskulatur in der Gefäßwand gesteuert. Sind die Gefäße erweitert, fließt mehr Blut in das entsprechende Gebiet.

Arteriovenöse Anastomosen: Anastomosen sind Verbindungen zwischen kleineren Blutgefäßen, in diesem Fall zwischen Arterie und zugehöriger Vene.

Diese arteriovenösen Anastomosen sind verschließbar, in diesem Fall nimmt das Blut den gewohnten Weg durch die Kapillaren. Öffnen sich diese Verbindungen, so strömt ein Großteil des Blutes aufgrund des geringeren Strömungswiderstandes von der Arterie durch die Abkürzung direkt in die Vene, das Kapillarbett bekommt also weniger Blut.

Vorkapillare Schließmuskeln: Normale Arterien können zwar ihr Lumen verengen, aber nicht bis zu einem vollständigen Verschluss. In den kleinsten Arteriolen gibt es dagegen spezielle Bildungen der mittleren Wandschicht, die als Sphincter precapillaris bezeichnet werden. Diese können das Lumen verschließen und somit den Blutfluss im sich anschließenden Kapillarbett reduzieren.

Sperrarterien: Sperrarterien sind Arterien, die ebenfalls ihr Lumen verschließen können. Solche Sperrarterien gibt es am Penis-schwellkörper. Sie sind normalerweise geschlossen und erst ihre Öffnung löst einen Blutfluss und damit die Schwellkörperfüllung (Erektion) aus

Drosselvenen: Drosselvenen sind Venen, die ihr Lumen einengen können. Sie kommen vor allem in der Schleimhaut des Darmes vor. Bei einer Einengung wird der Blutabfluss aus dem Darm verlangsamt und damit die Blutmenge vergrößert und die Zeit zum Übertritt der resorbierten Nährstoffe in das Blut verlängert.

Kreislaufregulatorische Einrichtungen werden durch:

- a) lokale Steuerung
- b) hormonale Signale und
- c) neuronale Signale beeinflusst

Lokale Steuerung

Die lokale Steuerung oder auch Autoregulation stellt zum einen das Gleichbleiben der Organdurchblutung auch bei wechselndem Blutdruck sicher, zum anderen passt sie die Durchblutung den Stoffwechselbedingungen des Organs an (zum Beispiel steigt die Durchblutung des Magen-Darm-Traktes während der Verdauung). Dies findet auf unterschiedlichen Wegen statt:

- a) Beim Bayliss-Effekt findet eine Kontraktion der Gefäßmuskulatur als Antwort auf eine Gefäßweite durch eine Blutdruckerhöhung statt. Er tritt in Gehirn,

Niere und Verdauungstrakt auf, nicht aber in der Haut oder der Lunge

b) Sauerstoffmangel löst eine Gefäßweitung aus, die daraus resultierende Mehrversorgung mit Blut wirkt diesem entgegen. (In der Lunge findet das genaue Gegenteil statt, eine geringe Sauerstoffsättigung hat eine Gefäßverengung zur Folge.)

c) Außerdem löst das Vorkommen gewisser Stoffe im Blut lokal eine Gefäßweitung aus. Dieser lokal-metabolische Effekt wird besonders durch eine erhöhte Konzentration von Kohlendioxid, ADP, AMP, Adenosin, Wasserstoff- und Kalium-Ionen hervorgerufen. Die daraus resultierende bessere Durchblutung begünstigt den Abtransport dieser Stoffe. Besonders wichtig ist diese Art der Steuerung im Myokard und im Gehirn.

Hormonelle Steuerung

Hormone wirken entweder direkt auf die Muskulatur der Gefäßwand (z. B. Adrenalin), oder sie bewirken vor Ort die Freisetzung von gefäßaktiven Substanzen (z. B. Stickstoffmonoxid, Endothelin), die dann lokal wirksam werden:

a) Stickstoffmonoxid (NO) hat eine gefäßerweiternde Wirkung. Es wird aus dem Endothel (der Gefäßwand auskleidenden Zellschicht) ausgeschüttet, wenn diese durch Acetylcholin, ATP, Endothelin-1 oder Histamin stimuliert wird

b) Endothelin-1 stimuliert zum einen die Freisetzung von NO, zum anderen wirkt es lokal direkt auf die Gefäßmuskulatur, dann aber gefäßverengend. Es wird vom Endothel nach Stimulation durch Angiotensin II und Vasopressin freigesetzt

c) Adrenalin wirkt je nach vor Ort überwiegenen Rezeptoren gefäßverengend (α 1-Adrenorezeptoren, zum Beispiel in Haut und Niere) oder gefäßweitend (β 2-Adrenorezeptoren, zum Beispiel in Skelettmuskel, Myokard und Leber). β -Rezeptoren sind empfindlicher als α -Rezeptoren, werden aber beide Rezeptoren gleichzeitig ausgelöst so dominieren die α -Rezeptoren

d) Eikosanoide haben unterschiedliche Effekte auf die Gefäße. Während Prostaglandin F₂ und Thromboxane A₂ und B₂ gefäßverengend wirken, haben Prostaglandin E und Prostacyclin gefäßerweiternde Wirkungen

e) Bradykinin, Kallidin und Histamin wirken gefäßerweiternd. Außerdem setzt die Stimulation des Endothels durch Bradykinin den EDHF (endothel-derived hyperpolarizing factor, hyperpolarisierender Faktor des Endothels) frei, der Gefäßmuskelzellen hyperpolarisiert

f) Serotonin bewirkt eine Gefäßverengung, und erhöht außerdem die Durchlässigkeit der Kapillaren

g) wirkt innerhalb des Renin-Angiotensin-Aldosteron-Systems gefäßverengend, ebenso Vasopressin. Diese Gefäßverengung findet im Rahmen der Regulation des Wasserhaushalts durch die Niere statt

Neuronale Steuerung

Die neuronale Steuerung findet hauptsächlich durch den Sympathikus statt, und setzt an den kleinen Arterien und den Arteriolen oder den Venen und deren Rückstrom zum Herzen an. Der postganglionäre Neurotransmitter ist das Noradrenalin, das an die α_1 -Rezeptoren anbindet, und deswegen gefäßverengend wirkt. Eine Gefäßweitung wird durch Nachlassen des Sympathikotonus erreicht. Ausgenommen hiervon ist die vom Parasympathikus innervierte Weitung der Gefäße der Speicheldrüsen und der Geschlechtsorgane (Erektion). Als Transmitter wirken NO und Bradykinin. Die Steuerung durch Sympathikus und Parasympathikus findet auf zwei Arten statt: zum einen über eine Art Bedarfsmeldung der Organe, zum anderen durch eine neuronale Mitinnervation, bei der das Gehirn neben der Aktivierung bestimmter Organe gleichzeitig deren Durchblutung steuert. Durch eine Verletzung von Nerven oder deren Fehlfunktion kann es zu einem spinalen oder neurogenen Schock kommen:

Zentrale Steuerung

Neben der Einflussnahme auf den Tonus der Gefäße findet auch noch eine zentrale Kreislaufsteuerung in der Medulla oblongata und der Pons statt. Dabei werden Informationen von Kreislaufsensoren ausgewertet, die den arteriellen Blutdruck, die Pulsfrequenz, den Füllungsdruck des Niederdrucksystems und den pH-Wert, Kohlendioxid- und Sauerstoff-Partialdruck des Blutes messen. Diese Drucksensoren befinden sich in der Wand der Aorta und der inneren Halsschlagader (Dehnungs- und Druckrezeptoren im Sinus caroticus) und im Niederdrucksystem in den Hohlvenen und den Vorhöfen (Dehnungssensoren). Diese Regulation wirkt aber nur akuten Blutdruckänderungen entgegen, wie zum Beispiel beim Aufstehen aus dem Liegen. Ist der Blutdruck jedoch immer auf einem erhöhten (oder erniedrigten) Niveau, so erfolgt eine Anpassung und der „neue“ Blutdruck wird gleich gehalten. Die Gaspartialdrücke und der pH-Wert werden von spezialisierten Sensoren (sog. Chemorezeptoren) in Paraganglien erfasst, die ebenfalls an der Halsschlagader (Glomus caroticum), der Aorta (Paraganglion supracardiale, Syn. Glomus aorticum) und der Lungenarterie liegen. Die Informationen dieser Sensoren werden an das Kreislaufzentrum im Nachhirn (Medulla oblongata) übermittelt.

Lymphsystem

Das Lymphsystem dient dazu, Wasser und darin gelöste Stoffe aus dem Körpergewebe wieder dem Blutkreislauf zuzuführen. In Umgebung der Kapillaren wird das Gewebe auf Grund des osmotischen Drucks von Flüssigkeit aus dem Blut durchtränkt. Am Ende kehrt diese Flüssigkeit wieder in die Blutgefäße zurück. Da dieser Prozess aber nicht hundertprozentig effektiv ist, sammeln Lymphbahnen diese Flüssigkeit, jetzt Lymphe genannt, und führen sie den Venen in der Nähe des Herzens wieder zu. Auf dem Weg dorthin fließt die Lymphe durch Lymphknoten, in denen sie gefiltert wird

6. Cholesterin

Das Cholesterin (auch Cholesterol) ist ein Naturstoff, ein zur Gruppe der Sterine (Sterole) gehörendes Steroid, das den Lipiden ("Fett") zugerechnet wird. Der Name leitet sich vom griechischen „chole“ (Galle) und „stereos“ (fest) ab, da es in Gallensteinen bereits im 18. Jahrhundert gefunden wurde.

Funktion

Cholesterin ist ein lebensnotwendiges Lipid. Es ist Hauptbestandteil der Plasmamembran, wo es deren Stabilität erhöht und, zusammen mit Proteinen in der Zellmembran, an der Ein- und Ausschleusung von Signalstoffen beteiligt ist. Der Cholesteringehalt des menschlichen Körpers beträgt etwa 140 g. **Da es nicht wasserlöslich ist, befinden sich über 95% des Cholesterins intrazellulär.** *Anm. MB: Im Blut werden somit nur 5% der Gesamtcholesterinmenge als Messwert dargestellt. Was sagt eine Erhöhung aus?* Im Blut wird es an Lipoproteine gebunden transportiert, die mit zunehmender Dichte als Chylomikronen, VLDL, LDL und HDL bezeichnet werden. Cholesterin ist außerdem Vorstufe der Gallensäuren und Steroidhormone wie z. B. Aldosteron, Cortison, Testosteron und Östradiol sowie Vitamin D. Neue Forschungen zeigen zudem, dass der Körper Cholesterin zur Biosynthese herzwirksamer Glykoside nutzt. Welche Bedeutung diese endogen synthetisierten Glykoside haben, ist noch weitgehend unbekannt.

Das Cholesterinmolekül ist evolutionsgeschichtlich sehr alt. Die Biosynthese des Moleküls funktioniert allerdings erst, seit Sauerstoff in der Atmosphäre vorhanden ist. In Bakterien und den Membranen von Mitochondrien findet sich daher kaum Cholesterin. Pflanzen und Pilze enthalten ebenfalls kein Cholesterin, dafür aber andere, strukturell ähnliche Sterole.

Synthese und Aufbau

Cholesterin ist ein für Menschen und Tiere lebenswichtiges Zoosterin. Beim Menschen wird Cholesterin zum Großteil (90 %) im Körper selbst hergestellt (synthetisiert), beim Erwachsenen in einer Menge von 1 bis 2 g pro Tag, und nur zu einem kleinen Teil mit der Nahrung aufgenommen. Die Cholesterinresorption liegt im Durchschnitt bei 0,1 bis 0,3 g pro Tag und kann höchstens auf 0,5 g pro Tag gesteigert werden. Das entspricht 30 bis 60 % des in der Nahrung enthaltenen Cholesterins. Beim Menschen sind die Leber und die Darmschleimhaut die Hauptorte der Cholesterinsynthese. Die Biosynthese des Moleküls erfolgt über viele Zwischenstufen aus der aktivierten Essigsäure, dem Acetyl-Koenzym A. Außer in Leber und Darm kann die Cholesterinbiosynthese mit wenigen Ausnahmen in fast allen Zellen des Körpers ablaufen. Das Gehirn synthetisiert das von ihm benötigte Cholesterin vollständig selbst, da dieses die Blut-Hirn-Schranke nicht passieren kann. Organe mit hohem Cholesterinbedarf sind das Gehirn sowie die Steroidhormone produzierenden Organe (Nebennieren, Eierstöcke und Hoden). Etwa ein Viertel des gesamten Cholesterins ist im Gehirn enthalten, wo es vor allem in den lipidreichen Myelinscheiden der Axone vorkommt.

Das Gleichgewicht zwischen benötigtem, selbst produziertem und über die Nahrung aufgenommenem Cholesterin wird über vielfältige Mechanismen

aufrecht erhalten. Als wichtig kann dabei die Hemmung der HMG-CoA-Reduktase, des wichtigsten Enzyms der Cholesterinbiosynthese, durch Cholesterin gelten (noch stärker wird die HMG-CoA-Reduktase durch Lanosterol, eine Vorstufe von Cholesterin, gehemmt). Damit hemmen Produkte dieses Stoffwechselwegs (Cholesterinsynthese) „ihr“ Enzym; dies ist ein typisches Beispiel negativer Rückkopplung. Außerdem verkürzt sich die Halbwertszeit der HMG-CoA-Reduktase bei erhöhtem Lanosterolspiegel stark, da sie dann vermehrt an Insig bindet, was schließlich zu ihrem Abbau im Proteasom führt. Es gibt noch viele andere, weniger direkte Regulationsmechanismen, die auf transkriptioneller Ebene ablaufen. Hier sind die Proteine SCAP, Insig-1 und -2 wichtig, die in Anwesenheit von Cholesterin, für das sie eine Bindungsstelle besitzen, über die proteolytische Aktivierung von SREBPs die Aktivität einer größeren Anzahl Gene regulieren. Auch Insulin spielt hier eine Rolle, da es u. a. die Transkription von SREBP1c steigert. Die HMG-CoA-Reduktase, das Schlüsselenzym der Cholesterinbiosynthese, kann spezifisch und effektiv durch verschiedene Substanzen gehemmt werden (beispielsweise Statine, die als HMG-CoA-Reduktase-Hemmer eine bestimmte Klasse von Medikamenten darstellen). Über den LDL-Rezeptor wird die Aufnahme in die Zelle aktiviert.

Die Höhe des Cholesterinspiegels hängt vor allem von der körpereigenen Produktion ab und erst in zweiter Linie von der Zufuhr über die Nahrung. Daneben gibt es eine Vielzahl genetisch bedingter Hypercholesterinämien. Auch als Folge anderer Erkrankungen kann der Cholesterinspiegel erhöht sein (beispielsweise durch Hypothyreose, Niereninsuffizienz oder metabolisches Syndrom).

Cholesterin wird über die Leber ausgeschieden, indem es in Form von Gallensäuren über die Gallenwege in den Darm sezerniert wird. Diese Gallensäuren sind gleichzeitig für die Resorption wasserunlöslicher Nahrungsbestandteile, also auch Cholesterin, erforderlich. Cholesterin wird durch Gallensäuren emulgiert und im Ileum resorbiert. Dabei werden etwa 90 % der Gallensäuren wieder aufgenommen. Durch Einnahme von Medikamenten wie Cholestyramin, die Gallensäuren binden und die Wiederaufnahme damit erschweren, kann die Cholesterinausscheidung gesteigert werden. Allerdings wird die Senkung des Cholesterinspiegels durch Zunahme der LDL-Rezeptordichte auf Leberzellen und die damit gesteigerte Cholesterinaufnahme aus dem Blut in die Leber teilweise durch eine vermehrte Neusynthese ausgeglichen.

Cholesterintransport

Da Cholesterin in Wasser unlöslich ist, erfolgt der Transport im Blutplasma zusammen mit anderen lipophilen Substanzen wie Phospholipiden, Triglyceriden oder Fettsäuren, mit Hilfe von Transportvehikeln, den Lipoproteinen.

Das über die Nahrung zugeführte Cholesterin sowie Triglyceride werden nach der Resorption aus dem Darm von den Chylomikronen aufgenommen und von dort in die Gewebe transportiert. Lipoproteine verschiedener Dichte (VLDL, IDL und LDL) transportieren selbst hergestelltes und aufgenommenes Cholesterin

von der Leber zu den Geweben. HDL nehmen Cholesterin aus den Geweben auf und bringen es zur Leber zurück. Das Cholesterin in den Lipoproteinen ist überwiegend mit Fettsäuren verestert.

Für den Abbau des LDL-Cholesterins im Blut gibt es im menschlichen Körper zwei voneinander unabhängige Wege, den LDL-Rezeptorweg und den so genannten Scavenger-Pathway. Der größte Teil, ca. 65 % des LDL-Cholesterins im Plasma, wird über LDL-Rezeptoren verstoffwechselt. LDL-Rezeptoren findet man in allen Zelltypen der Arterien und in Hepatozyten (Leberzellen). Neben dem LDL-Rezeptorweg werden circa 15 % des LDL-Cholesterins im Plasma über den so genannten Scavenger Pathway in den Blutgefäßen abgebaut. Als Scavenger-Zellen werden die Makrophagen bezeichnet. Sie besitzen so genannte Scavenger-Rezeptoren, über die chemisch modifizierte (oxidierte) LDL ungehemmt und konzentrationsunabhängig aufgenommen und gespeichert werden können.

Zusammenfassend lassen sich drei verschiedene Wege beschreiben, die das Cholesterin (unabhängig ob über die Nahrung oder selbst synthetisiert) im Organismus nimmt.

1. Ausscheidung in die Galle und damit in einen enterohepatischen Kreislauf (Leber → Galle → Darm → Lymphe → Blut → Leber)
2. Umwandlung zu Gallensäuren, die an den Darm abgegeben werden
3. Abgabe ins Blut in Form von Lipoproteinen (VLDL → LDL → HDL) zur Synthese von Steroiden und Bildung von Membranen in anderen Organen.

Blutspiegel

Der durchschnittliche Gesamtcholesterinspiegel wie auch die LDL- und HDL-Spiegel der gesunden Normalbevölkerung sind von Land zu Land verschieden und darüber hinaus alters- und geschlechtsabhängig. Eine Korrelation zwischen den Blutcholesterin-Werten und dem Body-Mass-Index besteht nicht.

Gesamtcholesterinspiegel

Generell nimmt der Gesamtcholesterinspiegel mit dem Alter deutlich zu. In der Regel ist er bei jungen Frauen etwas niedriger als bei jungen Männern. Mit zunehmendem Alter gleicht sich dieser Unterschied jedoch aus, und ältere Frauen haben schließlich im Mittel einen höheren Cholesterinspiegel als ältere Männer. Einen Sonderfall stellt die Schwangerschaft dar, in der der Gesamtcholesterinspiegel im Normalfall deutlich erhöht ist.

Der durchschnittliche Gesamtcholesterinspiegel der Altersgruppe zwischen 35 und 65 Jahren in Deutschland liegt bei etwa 236 mg/dl (entspricht 6,1 mmol/l), die Standardabweichung bei $\pm 46,5$ mg/dl. Das bedeutet näherungsweise, dass etwa zwei Drittel der deutschen Bevölkerung in dieser Altersgruppe einen Gesamtcholesterinwert im Bereich zwischen 190 mg/dl und 280 mg/dl aufweisen, und jeweils ein Sechstel der Deutschen in dieser Altersgruppe Werte oberhalb beziehungsweise unterhalb dieses Bereichs.

LDL – Cholesterinspiegel

Der LDL-Cholesterinspiegel unterliegt einer ähnlichen alters- und geschlechtsabhängigen Verteilung. Auch hier ist der altersabhängige Anstieg bei den Frauen deutlich stärker ausgeprägt als bei den Männern. Der Mittelwert der Altersgruppe zwischen 35 und 65 Jahren liegt dabei bei den deutschen Frauen bei 164 mg/dl (Standardabweichung ± 44 mg/dl), bei den Männern bei 168 mg/dl (± 43 mg/dl).

HDL – Cholesterinspiegel

Der durchschnittliche HDL-Spiegel unterscheidet sich stärker zwischen den beiden Geschlechtern, wobei Frauen im mittleren Alter einen höheren HDL-Spiegel aufweisen als Männer. Die Altersabhängigkeit zeigt sich hier bei beiden Geschlechtern in einem Absinken ab einem Alter von etwa 55 Jahren. Der durchschnittliche HDL-Spiegel bei den deutschen Frauen in der Altersgruppe zwischen 35 und 65 Jahren liegt bei 45 mg/dl (± 12 mg/dl), bei den Männern bei 37 mg/dl (± 11 mg/dl).

Quotienten

Auf Grundlage der vorgenannten Parameter werden gelegentlich Quotienten aus diesen Werten bestimmt. Der Mittelwert des Quotienten aus LDL- und HDL-Spiegel liegt für die deutschen Frauen zwischen 35 und 65 Jahren bei 3,9 ($\pm 1,6$), bei den Männern bei 4,9 ($\pm 1,9$). Die entsprechenden Durchschnittswerte für den Quotienten aus dem Gesamtcholesterin- und dem HDL-Spiegel liegen für die Frauen bei 5,7 ($\pm 2,1$), für die Männer bei 7,0 ($\pm 2,3$).

Messung und Labor Referenzwerte

Die Bestimmung der Konzentration von Cholesterin im Blut in medizinischen Routinelabors gehört heute zu den Bestimmungsmethoden, die in Deutschland ringversuchspflichtig sind. Ein Ringversuch ist die externe Qualitätskontrolle von Laborparametern, die von der Bundesärztekammer kontrolliert und zertifiziert wird. An die so genannten „Richtlinien der Bundesärztekammer“ (RiLiBÄK) muss sich jedes Labor in Deutschland halten. Der Referenzbereich (oftmals irreführend als „Normalwert“ bezeichnet) ist vom Messgerät und der Methode abhängig. Für die Bestimmung von Cholesterin werden in Deutschland in den meisten Labors Geräte von Roche Diagnostics (früher Boehringer Mannheim) verwendet. Auf dem Modell Hitachi wird als Referenzwert für das Gesamtcholesterin 110-230 mg/dl angegeben. Beim neueren Gerät Modular wird als Referenzbereich < 240 mg/dl angegeben. **Die Referenzbereiche wurden in den letzten Jahren mehrfach nach oben korrigiert. Um eine Verfälschung der Ergebnisse auszuschließen, wird die Bestimmung häufig erst 12 bis 16 Stunden nach der letzten Mahlzeit durchgeführt.**

Lange Zeit wurde im Labor nur das Gesamtcholesterin bestimmt, da die direkte Messung der verschiedenen Lipoproteine nicht möglich bzw. sehr aufwändig war. Das hat sich mittlerweile geändert. Das LDL-Cholesterin wird nicht direkt bestimmt, sondern aus den direkt gemessenen Werten für Gesamtcholesterin, Triglyceride und HDL nach Friedewald abgeschätzt als Gesamtcholesterin minus HDL-Cholesterin minus ein Fünftel des Triglyceridwertes (alle Angaben in mg/dl). Diese Methode kann nicht angewendet werden für Triglyceridwerte über 400 mg/dl oder bei Vorliegen einer Chylomikronämie. Verschiedene

Korrekturfaktoren sind vorgeschlagen worden, um die Präzision dieser Abschätzung zu erhöhen, jedoch sind sie bisher nicht in die klinische Praxis eingegangen. Der Referenzbereich für den LDL-Cholesterinspiegel wird für Frauen und Männer zwischen 70 und 180 mg/dl angegeben.

Erkrankungen

Zu den bekannten Erkrankungen im Zusammenhang mit Cholesterin gehören die familiäre Hypercholesterinämie und Gallensteine (Gallenkonkrement).

Zweifel an der Kausalkette Ernährung - Cholesterin - KHK-Erkrankung:

1. Auf Basis der umfangreichen Studienlage zu dieser Fragestellung werden Zweifel daran geäußert, dass beim Menschen überhaupt ein relevanter Zusammenhang zwischen Ernährung und Cholesterinspiegel besteht (vgl. Einfluss der Ernährung auf den Cholesterinspiegel). Die Empfehlungen zur Ernährungsumstellung seien daher von vorneherein zum Scheitern verurteilt und führten regelmäßig dazu, dass sich gesunde Menschen anschließend einer meist lebenslangen medikamentösen Therapie unterziehen

2. Ein hoher (LDL-)Cholesterinspiegel stellt nur bei Männern bis 45 Jahren einen Risikofaktor für KHK-Erkrankungen dar. Aus dieser Korrelation lasse sich noch nicht einmal bei dieser Bevölkerungsgruppe auf eine Kausalität schließen. Denkbar sei auch eine bislang unbekannt gemeinsame Ursache für den Anstieg des Cholesterinspiegels und des KHK-Risikos

3. Wäre ein hoher Serum-(LDL-)Cholesterinspiegel ein Auslöser für Arteriosklerose, so müsste sich in pathologischen Untersuchungen an verstorbenen Patienten eine deutliche Korrelation zwischen dem (LDL-)Cholesterinspiegel und dem Grad der arteriosklerotischen Veränderungen der Gefäße zeigen. Dieser Zusammenhang müsste sich sogar weitaus deutlicher zeigen, als eine etwaige Korrelation mit der KHK-Rate, da nur ein Teil der Herzinfarkte durch Arteriosklerose ausgelöst wird. Eine 1998 veröffentlichte Analyse aller vorliegenden Autopsiestudien zu dieser Fragestellung kommt jedoch auch unter Berücksichtigung der methodischen Schwächen der Untersuchungen zur einzig möglichen Schlussfolgerung, dass es keine signifikante Beziehung zwischen Serum-Cholesterin und Atherogenese gibt

4. Ein hoher (LDL-)Cholesterinspiegel ist statistisch nicht mit einer Verkürzung der Lebenserwartung verknüpft

5. Die größte jemals durchgeführte Ernährungs-Interventionsstudie, die Anfang 2006 veröffentlicht wurde, zeigte keinerlei Vorteile einer fettarmen Ernährung. Weder das Risiko für Herz-Kreislauferkrankungen, noch das Risiko für Schlaganfall, noch das Risiko für verschiedene Krebserkrankungen konnte durch die Ernährungsumstellung (weniger Fett, mehr Obst und Gemüse) reduziert werden. An der Studie nahmen fast 50.000 Frauen im Alter zwischen 50 und 79 Jahren teil, die über einen Zeitraum von etwa 8 Jahren beobachtet wurden. Der LDL-Cholesterinspiegel der Studienteilnehmer reduzierte sich durch die Ernährungsumstellung nur marginal um durchschnittlich 2.7mg/dl (0.07mmol/l).

Kritische Bewertung von Nutzen und Risiko einer medikamentösen Cholesterin-Senkung:

1. Die Ergebnisse von Studien zur medikamentösen Senkung des Cholesterinspiegels rechtfertigen nach Ansicht von Kritikern keineswegs den breiten Einsatz dieser Medikamente. In einer Vielzahl von Studien sei zwar ein Nachweis erbracht worden, dass sich mit diesen Medikamenten effektiv eine Absenkung des Cholesterinspiegels erzielen lasse. Die Erfolge im Hinblick auf einen echten Patientennutzen, insbesondere eine lebensverlängernde Wirkung, seien jedoch gering
2. Die Fokussierung auf die Höhe des Cholesterinspiegels und auf das KHK-Risiko führe dazu, dass solche Cholesterin-Senkungs-Studien von den Autoren selbst dann noch als Erfolg dargestellt würden, wenn es, wie in einzelnen Studien geschehen, in der Behandlungsgruppe zu einem erheblichen und statistisch signifikanten Anstieg von Krebserkrankungen und Todesfällen gekommen sei
3. Der Nutzen von Statinen bei der Reduktion des Herzinfarkttrisikos insbesondere von männlichen KHK-Hochrisikopatienten sei auch durch andere Wirkmechanismen erklärbar als durch die Absenkung des Cholesterinspiegels. Dafür spreche auch, dass der Ausgangs-Cholesterinspiegel für den Erfolg einer Statin-Behandlung keine Rolle spielt
4. Statine haben im Vergleich zu anderen Gruppen von Lipid-Senkern relativ seltene, aber u.U. schwerste Nebenwirkungen, teilweise mit tödlichen Folgen
5. Die medikamentöse Absenkung des Cholesterinspiegels im ersten Schwangerschaftsdrittel z.B. mit Statinen führt **mit hoher Wahrscheinlichkeit zu schwersten Fehlbildungen in der Ausbildung des zentralen Nervensystems und der Gliedmaßen des Kindes, vergleichbar mit Contergan**. Eine Verschreibung von Cholesterinsenkern in der Schwangerschaft ist deshalb kontraindiziert. Kritiker bemängeln, dass eine Verschreibung an junge Frauen bei Sicherstellung einer "zuverlässigen" Verhütung dennoch zulässig ist, was dazu geführt hat, dass zahlreiche entsprechende Fälle in der medizinischen Literatur dokumentiert sind
6. Der LDL-Cholesterinspiegel korreliert mit der Gedächtnisleistung und mit anderen kognitiven Funktionen. Eine Absenkung des LDL-Cholesterinspiegels führt zu einem signifikanten Rückgang von Gedächtnisleistung und Aufmerksamkeit. Als mögliche Erklärung für diesen in verschiedenen Studien beobachteten Effekt kommt die Tatsache in Frage, dass Cholesterin bekanntermaßen bei der Ausbildung von Synapsen im Gehirn eine wesentliche Rolle spielt. Die Ausbildung von Synapsen ist wiederum von wesentlicher Bedeutung beim Lernen und bei der Funktion des Gedächtnisses. Bekannt ist auch, dass sich der Cholesterinspiegel bei Gabe von Statinen nicht nur im Blut, sondern auch im Gehirn deutlich absenkt. In diesem Zusammenhang ist es bemerkenswert, dass in der medizinischen Literatur zahlreiche Fälle von totalem Gedächtnisverlust im direkten Zusammenhang mit der Einnahme von cholesterinsenkenden Präparaten dokumentiert sind.

7. **Energiestoffwechsel**

Mit Energiestoffwechsel bezeichnet man den Teil des Stoffwechsels von Lebewesen, der der Gewinnung von Energie für energieverbrauchende Prozesse dient. Er unterscheidet sich vom energieverbrauchenden Baustoffwechsel (Anabolismus), der dem Aufbau von Körperbestandteilen der Lebewesen dient.

Der Energiestoffwechsel besteht aus chemischen Stoffumsetzungen, die in der Summe exergon, also energieliefernd sind. Es werden also Stoffsysteme genutzt, die sich in einem thermodynamischen Ungleichgewicht befinden und bei ihrer Umsetzung in einen energieärmeren, stabileren Gleichgewichtszustand überführt werden.

Die Energiegewinnung durch einen Energiestoffwechsel bezeichnet man als Chemotrophie. Ein Gegensatz ist die Nutzung von Licht als Energiequelle (Phototrophie). Auch die meisten phototrophen Lebewesen können alternativ chemotroph Energie gewinnen, zum Beispiel bei Lichtmangel.

Speicherung und Transport der Energie

Chemotrophe Lebewesen nutzen die bei den exergonen Stoffumsetzungen frei werdende Energie. Sie speichern sie kurzzeitig, indem sie unter deren Verbrauch energiereiche Stoffe synthetisieren, aus denen bei Umkehrung der Synthese die Energie leicht wieder freigesetzt werden kann. Dazu eignen sich Nucleosid-Phosphate, da durch Abspaltung ihrer Phosphatreste Energie frei wird und durch Energieaufwand Phosphatreste wieder daran gebunden werden können (Näheres siehe unter Adenosintri-phosphat). Mit Nucleosid-Phosphaten kann auf diese Weise Energie gespeichert und auch transportiert werden. Die bei Lebewesen wichtigsten energiespeichernden Nucleosid-Phosphate sind die Tri- und Diphosphate von Adenosin und Guanosin (Kurzbezeichnungen ATP, ADP, GTP bzw. GDP).

Arten des Energiestoffwechsels

Man unterscheidet fermentativen und oxidativen Energiestoffwechsel

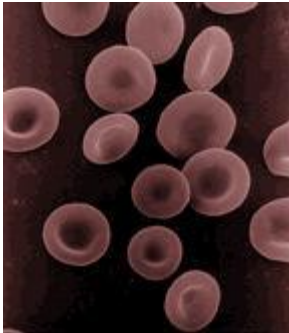
1. Ein fermentativer Energiestoffwechsel lässt in der Bruttoumsetzung keine Redoxreaktionen erkennen. Beispiele für fermentativen Energiestoffwechsel: Umsetzung von Milchzucker (Lactose) zu Milchsäure in Milchsäurebakterien

2. Bei oxidativem Energiestoffwechsel (oxidative Phosphorylierung) sind auch im Bruttoumsatz Redoxreaktionen am Verbrauch eines Oxidationsmittels und eines Reduktionsmittels zu erkennen. Beispiele für oxidativen Energiestoffwechsel

Umsetzung von Traubenzucker (Glucose) (=Reduktionsmittel) mit molekularem Sauerstoff (O₂) (=Oxidationsmittel) zu Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Wasser (H₂O) in Tieren, Menschen, vielen Bakterien, auch in Pflanzen

8. Erythrozyten

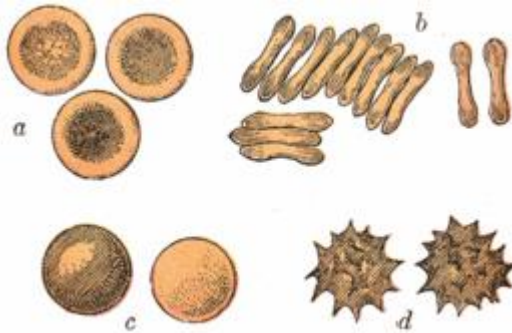
Die roten Blutkörperchen (Erythrozyten, Singular der Erythrozyt; aus dem Griechischen erythros für „rot“ und kytos für „hohl“ oder „Zelle“) sind die häufigsten Zellen im Blut von Wirbeltieren. Sie erscheinen unter dem Mikroskop als ungefähr gleich große, blasse, runde Scheiben, die in der Mitte von beiden Seiten leicht eingedellt sind (bikonkav). Sie dienen dem Transport von Sauerstoff von der Lunge oder den Kiemen zu den diversen Körpergeweben.



Aufbau

Erythrozyten bestehen zu 90 % der Trockenmasse aus dem Sauerstoff bindenden Protein Hämoglobin. Der Häm-Anteil dieses Proteins verleiht den Erythrozyten und somit auch dem Blut die rote Farbe. Der Durchmesser eines roten Blutkörperchens beträgt beim Menschen etwa 7,5 μm (Mikrometer), bei einer Dicke von 2 μm am Rand und 1 μm im Zentrum. In 1 mm^3 Blut sind etwa 5 Millionen Erythrozyten vorhanden.

Die Erythrozyten von Säugetieren werfen im Verlauf ihrer Reifung, bevor sie in den Blutkreislauf eintreten, den Zellkern und ihre Organellen. Diese sind in den aktiven Vorstufen, den Retikulozyten, jedoch noch vorhanden. Auch junge Erythrozyten können noch Reste von Kernmaterial, Chromatin, enthalten, das im Verlauf des Alterungsprozesses verschwindet. Da die Erythrozyten somit auch keine Mitochondrien mehr besitzen, wird Energie über die anaerobe Glycolyse hergestellt. Die Glucose-Aufnahme der Erythrozyten wird dabei nicht über Insulin reguliert, da der entsprechende Rezeptor fehlt. Da mit dem Zellkern auch die DNA fehlt, finden sich in den Erythrozyten ein „Vorrat“ an mRNA. Durch den Abbau der Organellen wird zusätzlicher Platz für Hämoglobin geschaffen. Das Fehlen von Zellkern und Organellen bei den reifen roten Blutkörperchen der Säugetiere (Mammalia) ist einzigartig im Tierreich. Bei anderen Wirbeltieren sind diese noch vorhanden. Die bikonkave Form ermöglicht es dem Erythrozyten, Sauerstoff schneller aufzunehmen, da die Diffusionsstrecke von der Zellmembran in das Innere der Zelle verkürzt ist. Sehr wichtig für die Funktion der Erythrozyten ist auch ihre starke Verformbarkeit, die es ihnen erlaubt, auch kleinste Kapillaren zu durchqueren. Durch den engen Kontakt zwischen Erythrozyten und dem Endothel der Gefäße ist der Gasaustausch in den Kapillaren besonders effektiv.



Normale (a) und deformierte Erythrozyten (b-d)

Unter speziellen Bedingungen können Erythrozyten *in vitro* auch andere Formen annehmen: die Becherform und die Stechapfelform. Becherförmige Erythrozyten (c) werden als Stomatozyten und stechapfelförmige (d) als Echinozyten bezeichnet. Eine Schistozyte ist ein im Abbau befindlicher Erythrozyt bzw. ein Fragment eines Erythrozyten. Bei sehr niedriger Fließgeschwindigkeit des Blutes können einzelne Erythrozyten aneinander haften und Ketten bilden, man spricht dann von einer Geldrollenbildung oder Pseudoagglutination (b). Die Blutgruppen der Menschen entstehen durch Variationen der Glykoproteine auf der Oberfläche von Erythrozyten.

Funktion und Lebenszyklus

Die Aufgabe der roten Blutkörperchen ist der Sauerstofftransport im Blutgefäßsystem. Sie nehmen in den Lungenkapillaren oder Kiemen den Sauerstoff auf und transportieren ihn über den arteriellen Kreislauf bis in die arteriellen Kapillaren der Gewebe und Organe, von wo der Sauerstoff an die Zellen wieder abgegeben wird. Für die Bindung und den Transport des Sauerstoffs ist das Hämoglobin im Inneren der Erythrozyten verantwortlich. Hämoglobin transportiert teilweise auch das Kohlendioxid zurück aus den Geweben. Der Prozess, bei welchem die Erythrozyten entstehen, wird Erythropoese genannt. Im Embryo ist die Leber die Hauptproduktionsstätte der Erythrozyten. Später werden diese kontinuierlich im roten Knochenmark von größeren Knochen produziert. Sie entstehen hier aus teilungsfähigen Stammzellen, die zunächst kernhaltige Erythroblasten produzieren, aus denen dann zunächst die Retikulozyten und dann, unter Ausstoßung des Zellkerns, die eigentlichen Erythrozyten hervorgehen. Die im Knochenmark stattfindende Reifung der Erythrozyten wird von Makrophagen, einer Gruppe der weißen Blutkörperchen (Leukozyten), unterstützt. Hierbei ordnen sich die unreifen roten Blutkörperchen in sogenannten "Inseln" (engl.: islands) um einen einzelnen Makrophagen an, der die Zellen versorgt und außerdem die ausgeschiedenen Zellorgane aufnimmt und verdaut. Dieser schon in den frühen 1940ern beobachtete Vorgang benötigt auf noch nicht näher bekannte Weise das Retinoblastom-(Rb)-Protein. Die Entwicklung eines Erythrozyten dauert ca. 7 Tage. Ihre durchschnittliche Lebensdauer beträgt ca. 120 Tage bzw. 4 Monate. Die alternden Zellen schwellen mit der Zeit an und werden dann von Phagozyten in Leber und Milz abgebaut. In einem gesunden, erwachsenen Menschen befinden sich etwa 25 Billionen rote Blutkörperchen, mit einer Gesamtoberfläche von 4000 m². Der Körper erneuert davon täglich ca. ein Prozent (200 Milliarden), was 2.000.000 in jeder Sekunde entspricht. Die Milz dient auch als Reservoir für rote Blutkörperchen, wobei dieser Effekt beim

Menschen limitiert ist. In anderen Säugetieren, wie beim Hund oder Pferd, enthält die Milz eine große Zahl von roten Blutkörperchen, die bei Stress in den Blutkreislauf ausgeschieden werden und die Sauerstofftransportkapazität verbessern.

Die Menge an Hämoglobin im Blut beträgt bei gesunden Menschen etwa 14-18 g/100 ml (bzw. 8,7-11,2 mmol/l) bei Männern und 12-16 g/100 ml (bzw. 7,4- 9,9 mmol/l) bei Frauen.

Die Produktion von roten Blutkörperchen wird durch das Hormon Erythropoetin (EPO) stimuliert bzw. gesteuert, welches ständig von den Nieren neu gebildet wird, weil der Körper dieses Hormon nicht speichern kann. Die Synthese im Körper erfolgt durch das Messen der Oberflächenspannung der Erythrozyten und dem damit verbundenen Sauerstoffgehalt beim Durchfließen der Nieren. Dadurch erfolgt zum Beispiel eine Anpassung an den geringeren Sauerstoffgehalt in der Luft bei Aufenthalt über 1500m über NN (Höhentraining von Leistungssportlern usw.). EPO kann bzw. wird auch als Dopingmittel in synthetischer Form eingesetzt.

Die Verlagerung des sauerstoffbindenden Proteins, in diesem Fall Hämoglobin, in Zellen hinein, statt dieses direkt in der Körperflüssigkeit zu lösen, war ein wichtiger Schritt in der Evolution der Wirbeltiere. Es ermöglicht dünnflüssigeres Blut sowie längere Transportstrecken des Sauerstoffes. Nur so ist auch die Versorgung eines größeren Organismus (bis hin zum Blauwal) mit Sauerstoff gewährleistet. Andere sauerstoffbindende Proteine aus anderen Tieren wie Hämocyanin, Hämerythrin oder Erythrocrucin können diese Eigenschaften nur annähernd über ihre Molekülgröße kompensieren.

Krankheiten

Bei einer Anämie oder Blutarmut ist in der Regel die Anzahl der roten Blutkörperchen vermindert. Es gibt viele Ursachen für eine Anämie, wobei Eisenmangel der häufigste Grund in der westlichen Welt sein dürften. Durch Eisenmangel wird die Häm-Synthese gehemmt. Als Folge sind die roten Blutkörperchen hypochrom (vor allem im Zentrum schwächer rot gefärbt) und mikrozytär (kleiner als normal). Bei einer Gruppe von Stoffwechselkrankheiten, den Porphyrien, fallen Enzyme der Hämgruppen -Synthese teilweise aus und drosseln dadurch die Hämoglobinmenge in den Erythrozyten. Vorhandenes Eisen kann nicht vollständig in die Häm-Vorläufersubstanzen (Porphyrine) eingebaut werden, die im Gewebe akkumulieren und verschiedene Symptome verursachen (Lichtempfindlichkeit der Haut, starke Bauchschmerzen u.a.). Bei einer Hämolyse (verstärkter Abbau von roten Blutkörperchen), tritt eine Gelbsucht auf, verursacht durch das Hämoglobin-Abbauprodukt Bilirubin.

Mutationen in den Globinketten sind mit verschiedenen Hämoglobinopathien verbunden, wie die Sichelzellenanämie und Thalassämie. Bei der Sichelzellenanämie handelt es sich um eine fast ausschließlich in von Malaria betroffenen Gebieten vorkommende Krankheit. Bei ihr verformen sich die roten Blutkörperchen im Deoxy-, das heißt sauerstoffarmen Zustand sichelförmig. In dieser Form können sie die kleinen Kapillaren nur mit Schwierigkeiten passieren und es kommt vermehrt zur Zerstörung der Erythrozyten, der sogenannten

Hämolyse. Homozygote Träger dieser Erbanlagen haben eine deutlich verkürzte Lebenserwartung, die heterozygoten Träger sind jedoch vor einer Malaria-Erkrankung geschützt, da der Erreger (*Plasmodium falciparum*) sich in derart deformierten Erythrozyten nicht vermehren kann.

Die Sphärozytose ist ein genetischer Defekt, bei dem kugelförmige Erythrozyten, so genannte Sphärozyten, durch ein gestörtes Cytoskelett auftreten.

Beim Favismus führt der genetisch bedingte Mangel an einem Enzym (Glukose-6-Phosphat-Dehydrogenase) nach Einnahme bestimmter Medikamente (Acetylsalicylsäure) oder Nahrungsmittel (Saubohnen) zum Platzen der Erythrozyten.

Bei der Polyglobulie - zum Beispiel der Polycythaemia vera, der Polycythaemia rubra hypertonica und der Polyglobulie des Neugeborenen - treten rote Blutkörperchen vermehrt auf. Durch die erhöhte Anzahl der Erythrozyten wird das Blut dickflüssiger. Es besteht die Gefahr einer Thrombose und in der Folge einer Embolie.

9. **Freie Radikale**

Sauerstoff verbindet sich im Körper mit Wasserstoffatomen zu Wasser. Dies geschieht, da jedes Atom die Edelgaskonfiguration anstrebt. Eine solche Konfiguration ist für Sauerstoff mit acht Elektronen und für Wasserstoff mit zwei Elektronen auf der äußeren Elektronenschale gegeben. Da Sauerstoff selbst dort nur sechs und Wasserstoff ein Elektron besitzt, gehen beide eine Verbindung miteinander ein: im entstehenden Wasser ist für alle drei Atome die Edelgaskonfiguration erreicht. Dieser "Verbrennungsvorgang" führt dem Körper Energie zu. Ein Großteil des entstandenen Wassers wird später über die Harnwege ausgeschieden.

Trotz ausgiebiger Schutzmechanismen, z.B. in der Atmungskette, ist dieser Prozess in etwa zwei bis 10 Prozent der Fälle fehlerhaft, dann nämlich, wenn sich nur ein Wasserstoffatom mit einem Sauerstoffatom verbindet. Weil das Sauerstoffatom dann mit sieben Elektronen auf der äußeren Schale der Edelgaskonfiguration bereits nahe ist, strebt es als "freies Radikal" danach, sich mit dem nächstbesten Atom zu verbinden.

Freie Radikale werden schon seit Mitte des letzten Jahrhunderts als Schlüsselfaktoren des Alterungsprozesses angesehen, da sie den Körper einem "oxidativen Stress" aussetzen. Unter diesen Verbindungen werden das Superoxid-anion Radikal und das Hydroxidradikal als Hauptverantwortliche der Schädigungen angesehen. Beide initiieren im Körper eine Kettenreaktion, in der sie sich das fehlende Elektron dadurch aneignen, dass sie benachbarte Moleküle wie Lipide, Proteine oder DNA attackieren und verändern.

Freie Radikale entstehen in den Mitochondrien, den "Kraftwerken" der Zelle, wo in der Atmungskette ständig Nährstoffe mit Sauerstoff verbrannt werden. Zwar verfügt der Körper über Mechanismen, um diese aggressiven Verbindungen abzufangen oder entstandene Schäden zu reparieren, aber mit der Zeit werden diese Abwehrkräfte schwächer, und die Zahl der Schadstellen nimmt zu. Mitochondrien sind schon deshalb so gefährdet, weil sie zwar über eigenes Erbgut, aber nicht über die dazugehörigen Reparatursysteme verfügen, weshalb sie im Laufe des Lebens zunehmend zugrunde gehen.

Haben freie Radikale erst einmal die DNA verändert, steigen altersbedingte Krankheiten wie Diabetes, Krebs, Arthritis, Alzheimer und Herzkrankheiten. Zur Abwehr setzt der Körper Schutzenzyme (siehe unten) und Antioxidantien [Glutathion, Vitamin C, Vitamin E und Beta-Carotin] ein, die den oxidativen Abbau verhindern. Diese Moleküle neutralisieren die freien Radikale durch Übertragung eines Elektrons.

Biologische Alterungsprozesse

Freie Radikale werden somit für das Altern verantwortlich gemacht. Gestützt wird diese "Radikal-Theorie" dadurch, dass langlebige Organismen einen deutlich niedrigeren Energieverbrauch haben als kurzlebige. Am interessantesten sind Vögel. Sie haben vierfach höhere Stoffwechselumsätze als Menschen d.h. sie verbrauchen mehr Energie bei wesentlich kürzerer Lebenserwartung. Meeresschildkröten, die wohl dank ihres geringen

Stoffwechselfunctionals hunderte von Jahren alt werden können, scheinen die Regel zu bestätigen. Mäuse und Kühe verbrennen während ihres Lebens nahezu gleichviel Energie. Die Maus wird damit allerdings drei Jahre, die Kuh immerhin 30 Jahre alt. Mit anderen Worten: beide Tiere verbrennen Sauerstoff auf völlig unterschiedlichem Niveau.

Im Kampf zwischen freien Radikalen und Antioxidantien können wir erhebliche Schäden erleiden. Am Anfang sind sie noch gering und überschaubar, und der Körper kann sie dauerhaft reparieren. Doch irgendwann kann er das Tempo nicht mehr mithalten. In den letzten Lebensjahren setzt dann ein Schneeballeffekt ein, eine regelrechten Flut von oxidativem Stress, in der sich die freie Radikale nahezu ungehindert ausbreiten. Schließlich kann die Reparaturtätigkeit dem nicht mehr standhalten. Dieser Schneeballeffekt bewirkt, dass Menschen in der Blüte ihrer Jahre häufig keine sichtbaren Anzeichen von Alterung zeigen.

Rolle bei der Entstehung von Krankheiten

In jüngerer Zeit wird der Einfluss z.B. reaktiver Sauerstoffspezies (engl. ROS) auf die Entstehung von oxidativem Stress insbesondere im Hinblick auf neurodegenerative Erkrankungen wie Morbus Parkinson, Morbus Alzheimer oder Chorea Huntington untersucht. In diesem Zusammenhang weisen viele Studien vor allem bei der Parkinson'schen Erkrankung, die durch den Untergang dopaminergischer nigrostriataler Neurone in den Basalganglien gekennzeichnet ist, auf ein Überhandnehmen freier Sauerstoffradikale unter Eisenbeteiligung und auf hierdurch generierten oxidativen Stress mit schädigender Umwandlung physiologischerweise in der Substantia Nigra vorkommender Eiweiße (z.B. Alpha-Synuclein) hin. Diskutiert wird ferner eine Genese oxidativen Stresses nach Bestrahlung oder auch durch Hypoxie bzw. Hyperoxie und die sich hieraus ergebende Begünstigung neurodegenerativer Erkrankungen. Auch bestimmte Herz-Kreislaufkrankungen wie z.B. Arteriosklerose oder Koronare Herzkrankheit könnten durch oxidativen Stress mitbedingt sein, da die Oxidation des LDLs im Endothel als eine Vorstufe von Plaquebildung angesehen wird. Derzeit wird allgemein davon ausgegangen, dass krankheitsauslösende oder -begünstigende Faktoren für ein Überwiegen oxidativen Stress generierender Substanzen gegenüber Entgiftungsmechanismen (s.u.) verantwortlich zeichnen.

Freie Radikale - Teil 2

sind Teile von Molekülen. An der Bruchstelle befindet sich ein Atom mit einem so genannten ungepaarten Elektron (Englisch: odd electron). Freie, also ungebundene Radikale versetzen biologisches Gewebe in oxidativen Stress und können es zerstören, indem sie als Initiator eine Kettenreaktion auslösen. Darin kann sich ein freies Radikal mit dem Teil eines bestehenden Moleküls zu einem neuen Molekül verbinden. Wird der neue Reaktionspartner ebenfalls als freies Radikal freigesetzt, so kann er eine analoge Reaktion verursachen. In solch einer Ketten-Reaktion verschwinden vom Körper gewünschte Moleküle und es entstehen unerwünschte oder gefährliche Moleküle. Bruchstellen in der DNA sind an sich schon gefährlich, weil Lesefehler der DNA Krebs verursachen können.

Entstehung

Freie Radikale entstehen im Körper durch Überlastung der Verbrennungsprozesse in Mitochondrien oder durch extreme äußere Einflüsse.

- a) Extreme Hitze (Feuer)
- b) UV-Strahlung
- c) Röntgen-Strahlung und andere Ionisierende Strahlung

Freie Radikale können in den Körper gelangen, indem einer der obigen Einflüsse von außen Moleküle des Körpers in freie Radikale zerteilt. Direkte Einwirkung extremer Hitze ist hier unwichtig, weil der sonstige Schaden durch Feuer viel größer ist. Freie Radikale können auch durch Essen, Trinken oder Einatmen von irgendetwas, das freie Radikale enthält, in den Körper gelangen, zum Beispiel:

- a) Zigarettenrauch
- b) Nahrung, die ionisierender Strahlung ausgesetzt war

Aber auch einige Typen von Lymphozyten produzieren freie Radikale zur Keimabwehr.

Freie Radikale in der Biologie

Freie Radikale spielen bei einer Vielzahl biologischer Prozesse eine wichtige Rolle, können aber auch Zellschäden hervorrufen, die u. a. zur Entstehung von Krebserkrankungen beitragen können. Auch für die Entstehung der Arteriosklerose, der Alzheimerschen Krankheit, der Leberschädigung durch Alkohol und des Lungenemphysems durch Zigarettenrauch wird der durch freie Radikale vermittelten Oxidation verschiedener Stoffe eine bedeutsame Rolle zugeschrieben. Unter den intrazellulären Signalwegen, die durch freie Radikale aktiviert werden, ist der NF- κ B-Signalweg einer der wichtigsten.

Da der Schutz vor der Wirkung freier Radikale lebensnotwendig ist, besitzt der Körper wirksame Abwehr- und Reparaturmechanismen in Form von Enzymen, Hormonen oder anderen Substanzklassen, die den Schaden minimieren. An diesen Abwehrmechanismen sind Antioxidantien wie Epigallocatechingallat, Superoxiddismutase, Glutathionperoxidase, Vitamin A, Vitamin C, Vitamin E, Coenzym Q10 und Anthocyanine beteiligt. Auch Bilirubin, Harnsäure sollen bestimmte freie Radikale neutralisieren können. Das Hormon Melatonin gilt ebenfalls als Radikalfänger gegen den oxidativen Stress. Das stärkste bekannte Antioxidans, das Hydridion H⁻, spielt z.B. im Citratzyklus und bei vielen Redoxreaktionen des Stoffwechsels eine wichtige Rolle.

Freie Radikale spielen im Rahmen der sog. "Abnutzungstheorien" der Alterungsprozesse im Körper eine Rolle, so dass Wirksubstanzen gegen oxidativen Stress als Mittel gegen das Altern im Gespräch sind. So ist bekannt, daß Zellen von Vögeln weitaus besser freien Radikalen widerstehen können. Neueste Forschungen haben dabei ein Oxidationsschutzmittel entwickelt, womit bei Fadenwürmern die Lebenserwartung verdoppelt werden konnte.

Chemische Erklärung für Nicht Chemiker

Moleküle bestehen aus Atomen, die durch Paare von Elektronen miteinander

verbunden sind. Die Stärke der Bindung hängt von der Kombination der Atome ab. Wenn ein gebundenes Atom einem Atom mit einem ungepaarten Elektron begegnet, mit dem es stärker binden kann als mit einem seiner jetzigen 'Partner', dann wechselt es zum Atom mit dem ungepaarten Elektron über. Es nimmt dabei eines der Elektronen aus seiner früheren Bindung mit und dieses paart sich mit dem ungepaarten Elektron. Der frühere 'Partner' bleibt jetzt mit einem ungepaarten Elektron zurück. Das übergewechselte Atom hatte noch andere 'Partner', mit welchen es immer noch verbunden ist. Auch das Atom, das zu Anfang ein ungepaartes Elektron hatte, ist immer noch mit anderen Atomen verbunden. Das Ganze ist jetzt ein neues Molekül. Der frühere 'Partner' ist auch immer noch mit anderen Atomen verbunden, und diese Atomgruppe ist ein neues freies Radikal. Der Prozess könnte sich mit dem neuen freien Radikal wiederholen, aber nur mit Molekülen mit Bindungen, die schwächer sind als jene, deren Aufbrechen das neue schwächere freie Radikal geformt hat.

Eine komplexere Variante des Prozesses ist auch möglich: wenn ein Atom einem Atom mit einem ungepaarten Elektron begegnet und im selben Moment zufällig einen Stoß bekommt, dann kann es zu dem Atom überwechseln, auch wenn die neue Bindung ein kleines bisschen schwächer ist als die frühere Bindung. Atome bekommen wegen der Wärme-Bewegung oft Stöße ab. Dieser Prozess wird sich wiederholen, wobei immer mehr gleich starke Bindungen aufgebrochen werden, wobei ursprüngliche Moleküle zerstört werden und neue Moleküle geformt werden. Eine Kettenreaktion also, wobei das ursprüngliche freie Radikal als Initiator auftritt. Das ist nicht dasselbe wie ein Katalysator weil das ursprüngliche freie Radikal verbraucht wird. Bei normalen Reaktionen würde aber die Reaktion aufhören, wenn einer der Ausgangsstoffe verbraucht ist. Die Kettenreaktion bleibt aber in Gang, wobei immer ein freies Radikal beteiligt ist, das genau so 'stark' ist wie das ursprüngliche. Die Kettenreaktion gleicht also mehr einer katalysierten Reaktion als eine normale Reaktion und der Unterschied zwischen einem Initiator und einem Katalysator ist somit in vielen Fällen unwichtig.

Inhibitoren stoppen die Kettenreaktion. Es sind Moleküle, die sehr schwache freie Radikale abgeben, wobei also der zuerst beschriebene Prozess auftritt. Ein einsames Elektronenpaar (Englisch: lone pair) hat mit freien Radikalen nichts zu tun.

10. HRV – Herz Raten Variabilität

Ob wir eine schwere Kiste tragen müssen, ein defektes Auto schieben, beim Knall einer Tüte einen Schreck bekommen, uns vor einer Prüfung konzentrieren – immer reagiert der ganze Körper mit. Jeder weiß aus eigener Erfahrung, dass dann das Herz spürbar zu klopfen, mitunter sogar zu „rasen“ scheint. Was einige nervös machen kann (das deutliche Pochen in der Brust), ist jedoch eine ganz normale „Anpassungsreaktion“ und ein Zeichen von Gesundheit. Krank ist man erst dann, wenn sich das Herz nicht mehr „flexibel“ auf die äußeren oder inneren Belastungen (sprich: „Stress“) anpassen kann (Wenn das Herz beim Treppensteigen nicht ausreichend pumpt oder in entspannten Situationen unaufhaltsam rast, dann stimmt etwas nicht mehr).

Bei gesunden (anpassungsfähigen) Menschen arbeitet das Herz wie ein High-Tech-Instrument mit doppelter Funktion: Während es supersensibel und ununterbrochen äußere und innere Signale registriert, reagiert es gleichzeitig und unmittelbar auf die „Messergebnisse“ mit fein abgestimmten Veränderungen („Variationen“) der Herzschlagfolge. Dieses Phänomen nennt man „Herzratenvariabilität“, abgekürzt „HRV“. Manche sprechen auch von „Herzfrequenzvariabilität“. Um dem internationalen Sprachgebrauch („heart rate variability“) gerecht zu werden und sprachliches Durcheinander zu vermeiden, wird hier die Bezeichnung Herzratenvariabilität bevorzugt. Die HRV beschreibt somit die Fähigkeit des Herzens, den zeitlichen Abstand von einem Herzschlag zum nächsten laufend (belastungsabhängig) zu verändern und sich so flexibel und rasant ständig wechselnden Bedingungen anzupassen. Damit ist die HRV ein Maß für die allgemeine Anpassungsfähigkeit („Globalfitness“) eines Organismus an innere und äußere Reize.

Wem dies noch zu abstrakt klingt, dem ermöglicht vielleicht das folgende Bild aus der Technik eine gewisse Vorstellung: Das Herz ähnelt in seiner Leistungsfähigkeit einem Auto mit vielen „Gängen“. Je nach Verkehrssituation (Beschleunigen bei einem Überholmanöver, Abbremsen in einer gefährlichen Kurve oder wenn sich der Abstand zum Vordermann verringert) kann das Auto durch Tritt auf das Gas- bzw. Bremspedal beschleunigt oder verlangsamt werden. Wie gut so etwas gelingt, hängt nicht zuletzt von der Zahl der zur Verfügung stehenden „Gänge“ (Zahnradübersetzungen) ab. Ein Fahrzeug, das nur über die beiden mittleren Gänge (zwei und drei) verfügt, hat weitaus weniger „Variabilität“ in seinen Fahreigenschaften als eines mit vier oder mehr Gängen: Es wird sowohl bei steilen Bergtouren als auch beim schnellen Fahren in der Ebene erhebliche Schwierigkeiten haben.

Ähnlich ist es beim Herzen, wenn dessen HRV eingeschränkt ist. Menschen mit eingeschränkter HRV funktionieren deshalb nur in einem engen Bereich und werden durch größere „Lebensschwankungen“ rasch überfordert. Sie erleben dies als „Stress“, also als Missverhältnis zwischen momentanen Anforderungen („Störsignalen“) einerseits und den zur Verfügung stehenden Bewältigungsmöglichkeiten andererseits.

Menschen, bei denen dies nicht so gut funktioniert, deren HRV also eingeschränkt ist, entwickeln in einem deutlich höheren Prozentsatz über kurz oder lang gravierende Gesundheitsstörungen wie Herzkrankheiten, Depressionen, Neuropathien (Nervenentzündungen), Krebs. Eine ausreichend große HRV scheint also ein Hinweis auf Gesundheit zu sein (insbesondere auf die derzeitige Fähigkeit eines Organismus, angemessen auf dauernd wechselnde innere und äußere Belastungen reagieren zu können). Nach Michael Mück-Weymann ist sie möglicherweise ein „Globalindikator für Schwingungsfähigkeit (Resonanzfähigkeit) und Adaptivität bio-psycho-sozialer Funktionskreise im Austausch zwischen Organismus und Umwelt.“ Nach diesem Konzept würde die HRV wie ein „Puffer“ („Interface“) wirken, der dem Organismus vielfältige Interaktionen mit der inneren und äußeren Umwelt erleichtert (oder in der Techniksprache: Reibungsverluste verringert). Besserungen bei den oben genannten Erkrankungen gehen meist mit Verbesserungen der HRV einher. Interessanterweise sind rein psychotherapeutische Behandlungen in der Lage, die HRV ähnlich gut wie Medikamente zu beeinflussen. Dies überrascht insofern nicht, als die meisten Psychotherapiemethoden darauf abzielen, die Anpassungsfähigkeit von Patienten an innere und äußere Belastungen zu verbessern, indem sie den Patienten mehr Wahlmöglichkeiten eröffnen (zu denken, zu handeln, zu erleben). Selbstverständlich verbessert auch (Ausdauer) Sport die HRV.

Exkurs zur Klarstellung: „Anpassungsfähigkeit“ hat nichts mit „Willenlosigkeit“, „Schleimerei“, „Duckmäusertum“ usw. zu tun. Unser Körper „passt“ sich ständig an (z.B. an Hitze und Kälte, Tag-Nachtrhythmen und vieles mehr), sonst könnten wir nicht überleben. „Anpassung“ kann in zwei Richtungen erfolgen: Wenn man versucht, andere oder anderes sich gleich zu machen, spricht man von „Assimilieren“. Wenn man sich selbst anderen oder anderem anpasst, nennt man dies Adaptieren. Menschen, die über beide Fähigkeiten verfügen, sind vermutlich am erfolgreichsten. Wer nur assimiliert, erscheint anderen leicht als „Diktator“ oder „stur“, wer sich nur adaptiert, wirkt schnell „profillos“ und „ohne Charakter“.

"Variabilität" ist nicht nur eine Eigenschaft des Herzens, sondern ein Lebensprinzip schlechthin. So findet man beispielsweise bei depressiven Menschen nicht nur eine eingeschränkte HRV, auch die Stimmfunktionen dieser Personen sind weniger variabel.

Kurze Geschichte der HRV

Erste Beobachtungen zum Phänomen der HRV reichen über 1.700 Jahre zurück in das 3. Jahrhundert nach Christus. Damals analysierte der chinesische Arzt Wang Shuhe in seinen Schriften verschiedene Puls-Typen und beschrieb ihre klinische Bedeutung. Eine seiner Feststellungen erinnert frappierend an das Phänomen der HRV:

"Wenn der Herzschlag so regelmäßig wie das Klopfen des Spechts oder das Tröpfeln des Regens auf dem Dach wird, wird der Patient innerhalb von vier Tagen sterben."

Offenbar hatte der chinesische Gelehrte erkannt, dass ein variabler Herzschlag Zeichen von Gesundheit ist.

In der modernen Wissenschaft wird die HRV erstmals Mitte der 60er Jahre als diagnostisch wichtiges Phänomen beschrieben. Große Bedeutung erlangte sie von Anfang an in der Geburtshilfe, wo sie in Form der "Kardiotokografie" bis heute eine wichtige Rolle spielt.

Ende der 80er Jahre setzte in der englischsprachigen Medizin gezieltes und lebhaftes Interesse am Thema HRV allgemein ein, das bis heute zudem kontinuierlich zunimmt. So ist in den Jahren 1975 bis 2006 die Zahl der in PubMed zum Suchbegriff "heart rate variability" gelisteten Publikationen kontinuierlich gewachsen und bis zum Jahr 2006 befanden sich dort schon mehr als 750 neue Arbeiten. Dabei ist die HRV beileibe kein neues - vielleicht aber in seiner Bedeutung neu wiederentdecktes - Phänomen, (siehe oben). Viele ältere klinische Beobachtungen (wie die "respiratorische Sinusarrhythmie" oder die "Pulsstarre") bekommen aus heutiger (sprich: HRV-Sicht) eine neue Bedeutung.

In Deutschland fristet die HRV derzeit immer noch ein Schattendasein. Bezeichnend dafür ist der Umstand, dass sich selbst in der 259. Auflage (Stand: 2002!) des berühmtesten deutschsprachigen klinischen Wörterbuchs (dem "**Pschyrembel**") **kein Eintrag zu den Stichwörtern Herzfrequenzvariabilität oder Herzratenvariabilität findet!!!** Auch wer gängige EKG-Lehrbücher durchforstet, wird in den seltensten Fällen die genannten Begriffe finden.

Die HRV beruht offenbar wesentlich auf einem optimalen Zusammenspiel des „sympathischen“ und des „parasympathischen Nervensystems“. Dabei löst das sympathische Nervensystem typische „Kampf- und Fluchtreaktionen“ aus (Energiebereitstellung, Beschleunigung von Herzschlag und Atmung, Verengung von Blutgefäßen, Blutumverteilung, Schwitzen), während das parasympathische Nervensystem „Erholungsreaktionen“ anregt (Energiespeicherung, Regeneration, Schlaf, Verdauung, bessere Durchblutung von Haut und inneren Organen). Wenn ein System „hochfährt“, „fährt das andere runter“. „Gesund“ ist ein „Gleichgewicht“ (Homöostase, Balance) zwischen den beiden regulatorischen Systemen.

Welche Möglichkeiten eröffnet das Konzept der „Herzratenvariabilität“?

Die HRV läßt ein „Gesundheit“ als „Ausdruck optimalen Zusammenwirkens“ („optimaler Anpassungsfähigkeit“) zwischen einem Organismus und seiner Umwelt zu verstehen und die HRV als Maß für mehr oder weniger gute Interaktionsfähigkeit („Anpassungsfähigkeit“, „Puffervermögen“) zu betrachten. Wo solche Zustände nicht erreicht werden, entsteht "Stress" (nicht nur im Erleben, sondern auch biologisch messbar in Form erhöhter Kortisol- und Adrenalinwerte) sowie „Symptome“ (auf der bio-psycho-sozialen Ebene). Anders ausgedrückt: „Symptome“ lassen sich durchweg als Ausdruck misslungener Interaktionen und „Anpassungsfähigkeit“ deuten. Dagegen äußern sich optimale Interaktionen darin, dass sie von dem betreffenden Menschen als

„Flow“ erlebt werden. Im „Flow“ scheint man gleichsam in der Situation (Welt) aufzugehen, „geht alles wie von selbst“, entstehen Gefühle von Glück, Zufriedenheit und „Funktionslust“, erlebt man sich im Gleichklang („Resonanz“) mit sich selbst und der Umwelt. Das günstigenfalls in „Flow“ gipfelnde „Prinzip optimaler Anpassung“ lässt sich mit Hilfe von HRV-Messungen quantitativ erfassen und beschreiben. HRV-Messungen liefern eine biologische (und zugleich messbare!) Bezugsgröße für „Stresstoleranz“ bzw. Funktionstüchtigkeit und Regulationsfähigkeit.

11. Hyperbare Oxygenierung

Die hyperbare Oxygenierung (HBO) (Alternativbezeichnungen: hyperbare Sauerstofftherapie, HBO-Therapie; englisch: hyperbaric oxygen therapy; HBO₂, HBOT) ist eine Therapieform, bei der Sauerstoff (zumeist 100%iger Anteil in der Einatemluft) unter einem erhöhten Umgebungsdruck (der Luftdruck ist höher als der normale Atmosphärendruck) für definierte Zeiträume und Intervalle einem Patienten systemisch (hier: durch Einatmung) zur Anwendung kommt.

Der erhöhte Umgebungsdruck (Überdruck) wird dabei typischerweise durch eine Druckkammer etabliert. Es werden prinzipiell unterschieden:

1. Einpersonendruckkammer: in diesen besteht die „Kammerluft“ zugleich aus dem Atemgas (typischerweise hier 100 % Sauerstoff)
2. Mehrpersonendruckkammer: in diesen besteht die Kammerluft nicht aus dem Atemgas. Dieses muss über separate Atmungssysteme zugeführt werden

Sauerstoff und Lebewesen

Da Blut aus Zellen und Flüssigkeit besteht, gelten die zuvor genannten Grundsätze auch dann, wenn Blut einem höherem Umgebungsdruck ausgesetzt wird. Und wenn das Blut 100 % Sauerstoff ausgesetzt wird. Dies geschieht im Rahmen der hyperbaren Sauerstofftherapie. Durch die Erhöhung des Umgebungsdrucks in einer Druckkammer wird der darin befindliche Patient einem erhöhten Umgebungsdruck ausgesetzt, inklusive seines Blutes. Entsprechend dem Partialdruck-Prinzip ist bei Atmung von normaler Luft mit etwa 21 % Sauerstoff nur 21 % des erhöhten Umgebungsdrucks auf den Sauerstoff zurückzuführen. Wird der Anteil (wie bei der Hyperbaren Sauerstofftherapie üblich) des Sauerstoff auf 100 % erhöht, so steigt der durch den Sauerstoff bedingte Partialdruck auf 100 % des Gesamtdrucks. Als Summeneffekt wird der Sauerstoffpartialdruck, welcher der Gradmesser der Sauerstoffversorgung im Blut ist, erhöht. Die Erhöhung findet nicht ihre Grenzen in der Löslichkeit von Sauerstoff unter Normaldruckbedingungen.

Sauerstoff wird normalerweise durch die roten Blutkörperchen des Menschen transportiert (genauer: durch das in diesen enthaltene Hämoglobin). Die Anzahl der roten Blutkörperchen ist dabei ausschlaggebend für die Sauerstofftransportkapazität des Blutes. Es ist möglich durch die Zufuhr von 100 % Sauerstoff mehr Sauerstoff im Blut zu transportieren als bei Atmung normaler Luft mit 21% Sauerstoff. Da die roten Blutkörperchen bzw. das Hämoglobin bereits bei 21 % Sauerstoff zu 95-100 % ausgelastet oder gesättigt sind (Sauerstoffsättigung), ist eine Steigerung über das Hämoglobin nur wenig möglich. Die verbleibende Steigerung muss über eine Lösung von Sauerstoff in der Blutflüssigkeit (Plasma) erfolgen. Durch Anhebung des Sauerstoffanteils in der Luft von 21 auf 100 % (etwa fünffach) wird der Sauerstoffpartialdruck ebenfalls deutlich erhöht. Bezogen auf den gesamten Sauerstoffgehalt im Blut ist der Steigerungseffekt jedoch nicht groß.

Beispiel:

Sauerstoffpartialdruck Lunge bei 21 % Sauerstoff (normale Luft) - 150mmHg
Sauerstoffpartialdruck Lunge bei 100 % Sauerstoff – 713mmHg

Sauerstoffgehalt arterielles Blut bei 100 % Sauerstoff und Hämoglobinkonzentration von 15 g/dL – 22,4ml/dl

- davon chemisch gebunden an Hämoglobin – 20,3ml/dl
- davon physikalisch gelöst im Plasma – 2,1ml/dl

Grundsätzliches

Die hyperbare Sauerstofftherapie ist als insgesamt umstrittene Behandlungsform anzusehen. Dies gilt insbesondere für Deutschland, aber auch in anderen Ländern und Gesundheitssystemen ist die Anwendung der HBO nicht unumstritten. Dies ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen (Listung ohne Wertung der Wertigkeiten der einzelnen Faktoren):

1. Für fast alle Indikationsgebiete existieren zur Zeit keine nach den Maßstäben der evidenzbasierten Medizin qualitativ hochwertigen Studien (idealerweise: prospektiv, randomisiert, kontrolliert, doppel-verblindet)
2. Die Strukturen der HBO in der Bundesrepublik Deutschland mit Einrichtungen vorwiegend in privater Trägerschaft bedingen finanzielle Notwendigkeiten, die einer rein wissenschaftlich gesteuerten Erkenntnisgewinnung nicht hilfreich sind
3. Die Verfügbarkeit von Einrichtungen zur HBO ist limitiert. Folgerichtig gestaltet sich die Balancierung von Untersuchungsgruppen infolge beispielsweise Transportzeiten schwierig
4. Die hohen Kosten einer solchen Therapie infolge Vorhaltung (24 Stunden zumal) von Technik und Personal wirken auf die Durchführung von Studien nicht förderlich (hoher Finanzeinsatz für ungewisse Ergebnisse notwendig)
5. In den einzelnen Ländern haben sich unterschiedliche Indikationsspektren etabliert, trotz Konsensfindungen über Indikationsgebiete auf nationaler und supranationaler Ebene
6. Hieraus resultieren zum Teil beträchtliche Unterschiede in der Erstattung der Kosten einer HBO-Therapie

Die Anwendung der HBO ist bei allen nachfolgend gelisteten Indikationen mehr oder weniger umstritten. Insoweit kann die nachfolgende Tabelle nur einen Stand des Wissens zum angegebenen Zeitpunkt widerspiegeln, zumeist auch mit unterschiedlichen Auffassungen, welche aus der mangelnden Qualität (Betrachtung unter methodischen Gesichtspunkten) der Daten herrühren. Nach ständiger Rechtsprechung der obersten bundesdeutschen Gerichte (Bundesgerichtshof, Bundesverfassungsgericht) muss die Aufklärung des Patienten auch die Information beinhalten, dass die hyperbare Sauerstofftherapie umstritten ist. Die Aufklärungspflicht ist dabei entsprechend dem zu behandelnden Krankheitsbild so aufzufassen, dass auch Behandlungsalternativen aufgezählt werden. Die Behandlungsalternativen schließen die Möglichkeit des Beobachtens oder keiner Intervention ein (siehe hierzu auch Spontanheilungsrate bei der Erkrankungen Tinnitus und Hörsturz). Hinsichtlich des Umfanges der Aufklärungspflicht ergibt sich zwischen der hyperbaren Sauerstofftherapie und anderen medizinischen Maßnahmen kein Unterschied (umfassende Aufklärungsverpflichtung). Dies schließt die

Information über die Situation hinsichtlich der Kostenerstattung (oder der nicht erfolgenden Kostenerstattung) durch Krankenversicherungsträger ein.

12. Kohlenhydrate

Kohlenhydrate oder Saccharide bilden die große Naturstoffklasse der Hydroxyaldehyde oder Hydroxyketone sowie davon abgeleitete Verbindungen und deren Oligo- und Polykondensate. Im Allgemeinen wird unter Kohlenhydraten Zucker verstanden. Kohlenhydrate stellen zusammen mit den Fetten und Proteinen den quantitativ größten verwertbaren (u. a. Stärke) und nicht-verwertbaren (Ballaststoffe) Anteil an der Nahrung. Neben ihrer zentralen Rolle als physiologischer Energieträger, spielen sie als Stützsubstanz vor allem im Pflanzenreich und in biologischen Signal- und Erkennungsprozessen (z. B. Zell-Zell-Erkennung, Blutgruppen) eine wichtige Rolle. Ihre nicht-kondensierten Vertreter, die Monosaccharide, weisen Kohlenstoffketten mit mindestens drei C-Atomen und mindestens einem Chiralitätszentrum (Ausnahme: Dihydroxyaceton) auf. Am verbreitetsten sind Monosaccharide mit fünf oder sechs C-Atomen. Zwei- und Mehrfachzucker bestehen aus über glykosidische Bindungen verketteten Einfachzuckern. Die Monosaccharide (Einfachzucker, z. B. Traubenzucker, Fruchtzucker), Disaccharide (Zweifachzucker, z. B. Kristallzucker, Milchzucker, Malzzucker) und Oligosaccharide (Mehrfachzucker, z. B. Raffinose) sind in der Regel wasserlöslich, haben einen süßen Geschmack und werden im engeren Sinne als Zucker bezeichnet. Die Polysaccharide (Vielfachzucker, z. B. Stärke, Cellulose, Chitin) sind hingegen oftmals schlecht oder gar nicht in Wasser löslich und geschmacksneutral.

Physiologische Synthese

Einfachzucker werden von Pflanzen im Calvin-Zyklus durch Photosynthese aus Kohlenstoffdioxid und Wasser aufgebaut, und enthalten Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Zur Speicherung oder zum Zellaufbau werden diese Einfachzucker dann zu Mehrfachzuckern verkettet. Tiere und Menschen können aus Einfachzuckern langkettige Zucker herstellen. So synthetisiert die Leber beispielsweise aus Glucose den langkettigen Speicherzucker Glykogen.

Die Energieversorgung des Gehirns ist hochgradig von Glucose abhängig, da es Fette nicht direkt energetisch verwenden kann. In Hungersituationen ohne Kohlenhydratzufuhr oder bei verstärkter Muskelarbeit wird daher unter Energieaufwand Glucose in der Gluconeogenese aus den Stoffwechselprodukten Lactat, bestimmten Aminosäuren (u. a. Alanin) und Glycerin synthetisiert. Die Gluconeogenese verwendet zwar einige Enzyme der Glycolyse, dem Abbauweg der Glucose zur Erzeugung von energiereichem ATP und $\text{NADH}+\text{H}^+$, ist aber keinesfalls als deren Umkehrung zu verstehen, da entscheidende Schritte von eigenen Enzymen wie gesagt unter Energieverbrauch stattfinden. Glycolyse und Gluconeogenese sind reziprok reguliert, d. h. sie schließen einander in ein und derselben Zelle nahezu aus. Unterschiedliche Organe können jedoch sehr wohl gleichzeitig den einen und den anderen Weg beschreiten. So findet bei starker Muskelaktivität im Muskel Glycolyse und damit Lactatfreisetzung und in der Leber Gluconeogenese unter Verwendung von Lactat statt. Dadurch wird ein Teil der Stoffwechsellast in die Leber verlagert.

Nahrung

Kohlenhydrate sind ein wesentlicher Teil der menschlichen Nahrung, jedoch nicht essentiell. Eine Kohlenhydratfreie Ernährung ist (anders als häufig angenommen) möglich. Der Energiegehalt von 1 Gramm Kohlenhydrat beträgt rund 17,2 Kilojoule (kJ) (4,1 kcal). Pflanzenarten, die vor allem zur Kohlenhydrataufnahme in der Ernährung beitragen, sind im Artikel Nutzpflanzen zusammengestellt.

Die physiologische Energieerzeugung aus Kohlenhydraten erfolgt in der nicht-oxidativen Glycolyse und im oxidativen Citrat-Zyklus. Wenn die Versorgung der Gewebe mit Kohlenhydraten größer ist als ihr Verbrauch, wird der Überschuss in Fett umgewandelt und als Depofett gespeichert.

Einfachzucker (Monosaccharide)

Glucose, auch Traubenzucker oder seltener Dextrose
Mannose, ein Epimer der Glucose
Fructose, auch Fruchtzucker
Ribose, Teil der Ribonukleinsäure (RNA)
Desoxyribose, Teil der Desoxyribonukleinsäure (DNA)
Galactose, auch Schleimzucker

Zweifachzucker (Disaccharide)

Saccharose, auch Rübenzucker oder Rohrzucker (Glucose + Fructose)
Lactose, auch Milchzucker (Glucose + Galactose)
Lactulose, ein synthetisch abgewandelter Milchzucker
Maltose, auch Malzzucker (Glucose + Glucose)
Trehalose

Dreifachzucker (Trisaccharide)

Melezitose
Raffinose
Umbelliferose

Vielfachzucker (Polysaccharide)

Stärke
Cellulose
Glykogen
Chitin
Callose
Fruktane
Dextrane

13. **Leukozyten**

Als Leukozyten (weiße Blutkörperchen) bezeichnet man bestimmte Zellen des Körpers, welche vornehmlich im Blut transportiert werden. Morphologisch werden sie den Erythrozyten (roten Blutkörperchen) gegenübergestellt, da sie im Gegensatz zu diesen nicht über den roten Farbstoff Hämoglobin verfügen. Des Weiteren nehmen sie bei einer Färbung des Blutausstriches die Farbe nicht an und erscheinen unter dem Mikroskop hell bis weiß. Leukozyten erfüllen spezielle Aufgaben in der Abwehr von Krankheitserregern und körperfremden Strukturen. Sie gehören zum Immunsystem und sind dort Teil der spezifischen und unspezifischen Immunabwehr.

Bau der Leukozyten

Leukozyten verfügen je nach ihrer Art über unterschiedliche Gestalt und verschiedenen Aufbau. Die Größe der Leukozyten schwankt zwischen 7 µm bei Lymphozyten und 20 µm bei Monozyten. Weiße Blutkörperchen sind etwa doppelt so groß wie rote und besitzen einen Zellkern mit der gesamten Erbinformation des Organismus. Die Lebensdauer der Zellen reicht von wenigen Tagen bis zu mehreren Monaten. Leukozyten sind amöboid beweglich und können aktiv aus dem Blut in die verschiedenen Zellgewebe einwandern.

Bildung der Leukozyten

Die Bildung der Leukozyten ist ein Prozess, der beim Erwachsenen im roten Knochenmark der platten Knochen (Brustbein und dem Becken) beginnt. Diesen Vorgang nennt man Leukopoese (auch Leukozytopoese). Bei Kindern befindet sich blutbildendes rotes Knochenmark zusätzlich in den langen Röhrenknochen der Arme und Beine. Die weißen Blutkörperchen werden dort in so genannten Vorläuferzellen der Stammzellen gebildet und differenzieren anschließend innerhalb der unterschiedlichen Kategorien der Leukozyten weiter, je nach den ihnen zugeordneten Aufgaben und Funktionen. Um diese erfüllen zu können, müssen Teile der Leukozyten nach ihrer Bildung in eine so genannte Schulung. Im Lymphsystem, das heißt in Lymphknoten, Thymus, Milz, Mandeln, Knochenmark, müssen sie lernen, welche Stoffe zum Körper des Organismus gehören und welche als fremd anzusehen sind. Die Stammzellen selbst besitzen weitreichende Möglichkeiten sich zu entwickeln, sie sind pluripotent. Bei ihrer Teilung entstehen nicht zwei gleiche Tochterzellen, sondern jeweils eine neue pluripotente Stammzelle und eine Vorläuferzelle der einzelnen Blutzellen (determinierte Stammzelle), welche anschließend weiter heranreift. Je nachdem, welcher Wachstumsfaktor (Zytokine) einwirkt, entstehen so die unterschiedlichen Arten der Leukozyten, die Erythrozyten oder die Thrombozyten.

Neutrophiler Granulozyt wandert aus dem Blutgefäß in das Gewebe ein, sezerniert proteolytische Enzyme, um interzelluläre Verbindungen zu lösen (zur Verbesserung seiner Beweglichkeit) und phagozytiert Bakterien

Aufgaben der Leukozyten

Weiße Blutkörperchen, die umgangssprachlich auch als Blutpolizei bezeichnet

werden, haben die Aufgabe, für den Organismus unverträgliche Stoffe bzw. Krankheitserreger unschädlich zu machen. Dazu zählen Bakterien, Viren, Tumorzellen, Toxine, körperfremde Partikel, Würmer, Pilze und Protozoen (Einzeller). Die einzelnen Untergruppen der Leukozyten übernehmen dabei verschiedene Aufgaben innerhalb des Immunsystems - von der Phagozytose über die Markierung von Antigenen bis hin zur Bekämpfung von körpereigenen und körperfremden Zellen und Krebszellen. Neutrophile Granulozyten und Makrophagen zum Beispiel sind als Bestandteil der unspezifischen Abwehr zur Phagozytose fähig. Dabei nehmen sie Fremdmaterial auf und machen es mit Hilfe gespeicherter Enzyme (aufgenommen durch Lysosomen) unschädlich. Sie werden daher auch Fresszellen genannt. B-Lymphozyten produzieren nach geeigneter Stimulation speziell gegen bestimmte Erreger oder schädigende Stoffe gerichtete Antikörper. Sie gehören somit zur spezifischen Abwehr. T-Lymphozyten dienen unter anderem der Koordination zwischen spezifischer und unspezifischer Abwehr. Auch an Entzündungen sind Leukozyten immer beteiligt und dort in der Lage, durch freigesetzte Botenstoffe (Mediatoren) wie Zytokine und Leukotriene diese aufrecht zu halten und zu modulieren oder aber zu beenden. Leukozyten spielen außerdem eine wesentliche Rolle bei allen Autoimmunkrankheiten.

Aufgrund ihrer Abstammung und Farbe in der Pappenheim-Färbung können sie wie folgt unterschieden werden. Alle Zellen der lymphatischen Reihe gehen auf lymphatische Vorläuferzellen zurück, die der myeloiden Reihe entwickeln sich aus myeloiden Vorläuferzellen.

Lymphozyten und Granulozyten werden in weitere Zelltypen unterteilt.

Funktionen der einzelnen Leukozyten

Die einzelnen Blutkörperchen übernehmen innerhalb des Immunsystems verschiedene Aufgaben, welche im folgenden kurz dargestellt sind. Nähere Informationen gibt es unter den entsprechenden Begriffen.

Bindung der Leukozyten an die Blutgefäße

Die weißen Blutkörperchen sind sozusagen die Wächter des Immunsystems und patrouillieren ständig im gesamten Organismus auf der Suche nach Erregern oder zu zerstörenden Zellstrukturen. Dazu nutzen sie den Blutkreislauf, um von einem Ort zum anderen zu gelangen und tasten während dieser Phase die Wände der Gefäßzellen systematisch nach Stoppsignalen ab, die beispielsweise Krebszellen anzeigen. Des Weiteren dringen in jeder Minute hunderte von weißen Blutkörperchen in das Gewebe ein und suchen dort nach Verletzungen und Entzündungen. Dies tun sie, indem sie an den Wänden der Zellen entlang rollen und dort nach bestimmten Strukturen suchen, die einen solchen Zustand anzeigen.

Zahlen und Werte

Normalwerte von Leukozyten im menschlichen Blut:

Eine die Normwerte übersteigende Anzahl von Leukozyten pro Volumen wird als Leukozytose bezeichnet.

prozentualer Anteil der Untergruppen an der Gesamtzahl der Leukozyten im Organismus. Auf siebenhundert rote Blutkörperchen kommt unter normalen Bedingungen etwa ein weißes Blutkörperchen.

Eine Unterschreitung der Normwerte der Leukozyten pro Volumen wird als Leukopenie bezeichnet.

Krankheiten im Zusammenhang mit Leukozyten

Leukämie

Bei den Leukämien verändern sich einzelne Untergruppen der Leukozyten zu Tumorzellen. Am häufigsten betroffen sind die Lymphozyten. Der Entstehungsort der Krankheit ist das Knochenmark, wo die Tumorzellen mit dem Blutstrom in Kontakt kommen und dadurch im ganzen Körper verteilt werden. Durch ihr massenhaftes Auftreten rufen die Tumorzellen Krankheitssymptome in allen Organen hervor. Vor allen Dingen im Knochenmark verdrängen sie die Erythrozyten, normalen Leukozyten und Thrombozyten und hemmen auf diese Weise deren Bildung. Die Betroffenen fallen durch Müdigkeit, Blässe, Blutungsneigung und allgemeines Krankheitsgefühl auf. Gleichzeitig entsteht eine Anfälligkeit für Infektionen, weil die entarteten Leukozyten ihre eigentliche Aufgabe der Immunabwehr nicht erfüllen.

HIV

Bei der Immunschwächekrankheit Aids vermehrt sich der Erreger, das HI-Virus, über die T-Helferzellen, die am Anfang der Immunabwehr stehen. Dadurch bricht langsam die komplette Immunabwehr zusammen und der Erkrankte kann letztlich allen erdenklichen Krankheitserregern zum Opfer fallen. Typisch für die Krankheit ist u. a. eine Lungenentzündung durch *Pneumocystis jiroveci*, an der gesunde Menschen nur sehr selten erkranken – Anm. MB das ist eine Hypothese!

14. Lipide

(von griechisch λίπος lípos „Fett“) ist eine Sammelbezeichnung für Naturstoffe, die aufgrund ihrer geringen Polarität (d. h. die elektrische Ladung ist nahezu gleichmäßig im Molekül verteilt) in Wasser unlöslich, in hydrophoben bzw. lipophilen (unpolaren) Lösungsmitteln wie Benzin, Benzol, Ether oder Chloroform hingegen gut löslich sind.

Lipide werden in sieben Gruppen eingeteilt:

- 1) Fettsäuren
- 2) Triacylglyceride (Fettsäure-Ester des Glycerins; noch einmal unterteilbar in Fette und fette Öle)
- 3) Glycerophospholipide (Phosphatidsäure, Lecithine, Cardiolipine, Plasmalogene u. a.)
- 4) (Sphingosin, Ceramide, Sphingophospho- und Sphingoglycolipide)
- 5) Isoprenoide (auch Terpene genannt; Steroide, d. h. Steran-Derivate, Carotinoide, etc.)
- 6) Wachse (Ester langkettiger aliphatischer Alkohole mit Fettsäuren)
- 7) Lipopolysaccharide (Bestandteile der Zellhülle Gram-negativer Bakterien)

Membranlipide wie Glycerophospholipide, Sphingolipide und Cholesterol sind amphiphil, (das heißt, sie haben einen polaren und einen unpolaren Teil) und bilden deswegen in polaren Lösungsmitteln Micellen oder Membranen.

Abhängig von ihrer Verseifbarkeit (durch Laugen) werden die Lipide auch in verseifbar und unverseifbar unterteilt. Verseifbar sind dementsprechend die Fettsäureester und –amide:

Biologische Funktionen:

Die biologischen Funktionen der Lipide sind ebenso vielfältig wie ihre chemische Struktur. Sie dienen als:

- a) Brennstoff (β -Oxidation der Fettsäuren)
- b) Energiespeicher (Triacylglycerole)
- c) Membranbausteine (Phospholipide)
- d) Signalmoleküle (Diacylglycerol; IP3-Kaskade)
- e) Hormone (Eicosanoide; Prostaglandine etc.)
- f) Fettlösliche Vitamine (Vitamine A, D, E, K)
- g) Cofaktoren (Dolichol)
- h) Pigmente (Carotinoide)

Viele Lipide können vom menschlichen Körper selbst synthetisiert werden, aber manche müssen mit der Nahrung aufgenommen werden. Diese werden dann als essentielle Lipide bezeichnet.

Membranbildende Lipide

sind Lipide, die einen hydrophilen und einen hydrophoben Teil besitzen. Der hydrophile Teil richtet sich immer zu polaren Lösungsmittel wie Wasser, der hydrophobe Teil richtet sich immer weg von ihnen. Somit können sie Mizellen (Aggregate aus amphiphilen Molekülen, die sich in einem Dispersionsmedium (meist Wasser) spontan zusammenlagern) oder Doppellipidschichten bilden.

Aus diesen Doppellipidschichten sind alle Biomembranen aufgebaut, was membranbildende Lipide zu einer der Grundvoraussetzungen allen Lebens macht.

Ernährungsphysiologische Bedeutung

Während manche Lipide vom menschlichen Körper im Fettstoffwechsel selbst hergestellt werden können, müssen andere mit der Nahrung aufgenommen werden. Diese bezeichnet man als essentielle Lipide. Dazu gehören die essentiellen Fettsäuren und die fettlöslichen Vitamine A, D, E und K.

Essentielle Fettsäuren

Doppelbindungen in der Kohlenwasserstoff-Kette einer Fettsäure, die mehr als neun C-Atome von der Carboxyl-Gruppe entfernt sind, kann der Organismus nicht eigenständig herstellen. Diese sind jedoch von wichtiger Bedeutung und müssen daher über die Nahrung aufgenommen werden, deshalb werden sie als essentiell bezeichnet. Zu den Vertretern der essentiellen Omega-3-Fettsäuren zählen die Linolensäure, Eicosapentaensäure und Docosahexaensäure.

Essentielle Omega-6-Fettsäuren sind die Linolsäure und die Arachidonsäure. Aus der Arachidonsäure werden Eikosanoide synthetisiert, diese sind wichtige Gewebshormone und Mediatoren im Körper. Omega-9-Fettsäuren sind nicht essentiell, da sie aus Omega-3- und Omega-6-Fettsäuren synthetisiert werden können. Mögliche Quellen für Omega-3- und Omega-6-Fettsäuren in Nahrungsmitteln sind Fische, Leinsamen, Sojaöl, Hanföl, Kürbiskerne oder Walnüsse.

Essentielle Fettsäuren spielen eine wichtige Rolle in vielen Stoffwechselprozessen, und es gibt Hinweise, dass Mängel oder Ungleichgewichte in der Aufnahme der essentiellen Fettsäuren Ursache zahlreicher Krankheiten sind.

Fettlösliche Vitamin sind:

- 1) Vitamin A, ein Terpen, das eine wichtige Rolle zum einen beim Sehvorgang, zum anderen für Wachstum, Funktion und Aufbau von Haut und Schleimhäuten spielt
- 2) Vitamin D, zuständig für die Regelung der Kalzium- und Phosphor-Konzentrationen im Blut und somit für die Knochenstabilität von entscheidender Bedeutung
- 3) Vitamin E, ein Terpenoid mit antioxidativer Wirkung und
- 4) Vitamin K, ein Terpenoid, das bei der Blutgerinnung mitwirkt

15. **Moleküle**

Ein Molekül (älter auch: Molekel) ist ein Teilchen, das aus zwei oder mehreren zusammenhängenden Atomen besteht, welche durch kovalente Bindungen verbunden sind. Moleküle stellen die kleinsten Teilchen dar, die die Eigenschaften des zugrundeliegenden Stoffes haben. Es gibt Moleküle, die aus einem einzigen Element aufgebaut sind (O₂, N₂, P₄ u.v.m), die meisten Moleküle sind aber Verbindungen aus Nichtmetallen mit einem (oder mehr) weiteren Nichtmetallen oder Halbmetallen. Einen etwas größeren Verbund von gleichartigen Atomen nennt man Cluster. Neben der atomistischen Definition gibt es auch noch eine kinematische: Ein Molekül ist eine Gruppe von Atomen, die sich in ihrer Gasphase für länger als 10⁻¹³ s zusammen bewegen

16. **Nahrungsergänzungsmittel**

Nahrungsergänzungsmittel sind eine recht neue Produktgruppe zwischen Arzneimitteln und Lebensmitteln. Rechtlich gehören sie zu den Lebensmitteln, daher fallen sie in Deutschland unter die Regelungen des Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuchs (LFGB). Die erlaubten Inhaltsstoffe sind in Anhang 1 der Nahrungsergänzungsmittelverordnung (NemV) aufgeführt. Zusammensetzung und Zweckbestimmung unterscheiden sich je nach Herkunftsregion deutlich. In den USA sind beispielsweise viele Produkte als Nahrungsergänzungsmittel erhältlich, die nach deutschem Recht zu den Arzneimitteln zählen würden. Nahrungsergänzungen dürfen in Deutschland keinen therapeutischen Nutzen erfüllen. Das Inverkehrbringen von Nahrungsergänzungsmitteln ist nach der NemV anzeigepflichtig. Die Kennzeichnung unterliegt ebenfalls der NemV. Insbesondere ist ein Nem mit dem Hinweis zu versehen, dass es kein Ersatz für eine ausgewogene und abwechslungsreiche Ernährung sein darf, dass die angegebene empfohlene Verzehrmenge nicht überschritten werden darf und das Nem nicht in der Reichweite von kleinen Kindern zu lagern ist.

Rechtlich ist diese Produktgruppe im EU-Recht durch die Richtlinie 2002/46/EG geregelt. Dabei sind insbesondere die zulässigen Mineralstoffe und Vitamine vorgegeben. In der hierauf basierenden Nahrungsergänzungsmittel-Verordnung ist ein Nahrungsergänzungsmittel „ein Lebensmittel, das:

1. dazu bestimmt ist, die allgemeine Ernährung zu ergänzen
2. ein Konzentrat von Nährstoffen oder sonstigen Stoffen mit ernährungsspezifischer oder physiologischer Wirkung allein oder in Zusammensetzung darstellt und
3. in dosierter Form, insbesondere in Form von Kapseln, Pastillen, Tabletten, Pillen, Brausetabletten und anderen ähnlichen Darreichungsformen, Pulverbeutel, Flüssigampullen, Flaschen mit Tropfeinsätzen und ähnlichen Darreichungsformen von Flüssigkeiten und Pulvern zur Aufnahme in abgemessenen kleinen Mengen in den Verkehr gebracht wird“

Sinnvolle Inhaltsstoffe sind Mineralstoffe, Vitamine und Antioxidantien, wobei aber Überdosierungen in einzelnen Fällen (z. B. von Vitamin A) auch schädlich sein können. Für alle anderen Zutaten (z. B. Anthocyane, Q10, Kreatin, L-Carnitin, Phytoöstrogene) war es bisher wissenschaftlich nicht möglich, den Bedarf oder Nutzen einer Übersättigung zu belegen. Krankheitsbezogene Aussagen und Indikationen sind, wie für andere Lebensmittel auch, nicht zulässig. Sie sind auch nicht möglich, da Nahrungsergänzungen in der Regel eher unspezifisch und individuell unterschiedlich wirken. In der Praxis werden entsprechende Informationen über verschiedene Wirkungserfahrungen in Form von Presseartikeln, Vorträgen oder Beratungen geliefert, die, meist von der Pharmaindustrie gefördert, zur Meinungsbildung beitragen sollen.

Rechtliche Rahmenbedingungen

Die rechtliche Situation von Nahrungsergänzungsmitteln wird durch die Nahrungsergänzungsmittel-richtlinie 2002/46/EG geregelt. In den einzelnen

Mitgliedsstaaten wurde diese durch Nahrungsergänzungsmittelverordnungen umgesetzt. So hat Österreich diese Richtlinie durch die Nahrungsergänzungsmittelverordnung (NEMV - 2004) umgesetzt. Inhalte sind unter anderem Positivlisten, die angeben welche Vitamine oder Mineralstoffe in Nahrungsergänzungen verwendet werden dürfen. Vor allem Nahrungsergänzungen aus den USA enthalten of Inhaltsstoffe, die nicht der Regelung entsprechen. Diesbezüglich war es bis 12. April 2005 möglich, bei der EU ein Dossier über Stoffe einzureichen, die als sinnvoll empfunden werden und sich durch besondere Bioverfügbarkeit auszeichnen. Beispiele: Zinkpicolinat, Selenmethionin.

17. Oxidation

Die Oxidation ist eine chemische Reaktion. Früher wurde sie als Calzination bezeichnet. Bei diesem Vorgang gibt der zu oxidierende Stoff (Elektronendonator) Elektronen an das Oxidationsmittel (Elektronenakzeptor) ab. Dieses wird durch die Elektronenaufnahme reduziert (Reduktion). Mit der Oxidation ist also immer auch eine Reduktion verbunden. Beide Reaktionen zusammen werden als Teilreaktionen einer Redoxreaktion betrachtet.

Die Oxidation ist nicht zwangsläufig mit einer vollständigen Abgabe von Elektronen und damit der Ionisation der beteiligten Stoffe verbunden.

Der Begriff Oxidation wurde ursprünglich von Antoine Laurent de Lavoisier geprägt, der damit die Vereinigung von Elementen und chemischen Verbindungen mit dem Element Sauerstoff (Oxygenium), also die Bildung von Oxiden beschreiben wollte. Später erfolgte eine Erweiterung des Begriffes, indem man Reaktionen, bei denen Wasserstoff-Atome einer Verbindung entzogen wurden (Dehydrierung), mit einbezog. Auf Grundlage der Ionentheorie und des Bohrschen Atommodells konnte die Oxidation schließlich unter elektronentheoretischen Gesichtspunkten interpretiert und verallgemeinert werden. Das Charakteristische an diesem Vorgang wird nun in der Elektronenabgabe eines chemischen Stoffes gesehen.

Oxidation durch Sauerstoff

Als Oxidation im ursprünglichen Sinn bezeichnete man früher die chemische Reaktion eines Stoffes mit Sauerstoff. Aber auch heute noch assoziiert man mit diesem Begriff vielfach die Umsetzung mit Sauerstoff und die Bildung von Oxiden. Jedoch ist im Rahmen der allgemeineren Definition diese Reaktion nur eine von vielen, die sich mit Hilfe der Valenzelektronentheorie erklären lässt. Reagiert z. B. ein Metallatom mit einem Sauerstoff-Atom, so kann man die Oxidation des Metalls und somit die Metalloxidbildung anhand folgender Reaktionsgleichungen nachvollziehen:

Sauerstoff hat in diesem Fall das Bestreben, durch Aufnahme von zwei Elektronen eine stabile Valenzelektronenschale mit insgesamt acht Elektronen aufzubauen (Oktettregel). Das Metall wiederum kann durch Abgabe der Elektronen teilbesetzte Schalen auflösen und so die nächst niedrigere stabile Elektronenkonfiguration erreichen.

Beispiele der Oxidation durch Sauerstoff

a) Klassische Beispiele für die Oxidation durch Sauerstoff sind alle Arten der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Stoffen unter Luftsauerstoff, z.B. Verbrennung von Kohle, Wald, Benzin im Motor, Kerzen usw. Ausgehend von Kohle (reiner Kohlenstoff) gibt jedes Kohlenstoff-Atom vier Elektronen an zwei Sauerstoff-Atome zur Ausbildung von zwei Doppelbindungen ab. Es entsteht Kohlendioxid (CO₂)

b) Nahrung wird im Körper in den vielen Schritten des biochemischen Stoffwechsels u.a. zu körpereigenen Stoffen, Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Wasser oxidiert. Nicht nur in vivo, auch in vitro können organische Stoffe auf

vielfältige Weise mit Sauerstoff reagieren: Ein primärer Alkohol (Alkanol) wird sanft oxidiert. Dabei entsteht zunächst ein Aldehyd (Alkanal), bei nochmaliger Oxidation eine Carbonsäure (Alkansäure). Bei heftiger Oxidation kann der Schritt zum Aldehyd übersprungen werden. Wird ein sekundärer Alkohol oxidiert, so bildet sich dabei ein Keton (Alkanon). Tertiäre Alkohole können auf Grund ihrer bereits vorhandenen drei C-Bindungen nicht oxidiert werden

c) Eisen rostet (korrodiert) unter dem Einfluss von Sauerstoff und bildet verschiedene Eisenoxide (Rost: Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO)

d) Bei der Reaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff (Knallgas) entsteht Wasserstoffoxid, besser bekannt als Wasser (H_2O)

Oxidation ohne Sauerstoff

Der Begriff der Oxidation wurde später auf Reaktionen erweitert, die nach dem gleichen chemischen Prinzip ablaufen, auch wenn kein Sauerstoff daran beteiligt ist. Im weiteren Sinne bedeutet Oxidation das Abgeben von Elektronen. Zum Beispiel gibt bei der Reaktion von Natrium und Chlor zu Kochsalz das Natriumatom ein Elektron an das Chloratom ab, Natrium wird also oxidiert. Im Gegenzug wird Chlor dabei reduziert:

Oxidation in der Biologie

Vor allem in der Biologie definiert man Oxidation als „Abgabe von Wasserstoff“. Bei vielen biochemischen Vorgängen in der Zelle, z.B. der Glycolyse werden organischen Verbindungen Wasserstoffatome durch bestimmte Coenzyme (NAD, NADP, FAD) „entrissen“

Oxidationszahlen

Bei einem Molekül wird/werden das/die bindende(n) Elektronenpaar(e) dem Atom zugesprochen, dessen Elektronegativität höher ist. Zahlen gleichartiger Atomverbindungen werden untereinander gleich aufgeteilt. Ionen haben als Summe ihrer Oxidationszahlen ihre Ladungszahl, Moleküle die Summe 0. Bedeutend sind die Oxidationszahlen jener Atome, die Bestandteil einer funktionellen Gruppe sind

18. **Oxidativer Stress**

Oxidativer Stress: Altern durch freie Radikale, ein Prozess, dem der Körper durch Antioxidantien entgegenwirkt.

Weiter siehe Freie Radikale!

19. **Peak Flow Meter**

Der Peak Flow ist ein Messwert in der Medizin, der angibt, mit welcher Geschwindigkeit eine Person Luft aus ihrer Lunge blasen kann. Bei gesunden Menschen liegt der Peak Flow-Wert etwa zwischen 400 und 700 l/min. Bei Personen mit Atembeschwerden, wie zum Beispiel Asthma, liegt der Wert darunter. Bei Asthmatikern sind die Atemwege verengt sind und dadurch ist die Ausblasmenge pro Minute wesentlich geringer ist. Aus diesem Grund wird der Peak Flow bei Leuten mit Atemwegserkrankunge also so wichtig angesehen, wie das tägliche Blutdruckmessen bei Leuten mit Bluthochdruck.

Die Peak Flow Messung sollte zweimal täglich stattfinden und zwar Morgens direkt nach dem Aufstehen und Abends vor dem Schlafengehen. Der Patient soll dreimal so kräftig wie möglich in das Peak Flow Meter pusten und den höchsten Wert notierten. Damit kann der Arzt und der Patient sehen, ob die Therapie erfolgreich ist.

20. **Photodynamische Therapie (PDT)**

Unter der Foto- bzw. Photodynamischen Therapie (PDT) versteht man ein Verfahren zur Behandlung von Tumoren und anderen Gewebeveränderungen mit Licht in Kombination mit einer lichtempfindlichen Substanz, einem so genannten Photosensibilisator, und im Gewebe vorhandenem Sauerstoff. Dazu wird dem Patienten ein solcher Sensibilisator oder einer seiner Stoffwechselläufer verabreicht, der sich selektiv im Tumor anreichert. Nach einer gewissen Wartezeit wird anschließend der Tumor und das ihn umgebende gesunde Gewebe mit Licht geeigneter Wellenlänge bestrahlt. Dabei werden durch photophysikalische Prozesse toxische Substanzen erzeugt, die aufgrund der Tumorselektivität des Sensibilisators gezielt den Tumor schädigen.

Anwendungsgebiete

Augenheilkunde

Die Photodynamische Therapie wird in der Augenheilkunde mittlerweile als Standardverfahren eingesetzt. Sie war lange das einzig zugelassene Behandlungsverfahren für bestimmte Formen von Gefäßneubildungen unter der Netzhaut (chorioidalen Neovaskularisationen), wie sie z.B. bei der altersabhängigen Makuladegeneration (feuchte Form) entstehen können. Der besondere Vorteil der PDT in diesem Einsatzgebiet ist die direkte Erreichbarkeit des Behandlungsortes (der Netzhaut) mit dem PDT-Laser durch die Patientenpupille. Auch kann durch die bei der Behandlung gleichzeitig mögliche Spiegelung des Augenhintergrundes die Lage und Größe des Bestrahlungsfeldes direkt kontrolliert werden. Mit der PDT können die neugebildeten Gefäße verschlossen und somit ein weiterer Sehverlust vermieden werden. Gleichzeitig werden die Fotorezeptoren der Netzhaut und das darunter liegende Pigmentepithel durch die relativ geringe Laserleistung geschont. Mittlerweile stehen für die o.g. augenärztlichen Indikationen auch Medikamente zur Verfügung, die direkt in das Auge gespritzt werden (z.B. Avastin, Lucentis, Macugen oder Triamcinolon) und die nicht mittels Beleuchtung aktiviert werden müssen. Zum Teil werden diese Medikamente auch in Kombination mit der PDT angewendet.

Onkologie

Gegenüber einer chirurgischen Behandlung bietet die Photodynamische Therapie den Vorteil eines nicht bzw. minimal-invasiven Verfahrens. Insbesondere entfällt die aus Sicherheitsgründen erforderliche weiträumige Entfernung von gesundem Gewebe in der Tumorumgebung. Eine Bestrahlung erfordert etwa 10 bis 100 Minuten. Typische Bestrahlungsstärken liegen bei 100 mW/cm². Die Erwärmung des Gewebes beträgt daher nur wenige Grad Celsius. Eine Narkose ist nur im Fall schwer zugänglicher innerer Organe nötig. Die PDT von Tumoren erfolgt im Normalfall in einer einmaligen Bestrahlungssitzung, jedoch besteht durchaus die Möglichkeit der Wiederholung. Da die Bestrahlung mit normalem Licht geschieht, ist die Belastung der Patienten im Vergleich zu den "klassischen" Therapieverfahren relativ gering. Eine photodynamische Behandlung versperrt nicht den Weg für andere Therapieansätze, diese können gegebenenfalls noch durchgeführt werden, sollte keine vollständige Heilung erreicht worden sein.

Der Nachteil der Photodynamischen Therapie ist im Wesentlichen die geringe Eindringtiefe von Licht von nur einigen Millimetern, so dass in der Regel nur nicht zu fortgeschrittene oder flächig wachsende Tumore erfolgreich therapiert werden. Es bieten sich daher vor allem z.B. Hauttumoren, wie Aktinische Keratosen, das Basaliom, aber auch Warzen als Einsatzgebiet für die Photodynamische Therapie an. Durch den Einsatz von Lasern in Kombination mit Lichtleitfasern lassen sich auch Tumore an endoskopisch zugänglichen körperinneren Oberflächen behandeln. Außerdem können durch das Einstecken solcher Fasern in das Gewebe auch größere Tumore therapiert werden, dieses Vorgehen ist jedoch selten.

Die photodynamische Behandlung von inneren Tumoren ist bislang wenig verbreitet und wird meist nur palliativ eingesetzt wie beispielsweise in der Speiseröhre, bei Gallengangs- und Gallenblasenkarzinom oder bei Gehirntumoren

Wird der Photosensibilisator nicht nur lokal angewandt sondern systemisch, so ist als Nebenwirkung mit einer vorübergehenden erheblichen Lichtempfindlichkeit zu rechnen, die in Einzelfällen über mehrere Wochen anhalten kann. Die Gefahr der damit verbundenen Reduzierung der Lebensqualität kann bei palliativer Anwendung mit geringer Lebenserwartung als Argument gegen eine Therapie gewertet werden.

Obwohl dieses Verfahren bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts in München untersucht wurde, erlangte es erst in den 80er Jahren durch eine Verbesserung der Photosensibilisatoren und den Einsatz von Lasern eine gewisse Verbreitung. Typische Einsatzgebiete sind Tumore in der Harnblase, im äußeren Kopfbereich, in Mundhöhle, Kehlkopf, Speiseröhre, in der Lunge, im Gallengang sowie im Genitalbereich.

Dermatologie

in der Dermatologie hat die Photodynamische Therapie weite Verbreitung gefunden zur Behandlung verschiedener Hautkrebsformen und ihrer Vorstufen. Als Medikament zugelassen wurde ein Photosensibilisator zur Therapie von aktinischen Keratosen und bestimmten Formen der Basaliome. Erfolgversprechende Studien und Einzelfallberichte deuten eine Wirksamkeit an bei zircumscripter Sklerodermie, Akne, Psoriasis vulgaris, verschiedenen Hyperkeratosen, Viruswarzen und anderen chronischen Hautkrankheiten

Biochemische Grundlagen

Als Photosensibilisatoren werden überwiegend Porphyrine eingesetzt, die sich bei Bestrahlung mit rotem Licht mit einer Wellenlänge von 630 nm bis 635 nm aktivieren lassen. Oft wird auch 5-Aminolävulinsäure oder deren Methylester eingesetzt, Stoffwechselvorläufer des Protoporphyrin, der selektiv in Tumorzellen eine Porphyrinsynthese anregt. Neuere Sensibilisatoren lassen sich bei noch größeren Wellenlängen anregen mit dem Vorteil einer etwas größeren Eindringtiefe des Lichtes in das Gewebe. Photosensibilisatoren fluoreszieren in der Regel und werden daher auch in der Fluoreszenzdiagnose von Tumoren eingesetzt.

Der eigentliche photophysikalische Prozess verläuft in mehreren Schritten und erfordert die Anwesenheit von Sauerstoff, der in den meisten Zellen in ausreichender Menge vorhanden ist. Ein Molekül des Photoensibilisators absorbiert ein Photon des Lichtes und wird in den ersten angeregten Singulett-Zustand angehoben. Je größer die Lebensdauer dieses Singulett-Zustandes ist, umso größer ist auch die Wahrscheinlichkeit für den eher seltenen Übergang in einen ebenfalls angeregten Triplett-Zustand durch Interkombination. Da optische Übergänge dieses Triplett-Zustandes in den Grundzustand sehr unwahrscheinlich sind, hat er eine ungewöhnlich große Lebensdauer. Das ermöglicht den Kontakt mit besonders vielen Molekülen der Umgebung. Trifft er dabei ein Molekül, dessen Grundzustand ein Triplett-Zustand ist, so ist Energieaustausch möglich, wobei beide Moleküle in einen Singulett-Zustand übergehen. Eines der wenigen Moleküle mit einem Triplett-Grundzustand ist molekularer Sauerstoff. Da die Energie des angeregten Sensibilisatormoleküls größer ist als die für einen Übergang des Sauerstoffs in einen angeregten Singulett-Zustand erforderliche, kann dieser Energieaustausch stattfinden. Der dabei entstehende Singulett-Sauerstoff hat wiederum eine besonders große Lebensdauer hinsichtlich eines optischen Übergangs in den Grundzustand. Aufgrund seiner chemischen Reaktionsfreudigkeit kann er jedoch Zellbestandteile in der Umgebung durch Oxidation schädigen. Dadurch kann er eine Nekrose oder - durch Wirkung auf die Mitochondrienmembran – eine Apoptose auslösen.

21. **Photosynthese**

Als Photosynthese oder Fotosynthese (altgriechisch φῶς phos, Licht; σύνθεσις *sýnthesis*, Zusammensetzung) bezeichnet man die Erzeugung (die Synthese) von organischen Stoffen in Lebewesen unter Verwendung von Lichtenergie, die mit Hilfe lichtabsorbierender Farbstoffe aufgenommen wird.

Prinzip

Die Photosynthese kann in drei Schritte untergliedert werden. Im ersten Schritt wird die elektromagnetische Energie (in Form von Licht) unter Verwendung von Farbstoffen absorbiert. Direkt hieran anschließend erfolgt im zweiten Schritt eine Umwandlung der elektromagnetischen Energie in chemische Energie (siehe Phototrophie). Im letzten Schritt wird diese chemische Energie für den Stoffwechsel, zur Synthese organischer Verbindungen und für das Wachstum verwendet.

Der bei der Synthese neuer organischer Verbindungen benötigte Kohlenstoff stammt entweder aus einfachen organischen Verbindungen (z.B. Acetat) oder aus Kohlenstoffdioxid (CO₂). Beim ersten Prozess handelt es sich um Photoheterotrophie, welche nur bei Bakterien ein wichtiger Prozess ist. Der weitaus größte Teil der phototrophen Organismen ist hingegen photoautotroph. Sie gewinnen den benötigten Kohlenstoff ausschließlich aus CO₂.

Photoautotrophe Organismen, zu denen z.B. alle Landpflanzen und Algen gehören, treiben mit ihrem Photosynthese-Stoffwechsel (direkt und indirekt) nahezu alle bestehenden Ökosysteme an, da sie mit der Fixierung von anorganischem CO₂ den Aufbau organischer Verbindungen betreiben.

Bei Pflanzen und vielen anderen Lebewesen mit Photosynthese ist das primäre Syntheseprodukt Glucose. Die Glucose dient sowohl als Energielieferant als auch als Ausgangsmaterial für den nachfolgenden Aufbau von Bau- und Reservestoffen (d.h. verschiedenen organischen Stoffen) in Lebewesen aus meist einfacheren anorganischen (seltener: organischen) Stoffen.

Wortgleichung Photosynthese

Aus Kohlenstoffdioxid und Wasser entsteht - mit Hilfe von Licht (Chlorophyll) - Traubenzucker und Sauerstoff

Primär und Sekundärreaktion

Bei der Photosynthese laufen komplexe biochemische Prozesse ab. Die Photosynthese besteht aus einer Lichtreaktion und einer Dunkelreaktion, die heute genauer und besser als Primär- bzw. Sekundärreaktion bezeichnet werden, weil andere Bezeichnungen irreführend sind. In der Primärreaktion entsteht zunächst unter Nutzung von Lichtenergie chemische Energie (in Form von ATP) und ein Reduktionsmittel (NADPH). ATP und NADPH werden in der anschließenden lichtunabhängigen Reaktion genutzt, um ohne Licht organische Stoffe zu bilden, meistens Glucose. Dabei wird Kohlenstoffdioxid (CO₂) mit ATP als Energiequelle und NADPH als Reduktionsmittel zu Glucose und Wasser umgesetzt. NADPH gibt bei diesem Vorgang den von ihm transportierten Wasserstoff und zwei Elektronen ab und wird selbst zum NADP⁺ oxidiert, ein zweiter Wasserstoff wird aus H⁺-Ionen entnommen. Bei Pflanzen findet die

Synthese von Glucose in den Chloroplasten der Zelle statt, die lichtabhängigen Reaktionen erfolgen in den Thylakoiden, die lichtunabhängige Dunkelreaktion (Calvin-Zyklus) findet im Stroma (Matrix) oder im Cytoplasma statt.

Nicht-zyklische Photophosphorylierung

Bei der Primärreaktion, auch als Lichtreaktion bezeichnet, wird einerseits Lichtenergie in chemische Energie (ATP) umgewandelt (siehe Phototrophie) und gleichzeitig wird ein Reduktionsmittel für die Reduktion von Kohlenstoffdioxid gebildet, indem das Coenzym NADP⁺ mit zwei Elektronen und einem Wasserstoff-Ion (Proton / H⁺) vorübergehend zu NADPH reduziert wird.

Zunächst wird das Licht durch sogenannte Lichtsammelkomplexe absorbiert. Das sind, in besonderen Biomembranen, den Thylakoid-Membranen, gebundene Proteine, die an die Farbstoffe gebunden sind. Durch die Absorption von Licht werden in den Farbstoffen Elektronen in einen energiereichen („angeregten“) Zustand versetzt. Als Lichtsammler können verschiedene Farbstoffe (Pigmente) fungieren. Die Anregungsenergie wird über weitere, benachbarte Pigment-Proteine weitergeleitet (in wenigen Pikosekunden) bis sie schließlich auf ein als Reaktionszentrum bezeichnetes Chlorophyll-Molekül gelangt. Dieses ist räumlich so zu Elektronenüberträgern angeordnet, dass es in angeregtem Zustand ein Elektron daran abgeben kann. Durch diese chemische Reaktion, eine Redoxreaktion, in der das Chlorophyll oxidiert und der primäre Elektronenüberträger reduziert wird, wird also die Lichtenergie in chemische Energie umgewandelt.

Bei den meisten phototrophen Lebewesen werden zunächst die im Photosystem II befindlichen Chlorophyll-Moleküle (Reaktionszentrum) durch die von den Lichtsammelkomplexen an sie weitergeleitete Lichtenergie auf ein höheres Energieniveau gehoben, das bedeutet auf ein niedrigeres Redoxpotential: Das Chlorophyll ist nach Aufnahme von Lichtenergie in einem angeregten Zustand, in dem es leichter Elektronen abgibt (starkes Reduktionsmittel, niedriges Redoxpotential). Die Elektronen werden vom angeregten Chlorophyll über einen primären Elektronenakzeptor an Plastochinon (PQ) weitergegeben. Die im Chlorophyll fehlenden Elektronen werden anschließend durch die Spaltung von Wasser in Elektronen, Protonen und $\frac{1}{2}$ O₂ (Photolyse) ersetzt. Ein gespaltenes Wasser-Molekül ersetzt zwei Elektronen in den Photosystemen. Phototrophe Lebewesen mit einem Photosystem II werden deshalb auch als „oxygen“ (sauerstoffbildend) bezeichnet.

Die aus dem Photosystem II stammenden Elektronen werden vom PQ über einen Cytochrom-Komplex an Plastocyanin (PC) weitergegeben. Bei dieser Weitergabe wird außerdem pro Elektron ein H⁺ aus dem Stroma des Chloroplasten in den Thylakoidinnenraum transportiert.

Das Photosystem I nutzt wie das Photosystem II die von einem Lichtsammelkomplex absorbierte Lichtenergie, um Elektronen abzugeben, und zwar in diesem Fall an das Ferredoxin (Fd). Ersetzt werden die abgegebenen Elektronen aus dem Plastocyanin. Vom Ferredoxin werden die Elektronen auf die NADP⁺-Reduktase übertragen, wo NADP⁺ zu NADPH reduziert wird (siehe

auch Redoxreaktion, Reduktionsäquivalent).

Der Transport von H^+ -Ionen in den Thylakoidinnenraum bewirkt im Vergleich zum Chloroplasten-Stroma einen Protonen-Konzentrationsunterschied, der die ATP-Synthase antreibt, wodurch der Energieträger ATP gewonnen wird (= Photophosphorylierung).

In der Lichtreaktion mit nicht-zyklischem Elektronentransport wird also zweierlei gewonnen: eine Energiequelle in Form von ATP (Adenosintriphosphat) und ein Reduktionsmittel in Form von NADPH. Siehe dazu Bild 1. In diesem Bild stellt die Höhe, in der die Elektronen- bzw. Protonenüberträger angeordnet sind, die Höhe des Redoxpotentials dar.

Die Verwendung von Lichtsammelkomplexen mit verschiedenen Pigmenten hat zwei Vorteile: Erstens können je Zeiteinheit mehr Lichtquanten photochemisch genutzt werden, weil deren Energie in einem größeren Areal als dem Chlorophyll des Reaktionszentrums entspricht aufgefangen und zum Reaktionszentrum weitergeleitet wird. Zweitens kann dadurch, dass Pigmente mit verschiedenen Absorptionsspektren im Lichtsammelkomplex enthalten sind, Licht in mehr Wellenlängenbereichen als von Chlorophyll allein absorbiert und somit genutzt werden.

Zyklische Photophosphorylierung

Der zyklische Elektronentransport in der Lichtreaktion wird nur vom Photosystem I angetrieben. Dabei werden die Elektronen vom Ferredoxin (Fd) nicht an die $NADP^+$ -Reduktase weitergegeben, sondern zurück zum Plastochinon geführt, wodurch sie wiederum zum Photosystem I gelangen. Dadurch wird kein NADPH gebildet, sondern ausschließlich ATP. Da es sich dabei um einen Kreislauf handelt, heißt dieser Vorgang auch zyklische Photophosphorylierung

Sekundärreaktion (Lichtunabhängige)

In der Sekundärreaktion, auch als Dunkelreaktion oder Calvin-Zyklus (nach seinem Entdecker Melvin Calvin) bezeichnet, wird als erstes Kohlenstoffdioxid an eine durch den Organismus gebildete und als Akzeptor fungierende organische Verbindung gebunden. Die meisten Pflanzen mit oxygenen Photosynthese gehören dem "C3-Typ" an. Hier ist der primäre Akzeptor das 5 C-Atome enthaltende Ribulose-1,5-bisphosphat (RuBP) und das vermittelnde Enzym Ribulose-1,5-bisphosphat-Carboxylase/-Oxygenase (RubisCO). Bei C4-Pflanzen dient Phosphoenolpyruvat (PEP) als primärer CO_2 -Akzeptor, wobei das Enzym PEP-Carboxylase die Reaktion katalysiert, aber auch bei ihnen wird das CO_2 später über RubisCO in den Calvin-Zyklus eingeschleust.

Bei C3-Pflanzen zerfällt nach der CO_2 -Aufnahme das entstandene, aus 6 C-Atomen bestehende Molekül sofort in zwei Moleküle Phosphoglycerinsäure (3-Phosphoglycerat = Glycerinsäure-3-phosphat) mit je 3 C-Atomen. Diese Moleküle werden in mehreren Schritten mit NADPH als Reduktionsmittel zu Zucker reduziert. Die Energie für diese Reaktion wird vom ATP (Adenosintriphosphat) geliefert. Dabei wird aus ATP durch Abspaltung eines

Phosphatrestes wieder ADP (Adenosindiphosphat). In einem komplizierten, mehrstufigen Prozess werden aus 6 aufgenommenen CO₂-Molekülen und der RuBP 12 Moleküle Glycerinaldehyd-3-phosphat (G3P). 10 G3P-Moleküle bleiben im Zyklus und bilden unter erneuter Energielieferung durch ATP wieder die ursprünglich eingesetzten 6 Moleküle RuBP.

Aus 2 Molekülen wird rechnerisch ein Molekül Glucose (Traubenzucker) C₆H₁₂O₆ (siehe chemische Bruttogleichung oben, Schema der Einzelschritte im Artikel Calvin-Zyklus). Die Glucose wird jedoch nicht in freier Form gebildet. Für die Weiterverarbeitung gibt es zwei alternative Wege:

1. Aus dem Calvin-Zyklus wird Fructose-6-phosphat abgezweigt, das im Chloroplasten zu Stärke verarbeitet wird
2. Aus dem Calvin-Zyklus wird G3P abgezweigt, das über einen Phosphat-Translokator im Tausch gegen Phosphat in das Cytosol exportiert wird, wo es zu Saccharose weiterverarbeitet wird

Der Calvin-Zyklus ist auch bei einigen nicht phototrophen Lebewesen der Weg der Assimilation von CO₂, nämlich bei einigen chemoautotrophen Bakterien.

Wirkungsgrad und Effektivität

Für die Quantifizierung des Effekts der Photosynthese im Verhältnis zur aufgewendeten Energie gibt es verschiedene Größen

Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis der Zunahme des Energiegehalts bei der Synthese des Photosyntheseprodukts zu der für die Photosynthese aufgewendeten Lichtenergie, er ist also ein dimensionsloser Quotient (0 ... 1 oder 0 ... 100 %). Auch andere Größen für das Photosyntheseprodukt (z. B. Masse oder Stoffmenge) können zum Energieaufwand ins Verhältnis gesetzt werden. Die erhaltenen Größen bezeichnet man als Effektivität, deren Maßeinheit der gewählten Größe für das Photosyntheseprodukt entspricht (z. B. Gramm je Joule bzw. Mol je Joule)

Soll der primäre Effekt der Photosynthese eines Chloroplasten oder eines Mikroorganismus dargestellt werden, so wird der Energiegehalt (Maßeinheit Joule), die Masse (Maßeinheit Gramm) oder die Stoffmenge (Maßeinheit Mol) eines der ersten Syntheseprodukte, in der Regel Glucose (Traubenzucker), eingesetzt. Für Betrachtungen einer ganzen Pflanze, einer Pflanzengesellschaft, einer Mikroorganismenpopulation oder für globale Betrachtungen ist es günstig, die Masse der gesamten gebildeten Biotrockenmasse (oder des in ihr enthaltenen Kohlenstoffs) einzusetzen.

Effektivität

Der Effekt der Photosynthese kann auf verschiedene Energiegrößen (Maßeinheit Joule) bezogen werden, so dass es eine Reihe verschieden definierter Größen für die Effektivität gibt. Im Folgenden sind verwendete Energiegrößen aufgeführt:

1. Energie der Photonen, die für die Bereitstellung der erforderlichen Mengen an

Reduktionsäquivalenten (NADPH+H⁺) und ATP in den Photosystemen umgesetzt werden, also der tatsächlich photochemisch wirksamen Photonen

2. Energie der von den Photosystemen absorbierten Photonen, einschließlich der photochemisch nicht wirksamen

3. Energie des gesamten von Chloroplasten absorbierten Lichts

4. Energie des von Blättern absorbierten Lichts

5. Energie des auf einen Pflanzenbestand oder einer Mikroorganismenpopulation eingestrahlten Lichts

6. Energie des auf Teile oder die gesamte Oberfläche des Planeten Erde eingestrahlten Lichts

Bei den Größen 4 bis 6 kann entweder die Energie des gesamten Spektrums der Einstrahlung von der Sonne verwendet werden oder auch nur der Teil des Spektrums, der prinzipiell für die Photosynthese nutzbar ist. Bei Pflanzen und Algen wird - je nach Autor - teils der Wellenlängenbereich von 360 bis 720 nm angenommen, teils der von 360 bis 700 nm und teils der von 400 bis 700 nm. Man bezeichnet diesen Anteil der Strahlung als photosynthetisch nutzbare Strahlung (englisch „Photosynthetically Active Radiation“, Abkürzung „PAR“). Je nach angenommenem Wellenlängenbereich beträgt die Energie der PAR 40 bis 50 Prozent derjenigen der gesamten Einstrahlung.

22. PH Wert

Der pH-Wert ist ein Maß für die Stärke der sauren bzw. basischen Wirkung einer wässrigen Lösung. Als logarithmische Größe ist er durch den mit -1 multiplizierten Zehnerlogarithmus der Oxoniumionenkonzentration (genauer: der Oxoniumionenaktivität) definiert. Der Begriff leitet sich von pondus Hydrogenii oder potentia Hydrogenii (lat. pondus, n. = Gewicht; potentia, f. = Kraft; hydrogenium, n. = Wasserstoff) ab.

pH < 7 entspricht einer Lösung mit saurer Wirkung

pH = 7 entspricht einer neutralen Lösung

pH > 7 entspricht einer alkalischen Lösung (basische Wirkung)

Grundsätzlich gibt es zwei Wege den pH-Wert festzustellen

1. mit elektrischen Messgeräten (pH-Meter) kann man den pH-Wert ganz genau feststellen. Hierbei werden zwei bestimmte Typen von Elektroden (eine aus einem galvanischen und eine aus einem nichtgalvanischen Material) in eine saure bzw. basische Flüssigkeit eingetaucht. Somit entsteht eine galvanische Zelle, deren elektromotorische Kraft (d.h. die entstehende Spannung) gemessen wird

2. durch die Farbreaktionen eines Indikators kann man ungefähre Werte ablesen. Mit einem Universal-Indikator kann der pH-Wert zwar nur ungefähr, dafür aber vergleichsweise günstig, festgestellt werden. Dazu sind auf diesem verschiedene Chemikalien aufgebracht, die mit den H⁺- und OH⁻-Ionen reagieren und sich verfärben. Den pH-Wert ermittelt man aus dem Vergleich mit einer Farbskala. Es gibt auch Indikatoren für bestimmte pH-Bereiche.

Für die Farbgebung des Universal-Indikators werden verschiedene Stoffe verwendet, die sich bei jeweils unterschiedlichen pH-Werten verfärben. Dazu gehören etwa Lackmus (pH < 4,5 = Rot; pH > 8,3 = Blau), Phenolphthalein (pH < 8,2 = Farblos; pH > 10,0 = Pink), Methylorange (pH < 3,1 = Rot; pH > 4,4 = Gelb) und Bromthymolblau (pH < 6,0 = Gelb; pH > 7,6 = Blau)

Zusammenhang mit Säuren und Basen

Werden Säuren oder Basen in Wasser gelöst, geben diese durch die Dissoziation Wasserstoffionen ab und verändern dadurch den pH-Wert. Damit wird der pH-Wert zu einem Maß der Menge an Säuren und Basen in einer Lösung. Je nach Stärke der Säure oder Base dissoziiert sie zu einem größeren Anteil und verändert somit den pH-Wert drastischer.

In den meisten wässrigen Lösungen bewegen sich die pH-Werte zwischen 0 (stark sauer) und 14 (stark alkalisch), denn nahezu alle chemischen Reaktionen in wässriger Lösung laufen in diesem Bereich ab. Weiterhin verhalten sich die meisten pH-Elektroden in diesem Messbereich linear (d.h. der pH-Wert ist direkt proportional zur gemessenen Stromstärke), sodass gemäß internationaler Konvention pH-Werte normalerweise nur in diesem Bereich gemessen werden können. pH-Werte können allerdings - wie auch aus der Definition hervorgeht - bei sehr starken Basen durchaus größer als 14 und bei sehr starken Säuren

auch kleiner als 0 sein. Derzeit liegt der niedrigste natürlich je gemessene pH-Wert bei -3,6 (ein Pyritbergwerk in Kalifornien). Die pH-Skala wird nur begrenzt durch die Löslichkeiten von Säuren bzw. Basen in Wasser. Bei extremen pH-Werten darf nicht mehr mit Konzentrationen, sondern muss gemäß der Definition des pH-Werts mit Aktivitäten gerechnet werden, was jedoch wegen der Schwierigkeiten bei deren Berechnung meist nicht ohne weiteres möglich ist. Eine besondere Bedeutung haben Lösungen aus einer schwachen Säure mit einem ihrer Salze bei einem pH-Wert, der nah am Wert ihrer Säurekonstanten liegt. Solche Lösungen heißen Pufferlösung. Ihr pH-Wert ändert sich bei Zugabe von Säuren und Basen nur sehr geringfügig, solange, bis die Pufferkapazität erreicht ist. Das Gleiche gilt analog für schwache Basen mit ihren Salzen und ihrer Basenkonstante.

Lässt man Wasser an der Luft stehen, erfolgt die Aufnahme von Kohlenstoffdioxid, das in Wasser geringfügig löslich ist. Es bildet sich die sogenannte Kohlensäure:

Ein pH-Wert von etwa 5 stellt sich ein. Dieser pH-Wert gilt als dermatologisch

Die Auswirkung des pH-Wertes auf das Wachstum von Pflanzen

Grundsätzlich beeinflusst der pH-Wert des Bodens die Verfügbarkeit der Nährsalze (zum Beispiel Eisenmangel bei neutralem und alkalischem pH-Wert). Zudem schädigen extreme pH-Werte die Pflanzenorgane (saurer Regen, Verätzungen)

Für den Nährstoffhaushalt von Pflanzen ist (neben Phosphor, Schwefel und Kali) Stickstoff von besonderer Bedeutung. Stickstoff wird fast immer in Form von wasserlöslichem Ammonium (NH_4^+ Ionen) oder häufiger als Nitrat (NO_3^- Ionen) aufgenommen. Ammonium und Nitrat stehen in Böden mit einem pH-Wert von 7 im Gleichgewicht. Bei sauren Böden überwiegen die NH_4^+ Ionen, bei alkalischen Böden überwiegen die NO_3^- Ionen

Wenn nun eine Pflanze aufgrund der Durchlässigkeit der Wurzelmembranen nur NH_4^+ aufnehmen kann, ist sie an saure Böden gebunden und dementsprechend obligat acidophil (säureliebend). Wenn sie nur Nitrat NO_3^- aufnehmen kann, kann sie nur auf basenreichen Böden wachsen (obligat basophil). Wenn sie jedoch sowohl Ammonium, als auch Nitrat aufnehmen kann, kann sie sowohl auf sauren als auch auf basenreichen Böden wachsen. In Mineraldüngern wird Ammoniumnitrat (NH_4NO_3) verwendet, ein Salz aus Ammonium- und Nitrat-Ionen.

Bei übermäßig hohem oder niedrigem pH-Wert sind die Nährstoffe im Boden festgelegt und stehen somit für die Pflanzen nur noch unzureichend zur Verfügung. Außerdem werden bei einem sehr niedrigen pH-Wert für Pflanzen giftige Stoffe des Bodens freigesetzt. Dazu gehören Aluminium- und Mangan-Ionen.

Die Bedeutung des pH-Wertes beim Menschen. Ein Beispiel

Auch bei der menschlichen Fortpflanzung hat der pH-Wert eine entscheidende Bedeutung. Während das Scheidenmilieu zur Abwehr von Krankheitserregern sauer ist, hat das Spermium des Mannes einen basischen pH-Wert. Die beim

Geschlechtsakt einsetzende Neutralisationsreaktion führt zu einem optimalen Milieu zur Bewegung der Spermien. Somit handelt es sich beim pH-Wert um keine abstrakte Größe, sondern um eine existenzielle „Größe“.

Auch die Haut des Menschen ist leicht sauer (pH-Wert 5,5). Dieser Säuremantel ist ein Schutz vor Krankheitserregern. Seifen, welche normalerweise basisch sind, „trocknen“ somit die Haut aus, weil sie die Säureschicht zerstören. Eine „pH-hautneutrale“ Seife hat deswegen keinen neutralen pH-Wert, sondern einen leicht sauren.

23. Proteine

Proteine, umgangssprachlich auch Eiweiße genannt, sind Makromoleküle, die hauptsächlich aus den Elementen Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und - seltener - Schwefel aufgebaut sind. Proteine gehören zu den Grundbausteinen aller Zellen. Sie verleihen der Zelle nicht nur Struktur, sondern sind die molekularen „Maschinen“, die Stoffe transportieren, Ionen pumpen, chemische Reaktionen katalysieren und Signalstoffe erkennen.

Bausteine der Proteine sind die proteinogenen (das heißt: proteinaufbauenden) Aminosäuren, die durch Peptidbindungen zu Ketten verbunden sind. Beim Menschen handelt es sich um 21 verschiedene Aminosäuren: die 20 seit langem bekannten sowie Selenocystein. Die Länge der Aminosäureketten reicht von 2 bis über 1000 Aminosäuren, wobei man eigentlich Aminosäureketten mit einer Länge von 2 bis 100 Aminosäuren als Peptide bezeichnet und erst bei einer Aminosäurenanzahl von mehr als 100 von Proteinen spricht. Die molekulare Größe eines Proteins wird in der Regel in Kilo-Dalton (kDa) angegeben. Titin, das mit ca. 3600 kDa größte bekannte menschliche Protein, besteht aus über 30.000 Aminosäuren und beinhaltet 320 Proteindomänen. Die Kombinationsmöglichkeiten sind hierbei gigantisch. Aus 21 verschiedenen Aminosäuren ergibt sich schon bei einer Kettenlänge von 100 die unvorstellbare Zahl von 21100 bzw. 10132 Verknüpfungsmöglichkeiten. Diese Zahl übersteigt die Anzahl aller Atome des Universums („nur“ $6 \cdot 10^{79}$ Teilchen) um das 1052-fache. Daraus folgt auch direkt, dass es unmöglich ist, diese Kombinationen jemals komplett durchzuprobieren. Die Zusammensetzung eines Proteins, und damit sein Aufbau, ist in dem jeweiligen Gen kodiert.

Das Wort Protein wurde 1838 von Jöns Jakob Berzelius von dem griechischen Wort proteuo („ich nehme den ersten Platz ein“, von protos, „erstes“, „wichtigstes“) abgeleitet. Es soll die Bedeutung der Proteine für das Leben unterstreichen.

Aufgaben der Proteine im Organismus

Als Beispiele seien genannt:

- 1) Als Strukturproteine bestimmen sie den Aufbau der Zelle und damit letztlich die Beschaffenheit von Geweben, beispielsweise der Haarstruktur, und den gesamten Körperaufbau
- 2) Als Enzyme übernehmen sie Biokatalysefunktionen. Sie ermöglichen oder verhindern durch Beschleunigen oder Verlangsamen chemische Reaktionen in Lebewesen
- 3) Als Ionenkanäle regulieren sie die Ionenkonzentration in der Zelle, und damit deren osmotische Homöostase sowie die Erregbarkeit von Nerven und Muskeln
- 4) In den Muskeln verändern bestimmte Proteine ihre Form und sorgen so für die Kontraktion der Muskeln und damit für Bewegung
- 5) Als Transportproteine übernehmen sie den Transport körperwichtiger Substanzen wie z. B. Hämoglobin, das im Blut für den Sauerstofftransport zuständig ist, oder Transferrin, das Eisen in unserem Blut transportiert
- 6) Manche (meist kleinere Proteine) steuern als Hormone Vorgänge im Körper
- 7) Als Antikörper dienen sie der Infektionsabwehr

Mutationen in einem Gen verursachen Veränderungen im Aufbau des Proteins, das durch das Gen kodiert wird. Die Folge können Fehler in der Proteinaktivität sein. Solche Fehler (oder der gänzliche Wegfall einer Proteinaktivität) liegen vielen erblichen Krankheiten zugrunde.

Man unterscheidet zwei Hauptgruppen von Proteinen:

a) die globulären Proteine, deren Tertiär- oder Quartärstruktur annähernd kugel- oder birnenförmig aussieht und die meist in Wasser oder Salzlösungen gut löslich sind (beispielsweise das Protein des Eiklars, Ov-Albumin genannt)

b) die fibrillären Proteine, die eine fadenförmige oder faserige Struktur besitzen, meist unlöslich sind und zu den Stütz- und Gerüstsubstanzen gehören (beispielsweise die Keratine in den Haaren und Fingernägeln, Kollagen, Actin und Myosin für die Muskelkontraktion)

Denaturierung

Sowohl durch chemische Einflüsse, wie zum Beispiel Säuren, Salze oder organische Lösungsmittel, als auch durch physikalische Einwirkungen, wie hohe oder tiefe Temperaturen oder auch Druck, können sich die Sekundär- und Tertiärstruktur und damit auch die Quartärstruktur von Proteinen ändern, ohne dass sich die Reihenfolge der Aminosäuren (Primärstruktur) ändert. Dieser Vorgang heißt Denaturierung und ist in der Regel nicht umkehrbar; der ursprüngliche dreidimensionale räumliche Aufbau kann nicht wiederhergestellt werden. Bekanntestes Beispiel dafür ist das Eiweiß im Hühnerei, das beim Kochen fest wird, weil sich der räumliche Aufbau der Proteinmoleküle geändert hat. Der ursprüngliche flüssige Zustand kann nicht mehr hergestellt werden. Das Wiederherstellen des ursprünglichen Zustandes des denaturierten Proteins heißt Renaturieren.

Menschen denaturieren ihre Speisen, um sie leichter verdaulich zu machen. Durch die Denaturierung ändern sich die physikalischen und physiologischen Eigenschaften der Proteine, wie z. B. beim Spiegelei, das in der Pfanne denaturiert wird. Hohes Fieber kann daher lebensgefährlich werden: Durch eine zu hohe Temperatur werden körpereigene Proteine denaturiert und können somit ihre Aufgaben im Organismus nicht mehr erfüllen. Einige Proteine der roten Blutkörperchen denaturieren beispielsweise bereits bei 42 °C. Dabei ist das Fieber wichtig da Fremdkörper, sogenannte Antigene, schon bei geringeren Temperaturen denaturieren.

Die bei chemischer Spaltung der Proteinketten (Proteolyse) entstehenden Teilstücke nennt man Peptone.

Eiweißmangel

Eiweiß hat eine große Anzahl von Aufgaben in unserem Körper. Ein erwachsener Mensch benötigt etwa 1 Gramm Eiweiß pro Kilogramm Körpergewicht am Tag. Es dient zum Aufbau und zum Erhalt der Körperzellen, auch zur Heilung von Wunden und Krankheiten.

Ein Mangel kann schlimme Folgen haben:

a) Haarausfall (Haare bestehen zu 97-100% aus Proteinen - Keratin)

b) Antriebsarmut

c) Im schlimmsten Fall kommt es zur Eiweißmangelkrankheit Kwashiorkor. Menschen (meist Kinder), die an Kwashiorkor leiden, erkennt man an ihren dicken Bäuchen. Der Organismus versucht durch Wasser den Eiweißmangel abzudecken, sodass sich das Wasser nach einiger Zeit im Körper ablagert (Ödem). Weitere Symptome sind:

- Muskelschwäche
- Wachstumsstörungen
- Fettleber
- Ödeme

d) Andauernder Eiweißmangel führt zum Marasmus und zum Tod

Proteinbiosynthese

Mit der Nahrung nehmen wir Proteine auf. Bei unserer Verdauung werden diese Proteine in ihre Bestandteile zerlegt - die Aminosäuren. Auf acht Aminosäuren (von 21, die insgesamt benötigt werden) ist der menschliche Organismus besonders angewiesen, denn sie sind essenziell, das bedeutet, dass der Körper sie nicht selbst herstellen kann. Mit dem Stoffwechsel werden sie in jede Zelle transportiert. Die Aminosäuresequenz ist in der Desoxyribonukleinsäure (DNA) kodiert. In den Ribosomen, der "Proteinproduktionsmaschinerie" der Zelle, wird diese Information verwendet, um aus einzelnen Aminosäuren ein Proteinmolekül zusammzusetzen, wobei die Aminosäuren in einer ganz bestimmten, von der DNA vorgegebenen Reihenfolge verknüpft werden.

24. Sauerstoff

Sauerstoff (auch Oxygenium; von griech. oxýs „scharf, spitz, sauer“ und genes „erzeugen“) ist ein chemisches Element im Periodensystem der Elemente mit dem Symbol O und der Ordnungszahl 8. Atomarer Sauerstoff, das heißt Sauerstoff in Form freier, einzelner Sauerstoffatome, kommt in der Natur nur vereinzelt im Vakuum des Weltalls oder in heißen Sternatmosphären vor. Elementar tritt Sauerstoff überwiegend in Form eines kovalenten Homodimers, einer chemischen Verbindung aus zwei Sauerstoff-Atomen, auf (molekularer Sauerstoff, auch Dioxygen, Disauerstoff, Summenformel O₂). Die weniger stabile, energiereiche und reaktive allotrope Form aus drei Sauerstoffatomen (O₃) wird Ozon genannt. Eine weitere erforschte allotrope Form von Sauerstoff ist O₄, das bei hohem Druck (20 GPa) als roter Feststoff entsteht. Flüssiger elementarer Sauerstoff O₂ wird in der Raketentechnik als Oxidationsmittel verwendet und mit LOX (liquid oxygen) abgekürzt. Fast alle Lebewesen brauchen Sauerstoff um zu überleben. Sie entnehmen ihn meistens durch Atmung aus der Luft, die zu 21 % aus Sauerstoff besteht, oder durch Resorption aus Wasser.

Der Sauerstoff wurde 1772 von Carl Wilhelm Scheele und 1774 von Joseph Priestley unabhängig voneinander entdeckt.

Eigenschaften

Molekularer Sauerstoff ist ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas, welches bei tiefen Temperaturen zu einer farblosen, in dicken Schichten bläulichen Flüssigkeit kondensiert. Sauerstoff ist in Wasser wenig löslich (49,1 ml in 1 l Wasser bei 0 °C). Die Löslichkeit ist auch abhängig vom Druck (14,16 mg/l bei 0 °C und bei 1013,25 hPa). Sie steigt mit abnehmender Temperatur und zunehmendem Druck.

Das Sauerstoff-Atom hat im Grundzustand sechs Valenzelektronen auf dem zweiten Hauptenergieniveau. Die zwölf Valenzelektronen eines O₂-Sauerstoffmoleküls werden auf die vier bindenden (σ_s , σ_x , π_y , und π_z) und drei der vier antibindenden Molekülorbitale (σ_s^* , π_y^* , π_z^*) verteilt. Da zwei antibindende Orbitale mit nur einem Elektron besetzt sind (eine „halbe Bindung“), resultiert eine Doppelbindung. Durch diese Elektronenverteilung lässt sich der Paramagnetismus und der radikalische Charakter des Sauerstoffs erklären.

Eine korrekte Strukturformel für O₂ lässt sich nicht angeben. <O=O> bringt den Doppelbindungscharakter zum Ausdruck, ignoriert aber sowohl die besetzten antibindenden Orbitale als auch den Radikalcharakter. Die Schreibweise $\cdot\ddot{O}-\ddot{O}\cdot$ wird gern verwendet, um die biradikalischen Eigenschaften hervorzuheben.

Singulett- und Triplett-Sauerstoff

Im Sauerstoff-Molekül sind zwei ungepaarte Elektronen vorhanden, deren Spin entweder gleich (Triplett-Sauerstoff (O₂(³Σ_g⁻)) oder entgegengesetzt (Singulett-Sauerstoff O₂(¹Δ_{g)) gerichtet ist. Dabei ist der Triplett-Zustand energieärmer (Hundsche Regel). Die Änderung des elektronischen Zustands kann nur auf photochemischem Weg oder durch Kollision erfolgen.}

Sauerstoff-Ionen

Von Sauerstoff sind folgende Radikationen bekannt: Dioxygenyl O_2^+ , Hyperoxid (veraltet: Superoxid) O_2^- (Oxidationsstufe 1/2) und Ozonid O_3^- (Oxidationsstufe 1/3). Closed-shell-Ionen sind das Oxid O_2^- sowie das Peroxid O_2^2

Medizinische Eigenschaften

Medizinischer Sauerstoff unterliegt aufgrund gesetzlicher Regelungen einer strengen Kontrolle. Er zählt als Medikament.

Drohender oder tatsächlicher Sauerstoffmangel ist häufig das zentrale Problem bei einem medizinischen Notfall. Daher wird fast jedem Notfallpatienten vom Rettungsdienst / Notarzt Sauerstoff angeboten. Über verschiedene Sonden und Masken wird eine Anreicherung der Einatemluft eines Patienten mit Sauerstoff erreicht. Im Falle eines Atemstillstandes wird der Patient mit sauerstoffangereicherter Luft beatmet.

Neben dem messbaren Effekt der Sauerstoffanreicherung im Blut und damit auch im Gewebe hat die Sauerstoffgabe meist einen nicht zu vernachlässigenden positiv-psychischen Effekt auf den Patienten.

Vorsicht ist bei der Sauerstoffgabe geboten, wenn der Patient an einer mit Ateminsuffizienz einhergehenden Lungenerkrankung leidet: wegen überhöhten Kohlendioxidgehaltes im Blut erfolgt die Atemsteuerung hier ausnahmsweise über den Sauerstoffgehalt im Blut; ein plötzliches Überangebot an Sauerstoff kann hier zu einem Atemstillstand führen.

Die Inhalation von 100 % Sauerstoff über eine Hochkonzentrationsmaske (7–15 l/min über 15–20 min.) ist das Mittel der ersten Wahl zur Akutbehandlung von Cluster-Kopfschmerz.

Chemische Eigenschaften von Sauerstoff

Die bekannteste chemische Reaktion ist die Oxidation. Sauerstoff fehlen zwei Elektronen, um seine äußere Schale aufzufüllen und somit einen besonders energiearmen Zustand zu erreichen. Daher und aufgrund seiner hohen Elektronegativität reagiert er heftig mit Stoffen, die ihn leicht mit zwei Elektronen versorgen können, z. B. Wasserstoff, Calcium, Magnesium, Alkalimetallen oder auch Silicium, Kohlenstoff und Aluminium. Kaum reagiert er deshalb mit Halogenen wie Chlor.

Isotope

Das häufigste stabile Sauerstoffisotop ist ^{16}O (99,76 %), daneben kommt noch ^{18}O (0,20 %) sowie ^{17}O (0,037 %) vor. Das Anteilsverhältnis von ^{16}O und ^{18}O in Eisbohrkernen kann zur Schätzung der Durchschnittstemperatur früherer Zeiten dienen, da Wassermoleküle mit dem leichteren ^{16}O schneller verdunsten. Eisschichten mit einem höheren relativen Anteil an ^{18}O müssen demnach aus wärmeren Zeiten stammen, da nur bei der starken Verdunstung wärmerer Perioden vermehrt ^{18}O Isotope mit zur Wolkenbildung beitragen. Je wärmer die globale Temperatur, desto weiter können auch diese mit schweren Sauerstoffisotopen beladene Wolken in die Polarregionen vordringen ohne

bereits vorher abzuregen. In kälteren Perioden findet man dahingegen mehr ^{18}O Isotope in Meeressedimenten. Meereis besteht hauptsächlich aus den leichteren Wassermolekülen aus ^{16}O Isotopen. Kommt es nun in einer Kaltphase zu einer starken Neubildung von Meereis, bleibt vermehrt Meerwasser aus ^{18}O Isotopen zurück, welches durch die permanente Einlagerung von Sauerstoff in die Kalkschalen der Meerestiere (CaCO_3) verstärkt in Sedimentschichten dieser Zeit nachweisbar ist. Auch gibt es regionale Unterschiede in der ^{18}O -Anreicherung in Organismen nach Art ihrer Trinkwasserquelle.

Verbindungen

Sauerstoff bildet mit fast allen Elementen – außer mit den Edelgasen Helium, Neon, Argon und Krypton und Edelmetallen wie Platin und Gold – Verbindungen. Da Sauerstoff sehr elektronegativer ist, kommt Sauerstoff in fast allen Verbindungen in den Oxidationsstufen $-II$ und (selten) $-I$ vor. Ausnahmen sind Verbindungen mit dem noch elektronegativeren Element Fluor mit dem es Verbindungen mit der Oxidationsstufe $+I$ (O_2F_2) und $+II$ (OF_2) bildet. Da bei ihnen die negative Polarisierung beim Fluor vorliegt, werden diese nicht als Oxide, sondern als Fluoride bezeichnet. Sauerstoff bildet abhängig vom Bindungspartner sowohl ionisch als auch kovalent aufgebaute Verbindungen.

Biologische Bedeutung

Sauerstoff wird von autotrophen Lebewesen wie Cyanobakterien, Algen und Pflanzen bei der oxygenen Photosynthese aus Wasser freigesetzt. Die Cyanobakterien (veraltet auch als Blaualgen bezeichnet) waren vermutlich dabei die ersten Organismen, die molekularen Sauerstoff als ihr Abfallprodukt in der Atmosphäre anreicherten. Heterotrophe Organismen - also auch der Mensch - benötigen heute diesen Sauerstoff in Form von O_2 hauptsächlich zur Energiegewinnung durch Oxidation. Er fungiert dabei wie in einer normalen Redoxreaktion als Elektronenakzeptor, wobei er sich wieder mit Wasserstoff zu Wasser verbindet. Sie läuft im Rahmen der Atmungskette bei den Eukaryoten in den Mitochondrien ab.

Unter den Mikroben gibt es sowohl aerob und als auch anaerob lebende Mikroorganismen. Anaerobier nutzen andere Elektronenakzeptoren, zu denen auch Sauerstoffverbindungen wie Nitrate oder Sulfate gehören.

Die starke Reaktivität des Sauerstoffs kann Zellstrukturen zerstören und macht Schutzenzyme notwendig. Daher ist Sauerstoff für einige Organismen toxisch und wird nicht zuletzt für bestimmte Alterungseffekte beim Menschen verantwortlich gemacht.

Weitere Probleme:

- a) Atmung von reinem Sauerstoff oder höherer Anteile über längere Zeit - Lorraine-Smith-Effekt
- b) Atmung bei Hochdruck (Sauerstoffvergiftung)

Nachweis und Konzentrationsmessung

Sauerstoff kann dadurch nachgewiesen werden, dass er Verbrennungen unterhält. Am einfachsten ist die sogenannte Glimmspanprobe, bei der ein leicht glühender Holzspan in das zu untersuchende Gasgemisch gehalten wird, ein

Aufleuchten weist auf hohe Sauerstoffkonzentrationen hin.

Zur genaueren Bestimmung der Sauerstoffkonzentration eines Gases finden unterschiedliche Messverfahren Anwendung, die von dem jeweils zu erfassenden Konzentrationsbereich sowie den begleitenden Substanzen abhängen. Man kann physikalische und chemische Messverfahren unterscheiden.

Zu den physikalischen Messverfahren zählt das paramagnetische Verfahren (Magnos). Es geht von der Tatsache aus, dass die Sauerstoffmoleküle auf Grund ihres permanenten magnetischen Dipolmoments paramagnetisch sind, alle anderen Gase mit geringen Ausnahmen diamagnetisch sind. Bei der messtechnischen Realisierung in sog. thermomagnetischen Geräten wird das Messgas der Wirkung eines Magnetfeldes und anschließend in einem Teilstrom einem Temperaturfeld ausgesetzt. Es entsteht in der Messzelle eine Gasströmung, der sog. „magnetische Wind“. Die Geräte können auch für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen ausgebildet werden.

Ein weit verbreitetes elektrochemisches Messverfahren nutzt die Sauerstoffleitfähigkeit von Zirkondioxid aus. Leitet man das sauerstoffhaltige Messgas beispielsweise durch ein auf über 700 °C erhitztes Zirkondioxid-Röhrchen, das innen und außen Elektroden trägt und außen der Umgebungsluft ausgesetzt ist, dann entsteht an den Elektroden eine elektrische Spannung, die nach dem Nernstschen Gesetz von der absoluten Elektrodentemperatur und dem Verhältnis der Sauerstoffpartialdrücke an den beiden Elektroden abhängt. Der Sauerstoffpartialdruck der Luft dient hierbei als bekannte und konstante Vergleichsgröße.

Bevorzugte Anwendungen sind Rauchgasmesssonden und die in den Kraftfahrzeugen verwendeten Lambda-Sonden

Mit Hilfe von Zirkondioxid-Sensoren können ohne Probleme einerseits Sauerstoffpartialdrücke im ppm-Bereich (parts per million) und andererseits bei hohen Temperaturen (ca. 1.500 °C) gemessen werden.

25. Sauerstoffverwertung

Die Bedeutung der Sauerstoffverwertung

Die atmosphärische Luft enthält ca. 21% Sauerstoff mit nur geringen Abweichungen. Der menschliche Organismus nutzt davon nur etwa ein 1/4 – 3/4 werden somit ungenutzt wieder ausgeatmet. Trotz geänderter Umgebungsbedingungen (z.B. Luftdruckdifferenz bei Höhenunterschieden bis 2500 m) bleibt die Sauerstoff-Sättigung der Erythrozyten relativ konstant. Erkrankte und gestörte Zellen können jedoch das reichhaltige Sauerstoff-Angebot des Blutes nicht ausreichend nutzen.

Bedeutung des Sauerstoffs in Zellen

Die fortwährende Sauerstoffaufnahme über die Atmung und der Transport aus den Alveolen bis letztendlich in die Mitochondrien hinein ermöglicht die Energieproduktion als Voraussetzung aller physiologisch-zellulärer Vorgänge. In 24 Stunden veratmet der Mensch mindestens 400 Volumenliter Sauerstoff in Ruhe – unter Belastung steigt der Sauerstoffverbrauch auf ein Vielfaches an. Die Qualität der Sauerstoffutilisation ist entscheidend für gesunde Zellfunktionen und regenerative Prozesse.

Zur Biochemie und Physiologie des Sauerstoffs

Sauerstoff ist in der Luft in seinem reaktionsträgen Grundzustand. In diesem Triplett-Grundzustand ist er ein Bi-Radikal: auf den beiden höchsten Energieniveaus befindet sich jeweils nur ein einzelnes (ungepaartes) Elektron. Diese sind spinparallel (gleiche Drehrichtung) und existieren daher nicht auf einem gemeinsamen Niveau. Sauerstoff kann im Grund-Zustand keine spontanen Reaktionen und Verbindungen mit anderen Elementen und Biomolekülen eingehen. Der Körper muss somit den Sauerstoff zur richtigen Zeit, am richtigen Ort in der richtigen Menge in einen reaktionsfähigen Zustand bringen. Im Parenchym und Blut ist die fortwährende Bildung des Singulett-Zustands des Sauerstoffs bekannt.

Im Singulett-Zustand kommt es zu einer Spinumkehr eines Elektrons und einem „Sprung“ auf das höhere Energieniveau. Folglich existieren beide Elektronen, paarig mit antiparallelen Spins.

Freie Radikale / ROS

Singulett-Sauerstoff zählt zu den ASS/ROS (Aktivierten Sauerstoff Spezies / Reaktive Oxygen Spezies), ist aber kein Radikal – er hat kein ungepaartes Elektron.

Eine Seite des Sauerstoffs zeigt sich in aktivem/reaktivem Zustand bei der übermäßigen Bildung angeregter Zustände (ASS: z.B. $^1\text{O}_2$, H_2O_2) und Sauerstoffradikale (z.B. O^{\bullet}_2 , $\text{O}^{2\bullet}_2$, $^{\bullet}\text{OH}_2$, HO^{\bullet}). Beide ermöglichen einerseits biologisch-chemische Reaktionen, stören und zerstören andererseits Moleküle und Strukturen, wenn die Bildung von ASS und Radikalen nicht ausreichend

neutralisiert werden können. Die daraus resultierenden Radikalkettenreaktionen (Oxidativer Stress) führen zu Stoffwechselbelastungen, Funktionsstörungen und in letzter Konsequenz zu Mutationen und Deletionen an RNA und DNA. Aus zwei bis zehn Prozent des in Zellen genutzten Sauerstoffs bilden sich natürlicher Weise Sauerstoffradikale oder ASS auch außerhalb der Atmungskette, die physiologisch benötigt und meist durch spezielle Enzyme inaktiviert werden können. „Zwingt“ man vermehrt O_2 in Zellen – wie z.B. mit der Hyperbaren Oxygenation (HBO) – kommt es zu erhöhter Radikal- und ASS-Bildung. Über die Gentoxizität entsprechender Therapien wurden bereits Studien im Internet veröffentlicht.

Sauerstofftransport und aktive Regulierung der Sauerstoffaufnahme

Allgemein wird angenommen, dass Sauerstoff per Diffusion in den Körper transportiert wird. Treibende Kräfte dafür seien die Sauerstoffkonzentration und der Luftdruck. Stickstoff, N_2 , mit einem deutlich höheren Anteil von 78% in der Luft gelangt aber nicht aus der Luft ins Blut! Es besteht offenbar eine selektive Aufnahme von Gasen über die Lunge. „Zusätzlich“ zu der gängigen Vorstellung des Sauerstofftransports verfügt der Körper über eine aktive Regulierung der Sauerstoffaufnahme. Es müssen in Zellmembranen Oxyporine oder deren Funktion entsprechende Möglichkeiten existieren. Das verdeutlichen folgende Fakten:

- „Die auffälligste Funktion einer biologischen Membran ist also die einer isolierenden Barriere“¹. „Die allgemeine Funktion von Membranen besteht darin, als Permeabilitätsbarriere für Zellen und Zellorganellen zu dienen“².
- Sauerstoff ist hydrophob³, die Alveolen sind mit einem feinsten Feuchtfilm überzogen, dem Surfactant⁴.
- Sauerstoff ist nur mäßig diffusibel, er verteilt sich nicht einfach gleichmäßig in den Alveolen zum Alveolarepithel hin.
- Sauerstoff ist relativ reaktionsträge, besonders im Gegensatz zu den aktivierten Sauerstoffarten.
- Die Sauerstoffkonzentration im Blutplasma sowohl in den Alveolar-Kapillaren als auch in der Peripherie liegt deutlich unter den Erythrozyten- und Parenchymzell-Sauerstoffkonzentrationen. Sauerstofftransport funktioniert also unabhängig von, oder auch dem Konzentrationsgefälle entgegen!

Die physikalischen, chemischen und anatomischen Gegebenheiten zeigen, dass ungünstige Voraussetzungen bestehen, damit Sauerstoff in die Erythrozyten gelangen kann, welche in nur 0,3 bis 1,5 Sekunden in den Kapillaren an den Alveolen vorbeiströmen. Auch der relativ kurze Transitweg zwischen alveolärem Raum und Erythrozyten erklärt den Sauerstofftransport nicht ausreichend. Trotzdem gelangt Sauerstoff fraglos aus den Alveolen in die Erythrozyten.

¹ Biochemie der Ernährung, wie vorher, S. 11

² Biophysik, S. 439, zweite Auflage 1982, Hrsg. W. Hoppe, W. Lohmann, H. Markl, H. Ziegler, Springer Verlag

³ wie zuvor, S. 370

⁴ Physiologie des Menschen, S 578, 23. Auflage 1987, R.F. Schmidt, G. Thewes (Hrsg.) Springer-Verlag

Die Bindung des Sauerstoffs an das Hämoglobin gibt ebenfalls noch viel zu erforschen auf: Ein Erythrozyt hat im Durchschnitt nur ein Viertel des transportierten Sauerstoffs in der Peripherie an das Parenchym abgegeben. Er beinhaltet zwei Millionen Hämoglobin-Moleküle. Ein Hämoglobin-Molekül besteht aus vier Hämgruppen die jeweils aus 2500 Atomen aufgebaut sind und ein zentrales Eisenatom besitzen das ein Sauerstoff-Molekül transportiert. Er kann also in der Alveolarkapillare zwei Millionen Sauerstoff-Moleküle innerhalb von 0,3 bis 1,5 Sekunden aufnehmen, die ein Eisenatom „finden“ oder von diesem „angezogen“ werden müssen.

Weiterhin: Sauerstoff löst sich nur schlecht in wässriger Lösung. Das Problem besteht bei der Lösung in den Surfactant und wiederum im Blutplasma, durch die er physikalisch gelöst, also nicht chemisch gebunden, von den Blut-Kapillarzellen zur Erythrozytenmembran gelangen muss.

Da gängige Sauerstofftherapien mit erhöhter Sauerstoffzufuhr zur Prävention und zur Behandlung chronischer Erkrankungen unter anderem auf Vorstellungen des Diffusionstransports basieren, sollten sie kritisch und unvoreingenommen überdacht werden.

Sauerstoffpermeation mit Hilfe der Sauerstoffaktivierung

In pflanzlichen und tierischen Zellen, also auch im menschlichen Körper, wird Singulett-Sauerstoffs gebildet, um die Sauerstoffpermeation und Verbindungen mit anderen Molekülen zu ermöglichen. In anderer Weise werden z.B. von einigen Leukozytenarten hohe Singulett-Sauerstoff-Konzentrationen gebildet, die der Zerstörung von Bakterien oder Viren dienen. Der Körper „kennt“ und nutzt die Besonderheiten des Singulett-Sauerstoffs ($^1\text{O}_2$), der unter natürlichen Bedingungen in seinen Triplett-Grundzustand ($^3\text{O}_2$) „zurückfällt“.

⁵ Some physiological effect of breathing singlet oxygen activated air. An experimental pilot study with ergospirometry, E. Rauhala, E. Sammaljärvi, Helsinki, 1995

⁶ Harmful Singlet-Oxygen can be helpful, Veröffentlichung in Free Radical Biology & Medicine, Vol. 27, Nos. 11/12 pp, 1203-1207, 1999

26. **Selbstregulierung**

Der Begriff Selbstregulation hat in verschiedenen theoretischen und praktischen Zusammenhängen eine unterschiedliche Bedeutung.

In der Systemtheorie und Kybernetik bezeichnet Selbstregulation oder Homöostase (griechisch $\acute{\omicron}\mu\omicron\iota\omicron\sigma\tau\acute{\alpha}\sigma\eta$ - Gleich-Stand) die Fähigkeit eines Systems, sich durch Rückkopplung selbst innerhalb gewisser Grenzen in einem stabilen Zustand zu halten. Der Begriff wurde 1929 von Walter Cannon eingeführt. In diesem Sinne wird der Begriff in zahlreichen wissenschaftlichen Disziplinen verwendet, deren Gegenstand Systeme sind, so z.B. in der Physik, Biologie, in den Wirtschaftswissenschaften, der Soziologie oder der Psychologie.

Die Existenz selbstregulierender Funktionen kann den Fortbestand eines Systems sichern, welches sich sonst zum Beispiel durch ungehemmtes Wachstum, Überstrukturierung und nicht mehr beherrschbare (selbsterzeugte) Komplexität überfordern würde.

Francisco Varela und Humberto R. Maturana haben dafür plädiert, den Begriff Homöostase durch den Begriff Homöodynamik zu ersetzen, da die Stasis einen Stillstand und damit den Tod eines (selbstregulierenden) Systems bezeichnen würde. Ihre Bemühungen waren nur teilweise von Erfolg gekrönt, so dass nun beide Begriffe in der Literatur nebeneinander existieren.

Selbstregulation ist ein grundlegendes Funktionsprinzip lebender Organismen. Sie findet z.B. in der Physiologie des menschlichen Körpers fortlaufend statt, meist bei Veränderung statischer Zustände und von uns unbemerkt. Beispiele sind:

- a) Anstieg von Blutdruck und Herzfrequenz beim Wechsel von liegender in stehende Position
- b) Vermehrte Atmung bei körperlicher Anstrengung, um dem Körper mehr Sauerstoff zuzuführen
- c) Bei Hypoglykämie (Unterzuckerung) setzt der Körper drastische Selbstregulationsmechanismen in Kraft (z.B. extremes Schwitzen), um die Glukosekonzentration aufrecht zu erhalten und einen drohenden hypoglykämischen Schock zu verhindern

In der Psychologie bezeichnet der Begriff Selbstregulation Vorgänge, die mit der Steuerung der eigenen Person in ihrer Umwelt in Zusammenhang stehen.

In der Psychologie bezeichnet man mit dem Begriff Selbstregulation diejenigen bewussten und unbewussten psychischen Vorgänge, mit denen Menschen ihre Aufmerksamkeit, Emotionen, Impulse und Handlungen steuern. Selbstregulation umfasst u.a. den mentalen Umgang mit Gefühlen und Stimmungen (s. Emotionsregulation) und die Fähigkeiten, Absichten durch zielgerichtetes und realitätsgerechtes Handeln zu verwirklichen (s. Selbstwirksamkeit) sowie kurzfristige Befriedigungswünsche längerfristigen Zielen unterzuordnen (s. Selbstdisziplin, Selbstkontrolle). Gut aus geprägte Fähigkeiten zur Selbstregulation setzen (im neuropsychologischen Sprachgebrauch) intakte

Exekutive Funktionen voraus.

Ein wesentliches Entwicklungsziel im Erziehungs- und Sozialisationsprozess von Kindern ist die Fähigkeit, sich zunehmend selbstständig, also ohne die Unterstützung von Bezugs- bzw. Betreuungspersonen, zu steuern. Einer der frühesten Sozialisationsvorgänge in dieser Hinsicht ist die Sauberkeitserziehung. Je älter Kinder werden, desto mehr wird von ihnen erwartet, in ihrem Verhalten soziale Normen und Rollenanforderungen zu beachten, Aufgaben zu übernehmen und ihr Handeln zielorientiert steuern zu können. Dazu ist die Entwicklung gewisser psychischer Kompetenzen wie z.B. Frustrationstoleranz und Impulskontrolle erforderlich.

Sigmund Freud prägte in diesem Zusammenhang die Begriffe Lustprinzip und Realitätsprinzip. Er bezeichnete Kleinkinder als "Lustsucher", also vorwiegend von der Befriedigung ihrer aktuellen Wünsche und Bedürfnisse geleitet, während von psychisch gesunden Erwachsenen die Orientierung ihres Handelns an längerfristigen Zielen und an den Bedingungen der materiellen und sozialen Wirklichkeit erwartet wird.

Menschen unterscheiden sich in den Fähigkeiten und im "Stil" der Selbststeuerung. Bei verschiedenen psychischen Störungen wie Abhängigkeit (Sucht), Zwangsstörungen, der Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung oder der Borderline-Persönlichkeitsstörung sind die Selbstregulationskompetenzen eingeschränkt, mit der Folge, dass eine autonome Lebensführung z.T. erheblich beeinträchtigt wird.

27. Spirometer

Ein Spirometer ist ein medizinisches Gerät zur Messung des ein- bzw. ausgeatmeten Luftvolumens, Atemvolumen sowie des Luftvolumenstroms und dessen zeitlicher Änderung genannt. Es wird in der Spirometrie zur Überprüfung der Lungenfunktion bzw. der Vitalkapazität eingesetzt.

Eine gasgefüllte Glocke sitzt in einem mit Flüssigkeit gefüllten und abgedichteten Kolben. Der Patient atmet durch ein Rohr die Luft aus der Glocke ein und aus, wodurch sich das Gasvolumen innerhalb der Glocke ändert und diese durch die Druckunterschiede bei Expiration auf (siehe Abb. grüner Pfeil) und bei Inspiration ab bewegt wird (siehe roter Pfeil). Diese Bewegungen lassen sich anhand einer geeigneten Aufzeichnungsvorrichtung (Graph) aufzeichnen. Durch eine entsprechende Kalibrierung, wie zum Beispiel das Hineinpumpen von genau 1l Luft in die Glocke, lassen sich dadurch die Lungenvolumina und deren zeitlicher Verlauf berechnen.

28. Spurenelemente

Spurenelemente bzw. Mikroelemente sind chemische Stoffe, von denen der menschliche Körper Kleinstmengen (eben so genannte "Spuren") von weniger als 50 mg pro Tag für den Erhalt von lebenswichtigen Stoffwechsel-Funktionen benötigt. Sie stehen im Gegensatz zu den so genannten Mengenelementen.

Ein Fehlen von essentiellen (lebensnotwendigen) Spurenelementen bei Mensch, Pflanze und Tier ruft schwere physiologische Schäden hervor. Bekannte Mangelercheinungen sind Anämie bei Eisenmangel oder Stoffwechselstörungen bei Jodmangel. Eine überhöhte Aufnahme kann eine Vergiftung bewirken, da einige Mikroelemente hoch giftig sind.

Allgemein als essentielle Spurenelemente anerkannt sind: Chrom, Eisen, Fluor, Iod, Kobalt, Kupfer, Mangan, Molybdän, Selen, Vanadium, Zink

Diese Spurenelemente sind entweder wichtige Bestandteile von Enzymen, Vitaminen und Hormonen oder wirken im Sinne von Coenzymen katalysierend oder aktivierend bei bestimmten Stoffwechselreaktionen.

Zu den Elementen bei denen eine biologische Funktion nicht nachgewiesen wurde, zählen: Arsen, Aluminium, Barium, Bismut, Bor, Brom, Germanium, Lithium, Nickel, Quecksilber, Rubidium, Silizium, Strontium, Tellur, Titan, Wolfram.

Gründe für eine Unterversorgung mit Spurenelementen können sein:

- a) vermehrte Ausscheidung, etwa durch Schwitzen oder Durchfallerkrankungen
- b) Stoffwechselerkrankungen
- c) Regionale Gegebenheiten (z.B. das Vorkommen im Ackerboden)
- d) Ernährungsgewohnheiten

29. Stoffwechsel

Der Stoffwechsel oder der Metabolismus (griechisch μεταβολισμός, metabolismós - der Stoffwechsel, mit lateinischer Endung versehen) steht für die Aufnahme, den Transport und die chemische Umwandlung von Stoffen in einem Organismus sowie die Abgabe von Stoffwechselendprodukten an die Umgebung. Handelt es sich im ersten Fall um Fremdstoffe, so spricht man auch von Fremdstoffmetabolismus. Diese biochemischen Vorgänge (zum Beispiel innere und äußere Atmung, Transportvorgänge, Ernährung ...) dienen dem Aufbau und der Erhaltung der Körpersubstanz (Baustoffwechsel), der Energiegewinnung (Energiestoffwechsel) und damit der Aufrechterhaltung der Körperfunktionen. Wesentlich für den Stoffwechsel sind Enzyme, die chemische Reaktionen katalysieren. Die Erforschung des Stoffwechsels erfolgt vor allem mit Methoden der Physiologie und Biochemie.

Stoffwechselfvorgänge zugeordnet nach Bereichen

Einteilung nach der Funktion der Stoffwechselreaktion im Organismus

- a) Baustoffwechsel - Aufbau von Stoffen, aus denen der Organismus besteht
- b) Energiestoffwechsel - exergone chemische Umsetzungen zum Zweck der Energiegewinnung
- c) Assimilation (Biologie) - Umbau organismenfremder Stoffe in organismeneigene Stoffe
- d) Dissimilation (Biologie) - Abbau organismeneigener Stoffe, meistens zum Zweck der Energiegewinnung

Einteilung nach der Komplexitätsänderung von Molekülen

- a) Stoffaufbau (Anabolismus)
- b) Stoffabbau (Katabolismus)
- c) Stoffumbau (Metabolismus)

Beispiele für Stoffwechselfvorgänge

In der Photosynthese wandeln spezifische Stoffwechselfvorgänge (in der Regel die des Calvin-Zyklus) unter Verwendung der Energie des Lichts Kohlenstoffdioxid (bei Landpflanzen aus der Luft stammend), Wasser und andere Ausgangsstoffe in Stoffe um, die entweder sofort dem weiterem Aufbau und Wachstum des Organismus dienen oder gespeichert werden, z. B. Kohlenhydrate. Die Speicherstoffe können später im Baustoffwechsel oder im Energiestoffwechsel verarbeitet werden.

Tiere verstoffwechseln (metabolisieren) bei ihrer Verdauung andere Organismen oder deren Speicherstoffe (etwa Kohlenhydrate, Proteine oder Fette).

30. Stoffwechselstörungen

Bei den Stoffwechselstörungen handelt es sich um eine relativ große Anzahl unterschiedlicher Krankheiten. Meist werden unter diesem Begriff nur angeborene Störungen aufgezählt. Stoffwechselstörungen können aber auch erworben sein.

Es können Störungen im Fettstoffwechsel (z. B. Hyperlipoproteinämien, also eine Erhöhung der Blutfette), im Aminosäuren- bzw. Eiweißstoffwechsel (z. B. Porphyrin, eine Störung der Bildung des roten Blutfarbstoffs), im Kohlenhydratstoffwechsel (z. B. bestimmte Formen der Zuckerkrankheit), und im Mineralstoffwechsel (z. B. Phosphatmangel), auftreten.

Liste der Stoffwechselstörungen (unvollständig):

- Adrenogenitales Syndrom
- Alpha-1-Antitrypsinmangel
- Diabetes mellitus
- Erythropoetische Protoporphyrin (Erkrankung aus der Gruppe der Porphyrinen)
- Galaktosämie
- Gicht (Urikopathie)
- Hypophosphatasie (Rathbun-Syndrom)
- Hypothyreose (Schilddrüsenunterfunktion)
- Ketoazidose
- Ketose (Acetonämie, Acetonurie)
- Lesch-Nyhan-Syndrom (Hyperurikämie-Syndrom oder Hyperurikose)
- Myoadenylatdeaminase-Mangel (MADD)
- Morbus Addison (Hypoadrenokortizismus)
- Morbus Conn (Hyperaldosteronismus)
- Morbus Cushing
- Morbus Fabry
- Morbus Gaucher
- Morbus Hunter (Mukopolysaccharidose Typ II)
- Mukoviszidose (zystische Fibrose)
- Phenylketonurie
- Porphyrin
- Thesaurismose (Speicherkrankheit)

31. Stress

Stress (engl.: Druck, Anspannung; lat.: stringere: anspannen) bezeichnet zum einen durch spezifische äußere Reize (Stressoren) hervorgerufene psychische und physiologische Reaktionen bei Tieren und Menschen, die zur Bewältigung besonderer Anforderungen befähigen, und zum anderen die dadurch entstehende körperliche und geistige Belastung.

1936 hatte der Zoologe Hans Selye den Begriff aus der Physik entlehnt, um die „unspezifische Reaktion des Körpers auf jegliche Anforderung“ zu benennen. Stress heißt in der Werkstoffkunde der Zug oder Druck auf ein Material (siehe Spannung, Materialermüdung).

Zoologische Grundlage

Selyes Ausgangspunkt war die Auseinandersetzung eines Tieres mit einer akuten Gefahrensituation, zum Beispiel der Begegnung mit einem Fressfeind oder einem innerartlichen Aggressor oder einer physischen Gefahr wie Waldbrand etc. Das Tier muss dann in erhöhter Handlungsbereitschaft sein, was sowohl die Bereitschaft seiner Muskulatur und des Kreislaufs betrifft als auch seine zentralnervöse Aufmerksamkeit und Entscheidungsbereitschaft. Deshalb wird z. B. durch die Ausschüttung des Nebennierenhormons Adrenalin eine vegetative Wirkungskette ausgelöst, die letztlich den Blutdruck und den Blutzucker sowie den allgemeinen Muskeltonus erhöht.

Im Gehirn wird die relativ langsame Verarbeitung des Großhirns in seinem Einfluss zurückgedrängt und schematische Entscheidungsmuster des Stammhirns werden mit Vorrang genutzt. Dies geschieht durch veränderte Ausschüttungsmuster von dämpfendem Serotonin und anregendem Noradrenalin in den betreffenden Gehirnteilen. Das Tier kann dann rascher, wenn auch mit größerer Fehlerquote, reagieren. Die meist präzisere Einschätzung der Situation durch das Großhirn käme in der Gefahr oft lebensgefährlich langsam zustande

Aus dem gleichen Grund muss die anfängliche Feststellung einer Gefahrensituation nicht bevorzugt über das Großhirn, sondern über schematisierte Auslösemuster erfolgen, auf die alte Stammhirn-Mechanismen reagieren: plötzlicher Schall oder plötzlicher Wechsel der Helligkeit, schrille Laute (Todesschreie) etc. Dies ist der Zusammenhang mit den unspezifischen Stressoren des menschlichen Alltags, die ständig eine körperliche Reaktion auf vermeintliche Gefahren erzeugen. Das Schädliche daran ist, dass diese Körperreaktionen nicht ihre natürliche Abarbeitung finden.

Stress beim Menschen

Eigentlich versteht man unter Stress die Auswirkungen (Symptome) der auslösenden Faktoren (Stressoren). Sie können z.B. physikalischer Natur sein (Kälte, Hitze, Lärm, starke Sonneneinstrahlung etc.) oder toxische Substanzen (z.B. Zigarettenrauch stresst den menschlichen Körper). Auch bestimmte eigene Einstellungen, Erwartungshaltungen und Befürchtungen können auf emotionaler Ebene Stressoren sein. Stress ist also die Anpassung des Körpers an diese Stressoren, bzw. seine Reaktion auf diese.

Stress ist individuell. Verschiedene Stresstheorien haben versucht, den Zusammenhang zwischen Stressoren und Stressreaktion darzustellen. Die Modelle sind mit wachsendem Erkenntnisstand zunehmend komplexer geworden. Beispielfhaft können benannt werden:

- a) Allgemeines Adaptationssyndrom nach Hans Selye (1936): Dieses Modell ist das ursprüngliche Stresskonzept. Es stellt die Folgen punktuellen und chronischen Stress dar. Mit Wahrnehmung eines (jeden) Stressors folgt eine Anpassungsreaktion. Nachgewiesen wurde, dass auf jede Anspannung- eine Entspannungsphase folgen muss, da nur bei ausreichender Erholung ein gleichbleibendes Niveau zwischen Ruhe und Erregung gehalten werden kann. Folgen in kurzen Abständen weitere Stressoren, wächst das Erregungsniveau weiter an
- b) Notfallreaktion nach Walter Cannon (1914, 1932): Nach diesem Modell reagiert der Körper blitzartig durch die Herstellung einer „Flucht oder Angriffsbereitschaft“. Siehe oben unter Zoologische Grundlagen
- c) Transaktionales Stressmodell nach Lazarus (1966): Zusätzlich zu den oben genannten Modellen werden persönliche Bewertungsebenen eingefügt. Demnach wird Stress wesentlich von kognitiven Bewertungsprozessen mit bestimmt. Stress ist damit eine Interaktion zwischen der (individuellen) Person und der Umwelt. Es wurde nachgewiesen, dass Stress durch Einstellung und Erfahrung beeinflussbar ist
- d) Theorie der Ressourcenerhaltung nach Stevan Hobfoll (1988, 1998; Hobfoll & Buchwald, 2004): Die Theorie der Ressourcenerhaltung ermöglicht ein umfassenderes und stärker an den sozialen Kontext gebundenes Verständnis von Stress. Zentrale Annahme ist, dass Menschen ihre eigenen Ressourcen schützen wollen und danach streben, neue aufzubauen. Stress wird als eine Reaktion auf die Umwelt definiert, in der (1) der Verlust von Ressourcen droht, (2) der tatsächliche Verlust von Ressourcen eintritt und/oder (3) der adäquate Zugewinn von Ressourcen nach einer Ressourceninvestition versagt bleibt im Sinne einer Fehlinvestition.

Psychosoziale Stressfaktoren:

- Zeitmangel
- Lärm
- Geldmangel, Armut
- fehlende Gestaltungsmöglichkeiten, mangelndes Interesse am Beruf und in der Freizeit
- große Verantwortung
- Mobbing am Arbeitsplatz, Mobbing in der Schule
- Schichtarbeit (bewirkt eine Störung des Schlaf-Wach-Rhythmus und gesundheitliche Probleme)
- Ständige Konzentration auf die Arbeit (zum Beispiel bei Fließbandarbeit)
- Angst, nicht zu genügen
- Soziale Isolation, Verachtung und Vernachlässigung
- Schlafentzug
- Reizüberflutung
- Krankheiten und Schmerzen, eigene und die von Angehörige

- Seelische Probleme, unterschwellige Konflikte
- Schwerwiegende Ereignisse (beispielsweise ein Wohnungseinbruch, eine Operation, eine Prüfung)
- aber auch durch Unterforderung, Langeweile und Lethargie
- Tod eines Angehörigen

Untersuchungen haben belegt, dass Frauen intensiver und länger auf Stresssituationen reagieren und grundsätzlich stressempfindlicher sind als Männer. Die Ursachen hierfür sollen jedoch nicht körperlicher sondern kognitiver Natur sein. Ursachen sollen sein:

- geringere Fähigkeitsüberzeugung
- geringere Kontrollüberzeugung
- höheres Abhängigkeitsempfinden

Um ungesunden Arbeitsstreß zu charakterisieren, haben sich zwei Modelle bewährt: Das Anforderungs-Kontroll-Modell von Karasek und Theorell (1990) ^[1] und das Modell nach Siegrist (1996), zitiert nach

Stressreaktionen:

Typische Stress-/ Panik-/ Krisen-Reaktionen (*aus einem Konzept der "Ulrich-Schmidl-Schule" Straubing*) bei:

Erwachsenen (Schwerpunkte)

- Gefühle: Traurigkeit, Ärger, Schuld, Vorwürfe, Angst, Verlassenheit, Müdigkeit, Hilflosigkeit, Schock, Jammern, Emanzipation, Erleichterung, Taubheit, Leere, Hoffnungslosigkeit, Deprivation, Demütigung
- Kognition: Ungläubigkeit, Verwirrung, Vorurteile, Konzentration, Halluzinationen, Depersonalisation
- körperlich: Übelkeit, Enge in Kehle und Brust, Übersensibilität bei Lärm, Atemlosigkeit, Muskelschwäche, Mangel an Energie, trockener Mund
- Verhalten: Schlafstörungen, Appetitlosigkeit, Geistesabwesenheit, sozialer Rückzug, Träume über das Ereignis, Vermeidung von Nähe zu Tatort oder ähnlichen Situationen, Seufzen, Aktivismus, Weinen, Hüten von „Schätzen“

Kindern und Jugendlichen im:

- Alter von 1 – 5 - Daumenlutschen, Bettnässen, Dunkelangst, Angst vor Tieren, Klammern, Nachtangst, Verlust der Darm- und/oder Blasenkontrolle, Verstopfung, Stottern/Stammeln, Appetitlosigkeit oder Heißhunger
- Alter von 5 – 11 - Irritiert sein, Jammern, Klammern, Aggressivität, Geschwisterrivalität, Alpträume, Dunkelangst, Schulangst, sozialer Rückzug von Gleichaltrigen, Interesselosigkeit, Konzentrationsmangel
- Alter von 11 – 14 - Schlafstörungen, Essstörungen, Rebellion daheim, mangelndes Interesse an Aktivitäten Gleichaltriger, Schulprobleme (z.B. Schlägern, Rückzug, Interesselosigkeit, Mittelpunktstreben), physische Probleme (z.B. Kopfweh, undefinierbare Schmerzen, Hautprobleme, Verdauungsprobleme, sonstige psychosomatische Beschwerden)
- Alter von 14 – 18 - Psychosomatische Beschwerden, Störungen des Appetits und des Schlafes, hypochondrische Reaktionen, Durchfall, Verstopfung, Störungen der Menstruation, Steigerung oder Senkung des

Energielevels, Desinteresse am anderen Geschlecht, Abnahme von Durchsetzungskämpfen mit Eltern, Konzentrationsmangel

Stressbewältigung

Stressbewältigungstechniken (engl. Coping). Stress zeigt sich in kognitiven, emotionalen, muskulären, vegetativ-hormonellen und sozialen Reaktionen. Entsprechende Stressbewältigungstechniken dämpfen die Stressreaktionen bzw. versuchen, diese erst gar nicht entstehen zu lassen. Beispielhaft können benannt werden:

- Autogenes Training
- Biofeedback, Neurofeedback oder Mindmachine
- Progressive Muskelrelaxation (PMR)
- „Mindfulness Based Stress Reduction“ (MBSR), d. h. ein Training für eine auf Achtsamkeit beruhende Reduktion von Stress.
- Verinnerlichung von problem- bzw. emotionsorientierten Bewältigungsformen (z. B. Wahrnehmungslenkung, Positive Selbstinstruktion, aktive Vermeidung, professionelle Problemlösungsansätze)
- gemeinsame Bewältigungsstrategien (Suche nach Unterstützung, Teambildung, rücksichtsvolles Verhalten, aggressiv-antisoziales Coping), abgebildet im multiaxialen Copingmodell

Medizinische Aspekte

Stress wirkt sich auf die Psyche genauso aus wie auf die Befindlichkeit des Körpers. Es kann zu leichten und schweren Krankheiten kommen. Etliche Studien haben die negativen Effekte so genannter Stresshormone belegt. So kommt es bei Stress zu einer erhöhten Konzentration von Adrenalin oder Noradrenalin im Blut, was langfristig Schäden an den Blutgefäßen nach sich zieht. In diesem Zusammenhang ist die Niere besonders betroffen. Bei langzeitigem Stress kommt es zu degenerativen Veränderungen und schließlich zum Tod durch Nierenversagen. Die "Feld-Nephritis", an der reihenweise Soldaten in den Schützengräben des Ersten Weltkriegs starben, war nach heutiger Erkenntnis diese Stressfolge.

Jüngst konnten auch molekulare Veränderungen in den Körperzellen selbst festgestellt werden. In Stress-Situationen wird ein bestimmtes Protein in den Zellen aktiv, welches Entzündungen auslöst und Abbauprozesse in Gang hält. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass anhaltender Stress die Länge der Chromosomenenden (Telomere) negativ beeinflusst, was wiederum zu einer beschleunigten Alterung von Körperzellen führt. Dies könnte eine Ursache dafür sein, warum Menschen mit Stress anfälliger sind für Erkrankungen z.B. des Herz-Kreislaufsystems oder auch des Immunsystems.

Die gesundheitlichen Schäden durch Stress werden immer noch unterschätzt. Eine Studie aus dem Jahr 2004 belege, dass Stress fast ebenso häufig Ursache für einen Herzinfarkt ist wie Nikotinkonsum und Erkrankungen des Fettstoffwechsels.

Die oben aufgezählten Formen des schädlichen, krankmachenden Stressses werden *Distress* (Allgemeines Adaptationssyndrom, AAS) genannt mit der Bedeutung von Sorge, Kummer, Bedrängnis. Daneben gibt es den Effekt, dass beanspruchende Herausforderungen positiv erlebt und verarbeitet werden (Hans Selye: "*Salz des Lebens*") - wenn man sich diesen Anforderungen auf irgendeine Weise gewachsen fühlt. Diese positive Form des Stress wird *Eustress* (FoF Syndrom) genannt.

Eine spezielle Art des Stressses, das „Lampenfieber“, kann, je nach Stärke, positiv oder negativ wirken.

Zu der besonderen Formel der PTBS (engl.: post-traumatic stress disorder; PTSD) wird die sehr verschiedenartig nachwirkende Belastung nach schweren Erlebnissen zusammengefasst

32. Thrombozyten

Thrombozyten oder Blutplättchen sind kleine kernlose Abschnürungen von Megakaryozyten (den Riesenzellen des Knochenmarks), die eine wichtige Rolle in der Blutgerinnung (Hämostase) spielen.

Thrombozyten sind mit einem Durchmesser von ca. 4,5 Mikrometer die kleinsten Blutkörperchen. Sie spielen eine wichtige physiologische Rolle in der Blutgerinnung. Vor allem in den Arterien mit ihrer starken Strömung sind die Blutplättchen die primären Faktoren der Blutgerinnung, indem sie sich an freiliegende Kollagenfasern verletzter Blutgefäße in der ersten und noch reversiblen Phase der Thrombozytenaggregation zunächst anlagern (Thrombozytenadhäsion) und zusammenballen, ein Vorgang der durch Adenosindiphosphat (ADP) und sog. Immunkomplexe unterstützt wird. In der zweiten oder irreversiblen Phase der Thrombozytenaggregation werden Prostaglandine sowie sog. vasoaktive Substanzen gebildet, die zur Ausbildung eines zunächst "weißen" Thrombus führen.

Medikamente, die die Thrombozytenaggregation hemmen, werden als Thrombozytenaggregationshemmer bezeichnet.

Die normale Zahl von Thrombozyten im Blut beträgt 150 000-380 000/ μ l. Die Zählung der Thrombos erfolgt in der Zählkammer mit einem Phasenkontrastmikroskop – heute meist zusammen mit dem restlichen kleinen Blutbild – automatisch in einem Partikelzählgerät. Der Abbau der Thrombozyten erfolgt in der Milz und teilweise in der Leber und in der Lunge. Ihre durchschnittliche Lebensdauer beträgt acht bis zwölf Tage. Eine Verkürzung der Thrombozytenüberlebensdauer wird bei einer Splenomegalie (Milzvergrößerung) oder vorhandenen antithrombozytären Antikörpern, wie bei einem Morbus Werlhof (Synonym: Idiopathische thrombozytopenische Purpura) gesehen. Umgekehrt kommt es nach einer Splenektomie (Entfernung der Milz) zu einem starken Anstieg der Blutplättchen.

Eine Reihe von Stoffen können zu einer Aktivierung von Thrombozyten führen. Einer der wichtigsten ist das Nikotin. Dieser Umstand ist wahrscheinlich für die ausgeprägte Arteriosklerose-beschleunigende Wirkung des Nikotins und v.a. die erhöhte Thromboseneigung (besonders in Kombination mit der Antibabypille) verantwortlich.

Thrombozyten gibt es in zwei Formen:

- 1) Normalform, glatt, nicht aktiviert (linsenförmig)
- 2) aktivierte Form, „klebrig“, Klettenform (Thrombozyten bilden Fortsätze, mit denen sie sich untereinander verzahnen)

Thrombozytengabe als Therapie

Bei einem kritischem Abfall der Thrombozytenzahl im Blut können Thrombozyten-Konzentrate gegeben werden. Die Konzentrate werden aus Blutspenden gewonnen, und haben deswegen ein zwar geringes, aber doch vorhandenes Infektionsrisiko. Die Wirkung ist auf wenige Tage begrenzt, da die Thrombozyten eine nur kurze Lebensdauer haben (5 Tage nach der Abnahme

müssen sie entsorgt werden). Außerdem sind die Konzentrate ziemlich teuer (rund 700 € pro Konzentrat, lt. Tiroler Tageszeitung, Oktober 2005).

Molekulare Aktivierungsvorgänge

Die folgende Abbildung betont Vorgänge, die sich an der Zellmembran (der Phospholipid-Doppelschicht) abspielen und durch die Gerinnungskaskade ausgelöst werden.

Die primäre Hämostase genannte Phase der Blutgerinnung spielt sich an der Oberfläche der Thrombozyten ab. Wichtige Schritte sind:

1) Einwirkung von Thrombin, dadurch Umorganisation der Thrombozyten, z.B. durch

2) ein „flip-flop“, das heißt Austausch der neutralen Phospholipide (PC, Phosphatidylcholin) der Außenschicht gegen die negativ geladenen Phospholipide (PS, Phosphatidylserin) der Innenschicht

3) Freisetzen von Calcium-Ionen aus intrazellulären Speichern (Mitochondrien) und Bindung an die unter (2) generierte Oberfläche

4) Andocken von Gerinnungsfaktoren an Ca^{++} über ihre zweifach negativen (gamma-Carboxy-glutamyl-)Seitenketten; diese werden in einer Vitamin K-abhängigen Reaktion generiert

5) Andocken von RGD-Proteinen wie Fibrin an Integrine der Zelloberfläche

Erkrankungen, die die Thrombozyten beeinträchtigen

a) Myelodysplastisches Syndrom

b) Morbus Glanzmann-Naegeli, Thrombozyten ohne GPIIb/IIIa-Rezeptor

c) Morbus Werlhof (Idiopathische Thrombozytopenie, ITP)

33. Vegetatives Nervensystem

Das vegetative Nervensystem (VNS), auch viszerales oder autonomes Nervensystem (ANS) genannt, bildet zusammen mit dem somatischen Nervensystem das periphere Nervensystem. Die „Autonomie“ bezieht sich darauf, dass dem ungeübten Menschen dieses Teilsystem der willkürlichen Kontrolle durch das Bewusstsein entzogen ist, der Begriff „autonomes Nervensystem“ wurde vom britischen Physiologen John Newport Langley geprägt.

Das vegetative Nervensystem kontrolliert die lebenswichtigen Funktionen („Vitalfunktionen“), wie Herzschlag, Atmung, Blutdruck, Verdauung und Stoffwechsel. Auch andere Organe oder Organsysteme wie die Sexualorgane und das Blutgefäßsystem sowie die inneren Augenmuskeln werden vom vegetativen Nervensystem beeinflusst. Sowohl das zentrale als auch das periphere Nervensystem besitzen vegetative Anteile.

Man untergliedert das vegetative Nervensystem in:

- Sympathisches Nervensystem
- Parasympathisches Nervensystem
- Enterisches Nervensystem (das Nervensystem des Magen-Darm-Trakts)

Im Gegensatz zum Sympathikus und dem Parasympathikus untersteht das enterische Nervensystem nicht so sehr der Regulation durch das Zentralnervensystem. Es funktioniert weitgehend unabhängig.

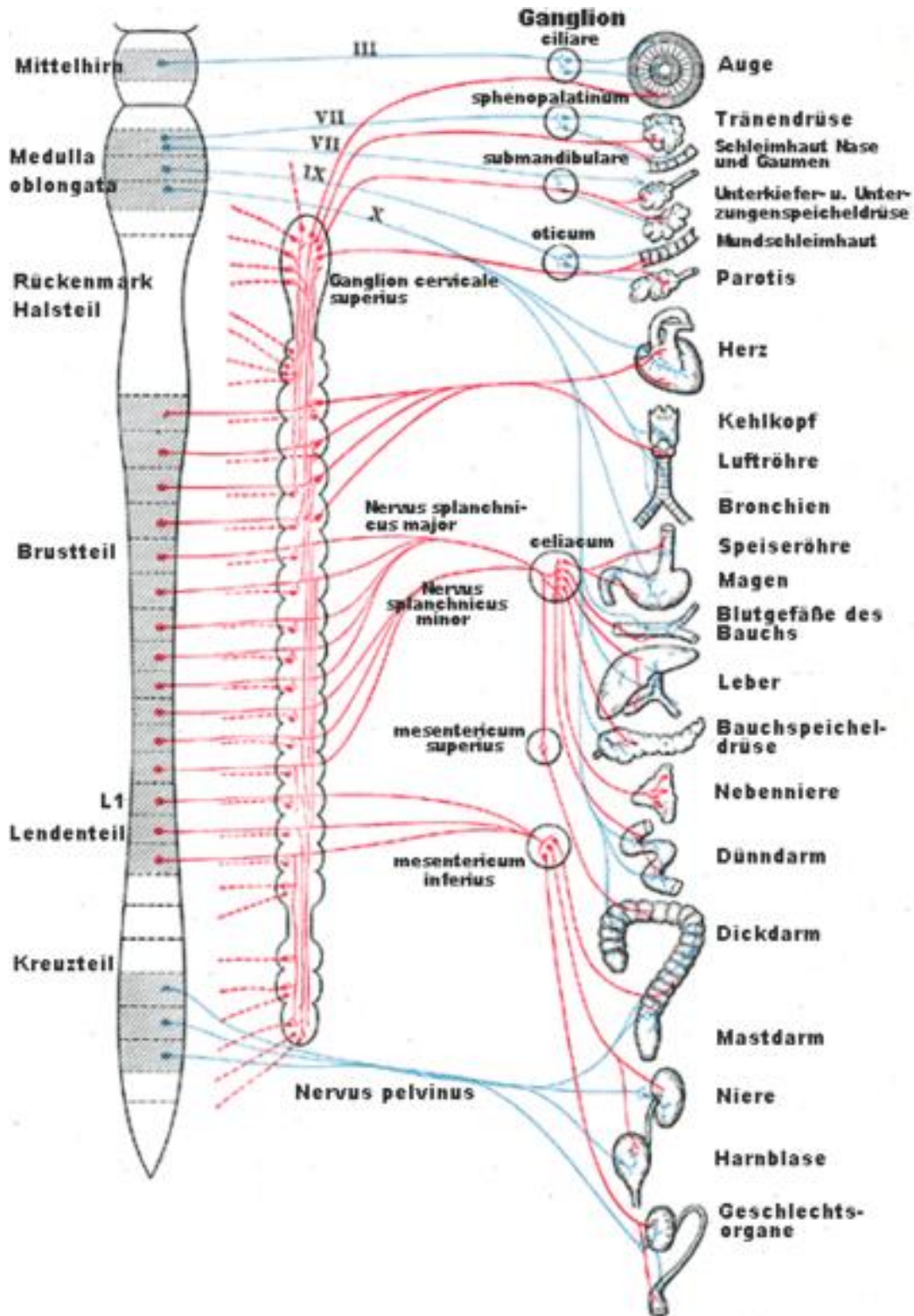
Wirkung

Das sympathische und das parasympathische System besitzen antagonistische (gegensätzliche) Wirkungen auf ihre Erfolgsorgane. Während der Sympathikus eher leistungsfördernde (ergotrope) Wirkungen vermittelt, löst der Parasympathikus überwiegend erholungsfördernde (trophotrope) Effekte aus. Diese Beschreibung ist aber nur zur groben Orientierung geeignet. So wirken sympathisches und parasympathisches Nervensystem in einigen Organen auch synergistisch.

Sympathikus

Der Sympathikus (*Sympathicus*) ist neben dem Parasympathikus ein Teil des vegetativen Nervensystems. Die meisten Organe werden von beiden Systemen gesteuert, die antagonistisch wirken und dadurch eine äußerst feine Regulation der Organtätigkeit ermöglichen.

Anatomie



Vegetatives Nervensystem. Rot bezeichnet Nerven des Sympathikus, blau Nerven des Parasympathikus

Die ersten Neurone des Sympathikus (sympathische Wurzelzellen) sind im Rückenmark des Brust- und Lendenbereichs lokalisiert (*thorako-lumbales System*). Einige Sympathikusfunktionen werden von übergeordneten Zentren in Hypothalamus, Hirnstamm und Formatio reticularis gesteuert, die Impulse auf die sympathischen Wurzelzellen im Rückenmark senden.

Vom Rückenmark ziehen die meisten Fasern zu Nervenzellansammlungen neben der Wirbelsäule, den Paravertebralganglien, die untereinander verbunden sind und in ihrer Gesamtheit den sympathischen Grenzstrang (*Truncus sympathicus*) darstellen. Dieser reicht auch in den Bereich der Halswirbelsäule und des Kreuzbeins. In den paravertebralen Ganglien werden die meisten Fasern des Sympathikus auf ein zweites Neuron umgeschaltet. Der Neurotransmitter ist dabei (wie beim Parasympathikus) das Acetylcholin. Das zweite (postganglionäre) Neuron überträgt seine Impulse auf das Zielorgan mittels Noradrenalin.

Einige Fasern des Sympathikus verlassen den Grenzstrang ohne Umschaltung und ziehen zu den prävertebralen Ganglien im Bereich der Aorta (*Ganglion coeliacum*, *Ganglion mesentericum superius*, *Ganglion mesentericum inferius*) oder zu Ganglien in der Wand der zu versorgenden Organe (intramurale Ganglien).

Überträgersubstanzen (Neurotransmitter) des sympathischen Nervensystems sind:

- präganglionär: Acetylcholin
- postganglionär: Noradrenalin

Paraganglien

Eine Besonderheit des Sympathikus sind die Paraganglien, deren größtes das Nebennierenmark ist. Hier ist das zweite Neuron eine neuroendokrine Zelle, die ihren Transmitter (vor allem Adrenalin, selten Noradrenalin) direkt an das Blut abgibt, also als Hormon freisetzt.

Funktionelle Aspekte

Zielgewebe des Sympathikus sind vor allem die glatte Muskulatur (v. a. der Blutgefäße) und Drüsen. Wie die übrigen Anteile des vegetativen Nervensystems steuert der Sympathikus lebenswichtige Vorgänge. Diese Regulation erfolgt weitgehend ohne bewusste Wahrnehmung und kann kaum willentlich beeinflusst werden.

Der Sympathikus bewirkt insgesamt eine Leistungssteigerung des Organismus (Ergotropie). Er versetzt den Körper in hohe Leistungsbereitschaft, bereitet ihn auf Angriff, Flucht oder andere außergewöhnliche Anstrengungen vor.

Er steigert:

- Herztätigkeit
- Blutdruck
- Durchblutung und Tonus der Skelettmuskulatur
- Glykolyse

- Stoffwechsel

Er hemmt dafür andere, für die unmittelbare Aktivität nicht unbedingt erforderliche Vorgänge, wie z. B. die Darmtätigkeit.

Außerdem hat er Einfluss auf die:

Lungenfunktion (Erweiterung der Bronchien)

Blasenfunktion (bewirkt die Kontinenz) (Dauerstress SI)

Geschlechtsorgane (bewirkt u. a. die Ejakulation beim Mann und den Orgasmus bei der Frau)

inneren Augenmuskeln (Pupillenerweiterung = Mydriasis)

Sekretion der Drüsen. (Erschöpfungsdiabetes SI)

Parasympathikus

Der Parasympathikus ist eine der beiden Komponenten des vegetativen Nervensystems. Er wird auch als „Ruhenerve“ bezeichnet, da er dem Stoffwechsel, der Regeneration und dem Aufbau körpereigener Reserven dient (*trophotrope* Wirkung). Er sorgt für Ruhe, Erholung und Schonung. Das vegetative Nervensystem kontrolliert unwillkürlich die meisten inneren Organe und den Kreislauf.

Allgemeiner Aufbau

Die vegetativen Zentren des Parasympathikus liegen im Bereich des Hirnstamms (*Pars cephalica*, Kopfteil) und im sakralen Rückenmark (*Pars sacralis*, Kreuzbein). Dabei innerviert die *Pars cephalica* das Auge, die Tränen- und Speicheldrüsen und die vom Nervus vagus versorgten Organe. Die *Pars sacralis* hingegen beeinflusst den unteren Teil des Dickdarms, die Harnblase und die Genitalien. Ein ungefährender Übergang der beiden Innervationsgebiete erfolgt am Cannon-Böhm-Punkt. Aufgrund der anatomischen Lage der Wurzelzellen wird der Parasympathikus auch als *kraniosakrales System* (von lat. *Cranium* = Schädel, *Os sacrum* = Kreuzbein) bezeichnet, im Gegensatz zum *thorakolumbalen System* des Sympathikus, dessen Wurzelzellen im Brust- (lat. *Thorax*) und Lendenteil (lat. *Lumbus*) des Rückenmarks liegen.

Ganglien

In den Ganglien, welche eine Anhäufung von Nervenzellkörpern darstellen, werden die vom Zentralnervensystem kommenden Nervenfasern (*präganglionäre Nerven*, lat., „vor dem Ganglion liegend“) auf Nervenfasern umgeschaltet, die zum jeweiligen Erfolgsorgan ziehen (*postganglionäre Nerven*, lat., „auf das Ganglion folgend“). Die Ganglien liegen beim Parasympathikus - im Gegensatz zum Sympathikus - meist in der Nähe oder sogar innerhalb ihrer Zielorgane. Die Umschaltung erfolgt über chemische Synapsen durch die Übertragung von Neurotransmittern.

Neurotransmitter

Die Überträgersubstanz (Neurotransmitter) des parasympathischen Nervensystems ist sowohl präganglionär als auch postganglionär Acetylcholin (ACh). Acetylcholin ist ein Ester der Essigsäure und des Aminoalkohols Cholin.

Die Synthese von Acetylcholin findet im präsynaptischen Terminal durch das Enzym Cholin-Acetyltransferase statt. Die Ausgangsstoffe sind Cholin und Acetyl-CoA.

Nach seiner Freisetzung in den synaptischen Spalt und Bindung an seine Rezeptoren wird Acetylcholin durch das Enzym Acetylcholinesterase zu den Endprodukten Cholin und Essigsäure (beziehungsweise Acetat) abgebaut und damit deaktiviert.

Rezeptoren

Das parasympathische Nervensystem verfügt über zwei Typen von cholinergen Rezeptoren, also Rezeptoren, die auf Acetylcholin ansprechen. Sogenannte *nikotinische* Rezeptoren (nAChR, für nikotinischer Acetylcholin-Rezeptor) werden außer von Acetylcholin auch von Nikotin erregt, die *muskarinischen* (mAChR) auch von Muskarin, einem Gift des Fliegenpilzes. Die nikotinischen Rezeptoren lassen sich weiter unterteilen nach ihrem Vorkommen im vegetativen Nervensystem: *N_M-Rezeptoren* befinden sich an der motorischen Endplatte, also an der Verschaltung von Nerven mit ihren innervierten Muskeln, *N_N-Rezeptoren* hingegen sind in den Ganglien des vegetativen Nervensystems lokalisiert. Die muskarinischen Rezeptoren werden in die Subtypen M₁ bis M₅ unterschieden. M₁ kommt in vegetativen Ganglien, M₂ im Herzen und M₃ in glatter Muskulatur vor, hierbei vor allem im Verdauungstrakt. Die Funktionen von M₄ und M₅ sind noch nicht gänzlich bekannt, sie kommen aber im Gehirn vor.

Wirkung des Nervus vagus auf die inneren Organe

Am Herz bewirkt der Parasympathikus eine Verlangsamung des Pulses (*negative Chronotropie*) und eine Verminderung der Pumpkraft (*negative Inotropie*). Außerdem verlangsamt er die Erregungsleitung vom Sinusknoten zum AV-Knoten und im AV-Knoten selbst (*negative Dromotropie*)

Die Versorgungsgebiete des rechten und linken Nervus vagus überlappen sich am Herzen, wobei der rechte vorwiegend den Sinusknoten innerviert und dort die Pulsfrequenz beeinflusst, der linke hingegen hauptsächlich den AV-Knoten und damit die Erregungsleitung.

Die cholinergen Rezeptoren im Herzen sind vom Typ M₂. Ihr Second Messenger ist ein G_i-Protein (*i* für inhibitorisch, hemmend). Im Sinus- und AV-Knoten öffnet es bestimmte K⁺-Kanäle (*I_{K_{ACh}}*). Durch den bewirkten Kaliumausstrom wird die Zelle hyperpolarisiert, das heißt ihr Membranpotential erhöht sich. Dies erschwert die Auslösung eines Aktionspotentials, das zur Muskelkontraktion führt.

In den Herzmuskelzellen selbst wird das Enzym Adenylylcyclase gehemmt, dies bewirkt einen Rückgang der intrazellulären cAMP-Konzentration. Dieser Rückgang wirkt sich negativ auf den Calcium-Einstrom aus. Da Calcium zur Kontraktion der Muskelzellen benötigt wird, hat eine reduzierte Calciumaufnahme eine verringerte Kontraktilität zur Folge. Des Weiteren werden die langsamen Natriumkanäle, sogenannte „Funny-Channels“ (cAMP-

abhängig), teilweise inaktiviert und so sich die spontane Depolarisation der Schrittmacherzellen verzögert (Frequenzabnahme, *negativ chronotrop*).

Bronchien

In den Bronchien löst der Parasympathikus *Bronchokonstriktion* (Verengung der Bronchien) und eine erhöhte Schleimsekretion durch Stimulation der M₃-Rezeptoren aus.

In der glatten Muskulatur der Bronchien löst der durch IP₃ ausgelöste Calciumeinstrom eine Kontraktion aus, dies führt zur Verengung der Bronchien.

Die erhöhte Sekretion der schleimproduzierenden Drüsen wird durch eine erhöhte Blutzufuhr ausgelöst. Die erhöhte Blutzufuhr wird durch die Freisetzung von Stickstoffmonoxid (NO) und die dadurch bewirkte Gefäßerweiterung (Vasodilatation) verursacht.

Verdauungstrakt

Der Verdauungstrakt besitzt ein eigenes Nervensystem, das enterische Nervensystem, dessen Wirkung durch das vegetative Nervensystem nur modulierend beeinflusst wird.

Die parasympathische Komponente fördert dabei generell die Verdauung durch eine Erhöhung der Peristaltik und der Sekretion von Verdauungsenzymen. Im Magen und Darm wird zudem der Tonus (Spannungszustand) der glatten Muskulatur erhöht und die Sphinkter (Schließmuskeln) werden durch die Wirkung von Stickstoffmonoxid entspannt.

Die Tonuserhöhung und die erhöhte Sekretion der Drüsen basiert auf den gleichen Mechanismen wie in der Lunge.

Leber, Gallenblase und Pankreas

In der Leber regt der Parasympathikus die Glykogenbildung an.

In der Gallenblase löst er durch die Kontraktion der glatten Muskulatur in der Organwand die Leerung der enthaltenen Galle aus.

Die exokrine Sekretion der Bauchspeicheldrüse wird durch die Erhöhung der Durchblutung angeregt. Dies bewirkt die Sekretion der eiweißspaltenden Verdauungsenzyme (Trypsin, Chymotrypsin, Elastase, Carboxypeptidase).

Klinische Bedeutung

Die Wirkung des Parasympathikus kann durch Medikamente beeinflusst werden. Die angestrebte Wirkung orientiert sich jeweils an der durch den Parasympathikus modulierten Organwirkung und deren Veränderung bei Anwendung von Medikamenten. Man unterscheidet Parasympatholytika, welche die Wirkung des Parasympathikus hemmen, und Parasympathomimetika, welche die Wirkung anregen.

Parasympatholytika

Parasympatholytische Substanzen wie Atropin wirken über eine kompetitive Hemmung des Acetylcholins. Bei Anwendung überwiegt aufgrund der Hemmung des Parasympathikus dann der Einfluss des Sympathikus

Anwendungsgebiete sind z. B. die Pupillenerweiterung (Mydriasis) für therapeutische Maßnahmen, die Therapie von Spasmen des Magen-Darm-Traktes, der Harnwege sowie der Muskulatur der Atemwege (Bronchospasmus). Auch akute Bradykardien, d. h. der starke Abfall der Herzfrequenz, können durch Parasympatholytika behandelt werden.

Parasympathomimetika

Es gibt direkt und indirekt wirkende Parasympathomimetika. Erstere (wie Pilocarpin) wirken ähnlich dem Acetylcholin. Bei den indirekten Parasympathomimetika wie Physostigmin handelt es sich um reversible oder irreversible Cholinesterasehemmer, welche den Abbau der Cholinesterase hemmen und so eine längere Transmitterwirkung bedingen.

Anwendungsgebiete der Parasympathomimetika umfassen z. B. die Therapie von Glaukomen.

34. Vitamine

Vitamine sind organische Verbindungen, die vom Organismus nicht als Energieträger, sondern für andere lebenswichtige Funktionen benötigt werden, die jedoch vom Stoffwechsel zum größten Teil nicht synthetisiert werden können. Sie müssen deshalb mit der Nahrung aufgenommen werden. Einige Vitamine werden dem Körper als Vorstufen (Provitamine) zugeführt, die dann erst im Körper in die Wirkform umgewandelt werden. Man unterteilt Vitamine in fettlösliche (lipophile) und wasserlösliche (hydrophile) Vitamine.

Dass Vitamine benötigt werden, ist zumindest bei einigen Vitaminen genetisch bedingt. So können z. B. Schweine ca. 100 mg Vitamin C/kg Körpergewicht produzieren, Menschen können dies aufgrund des Fehlens von L-Galactonolacton-Oxidase nicht. Somit ist Vitamin C für Schweine kein Vitamin. Verschiedene Lebewesen benötigen daher individuelle Vitamine. Allgemein werden aber nur die für Menschen lebenswichtigen Stoffe als Vitamine bezeichnet.

Ähnliche Stoffe, die gesundheitsfördernd, aber nicht lebensnotwendig sind, werden unter dem Begriff sekundäre Pflanzenstoffe zusammengefasst.

Aufgabe und Funktion

Vitamine sorgen grundsätzlich für das Funktionieren des Stoffwechsels. Ihre Aufgabe besteht in einer Regulierung der Verwertung von Nährstoffen wie Kohlenhydraten, Eiweißen und Mineralstoffen, sorgen für deren Abbeziehungsweise Umbau und dienen somit auch der Energiegewinnung. Vitamine stärken das Immunsystem und sind unverzichtbar beim Aufbau von Zellen, Blutkörperchen, Knochen und Zähnen. Jedes einzelne Vitamin erfüllt bestimmte Aufgaben. Sie unterscheiden sich dadurch auch hinsichtlich ihrer verschiedenartigen Wirkungen.

Geschichte

Nach dem Lesen eines Artikels des niederländischen Arztes Christiaan Eijkman beschäftigte sich der polnische Biochemiker Casimir Funk 1912 intensiv mit der Isolierung des Wirkstoffes gegen die Vitaminmangelkrankheit Beri-Beri, eine bis dahin unerklärliche neue Krankheit, die in Japan und auf Java auftrat. Eijkman hatte in einem Militärhospital in Batavia beobachtet, dass neben Patienten (Strafgefangenen) und Personal auch die Hühner im Hof des Hospitals die Symptome der Krankheit Beri-Beri (zu deutsch: Schafsgang) zeigten, da sie seit einiger Zeit ebenfalls mit weißem, geschälten Reis gefüttert worden waren, statt wie bisher mit braunem Reis. Beri-Beri ging mit Lähmungen und Kräfteverlust einher. Diese Krankheit trat erst auf, nachdem man in diesen Ländern europäische Reisschälmaschinen eingeführt hatte. Es wurde eine Mangelkrankheit vermutet. Casimir Funk isolierte aus Reiskleie einen Stoff, der die Mangelkrankheit heilen konnte. Die Analyse der Verbindung zeigte, dass es sich um eine stickstoffhaltige Verbindung, ein Amin handelte. Funk hatte das Thiamin, heute unter der Bezeichnung Vitamin B1 bekannt, entdeckt. Auf Grund dieser Befunde schlug Funk das Kunstwort Vitamin (vita-das Leben und Amin für Stickstoffverbindungen) vor. **1926** wurde das Vitamin B1 (**Thiamin**) erstmalig

von den holländischen Chemikern B. C. P. Jansen und W. Donath in kristalliner Form aus Reiskleie isoliert. 1936 wurde die Struktur von Vitamin B1 etwa gleichzeitig von R. R. Williams und M. Grewe aufgeklärt. Die Synthese erfolgte durch R. R. Williams 1936 und von H. Andersag und K. Westphal 1937.

Zwischen 1920 und 1980 wurden die heute (2004) bekannten Vitamine erstmals rein dargestellt. Für diese Vitamine sind inzwischen auch chemische Synthesewege bekannt. Krankheiten, als Folge von Vitaminmangelerscheinungen, wurden erst zu Beginn des 20. Jahrhundert erkannt.

In der Annahme, dass es sich um ernährungsbedingte Krankheiten handele, versuchte man durch die Zufuhr entsprechender Nahrungsmittel Krankheiten wie Skorbut, Beri-Beri, und Rachitis zu bekämpfen. Mit Hilfe von Tierversuchen wurde die Hypothese bestätigt, dass die Krankheiten durch das Fehlen bestimmter Nahrungssubstanzen verursacht wurden. Durch weitere Tierversuche fand man heraus, welches die essentiellen Nahrungsbestandteile sind. Im Anschluss daran konnte man aus diesen die jeweiligen Vitamine isolieren.

1913 wurde die Bezeichnung der Vitamine mit großen Buchstaben des Alphabets durch den amerikanischen Biochemiker Elmer Vermon McCollum eingeführt. Somit gab es ein Vitamin A, B, C und D. Anschließend kamen noch die Vitamine E und K hinzu. Bei der Analyse der Nahrung, die Vitamin B enthielt, stellte sich heraus, dass es sich hier um mehr als einen Faktor handelte, der mehrere Symptome ausschalten konnte. Somit sprachen die Biologen von Vitamin B1, B2, usw.

Übersicht über die Entdeckung der Vitamine und ihrer Struktur

Benennung von Vitaminen

Der polnische Biochemiker Casimir Funk nahm 1912 an, dass alle lebensnotwendigen Stoffe eine NH₂-Gruppe enthielten. Er prägte deshalb den Begriff „Vitamin“ (aus lat. vita für Leben und amin für stickstoffhaltig. Spätere Untersuchungen zeigten aber, dass bei weitem nicht alle Vitamine Amine sind oder sonstige basische Stickstoffatome enthalten. Gute Beispiele hierfür sind das Vitamin A (Retinol), ein stickstofffreier, ungesättigter Alkohol und das Vitamin C (Ascorbinsäure), eine strukturell den Kohlenhydraten ähnliche, jedoch sauer wirkende Substanz. Neben der chemischen Struktur, die dem Vitamin den Namen gibt, werden auch Buchstaben, kombiniert mit einer Nummernbezeichnung, und Trivialnamen verwendet, oft sogar mehrere für eine Substanz. Heute sind viele nicht mehr gebräuchlich. Lücken in der Buchstabenreihe entstanden, nach dem sich heraus gestellt hatte, dass nicht alle ursprünglichen Isolierungen sich als einheitliche Substanzen erwiesen. Andere, heute weitgehend verschwundene Bezeichnungen für Vitamine waren auch: Komplettime, Nutramine und akzessorische Nährstoffe oder auch Ergänzungsstoffe, weil die chemisch reinen Fette, Eiweiße und Kohlenhydrate erst durch das Hinzukommen von Vitaminen (und Mineralstoffen) zu vollwertigen Nährstoffen ergänzt werden. Im deutschsprachigen Raum sind sowohl die Buchstaben-/ Nummernbezeichnung des Vitamins als auch die

Wortbezeichnung üblich. Von den in der medizinischen Wissenschaft gegenwärtig (2004) bekannten 20 Vitaminen gelten 13 Vitamine als unerlässlich:

* Die Buchstabenbezeichnung für die Vitamine Niacin (B3) und Pantothensäure (B5) wird in der einschlägigen Literatur unterschiedlich verwendet. So werden in folgender Literatur das Niacin auch als B5 und Pantothensäure als B3

bezeichnet: Bässler, K.-H.: Vitamin-Lexikon, Urban & Fischer, München, Jena, 2002, ISBN 3437211412 und in folgender Literatur wird Niacin beispielsweise als B3 bezeichnet: Schauder, P., Ollenschläger, G.: Ernährungsmedizin, Urban & Fischer, München, Jena, 2003, ISBN 3437229206

** Niacin (Nicotinsäureamid und Nicotinsäure)

*** Vitamin K (K1 Phyllochinon, K2 Menachinon)

Weitere, in der Literatur und anderen Ländern verwendete Trivialnamen für (meist fälschlich als solche bezeichnete) Vitamine

Beschreibung

Vitamine sind wissenschaftlich gesehen keine chemisch einheitliche Stoffgruppe. Sie sind organische Verbindungen, die biologische Vorgänge im menschlichen (und tierischen) Organismus regulieren. Vitamine zählen, wie auch die Mineralstoffe und Spurenelemente, zu den nicht energieliefernden Nährstoffen, die der Körper zur Erhaltung seines Lebens und seiner Leistungsfähigkeit unbedingt benötigt. Da es sich bei den Vitaminen um recht komplizierte organische Moleküle handelt, kommen sie in der unbelebten Natur nicht vor. Vitamine müssen erst von Pflanzen, Bakterien oder Tieren gebildet werden. Der Mensch ist, bis auf wenige Ausnahmen, bei denen er bestimmte Vitamine selber erzeugen kann, auf die Aufnahme über die Nahrung angewiesen. Vitamine sind essentielle Wirkstoffe, das heißt, dass sie zur Aufrechterhaltung von Gesundheit und Leistungsfähigkeit des menschlichen Organismus lebensnotwendig sind. Einige Vitamine werden dem Körper als Vorstufe (Provitamine) zugeführt, die erst im Körper in die entsprechende Wirkform umgewandelt werden.

Als Provitamine bezeichnet man die biologische Vorstufe eines Vitamins, wie beispielsweise das von Pflanzen gebildete Beta-Carotin (β -Carotin), das dann von Tieren oder Menschen in Vitamin A Retinol umgewandelt wird.

Im Körper können bestimmte Vitamine gespeichert werden, man kann diese sozusagen auf Vorrat essen, andere wiederum können nicht gespeichert werden, sondern müssen über die Nahrung laufend zugeführt werden. Danach werden die Vitamine in zwei Gruppen eingeteilt: in die Gruppe der fettlöslichen, speicherbaren Vitamine und die Gruppe der wasserlöslichen, nicht speicherbaren Vitamine

Zu den fettlöslichen Vitaminen gehören:

A Retinol/ β -Carotin, D Calciferol, E Tocopherol und K Phyllochinon. Letzteres kann allerdings trotz seiner Fettlöslichkeit nur in unbedeutenden Mengen vom Körper gespeichert werden. Vitamin D wird heute allerdings nicht mehr zu den Vitaminen, sondern zu den Hormonen gerechnet

Zu den wasserlöslichen Vitaminen gehören die acht Vitamine des B-Komplexes

Dies ist eine Sammelbezeichnung wasserlöslicher Vitamine, unterschiedlicher, chemischer Zusammensetzung. Sie sind in tierischen und pflanzlichen Lebensmitteln enthalten. Einzelne B-Vitamine kommen in der Natur niemals isoliert vor. Sie wirken aus diesem Grund in der Regel auch im Verbund.

B1 Thiamin, B2 Riboflavin, B3 Niacin (Nicotinsäureamid und Nicotinsäure), B5 Pantothersäure, B6 Pyridoxin, B7 Biotin, B9 Folsäure, B12 Cobalamin, sowie zusätzlich das Vitamin C Ascorbinsäure.

Eine Ausnahme bildet das Vitamin B12 Cobalamin. Es kann trotz seiner Wasserlöslichkeit vom Organismus gespeichert werden.

Vitaminabsorption

Fettlösliche Vitamine

Vitamin A

Vitamin D

Vitamin E

Vitamin K

Fettlösliche Vitamine sind nichtpolare Moleküle, die sehr gut in Lipiden löslich sind. Ihre Resorption bedarf daher der Micellenbildung. Sie werden in ähnlicher Weise wie Cholesterin in den Mukosazellen in Chylomikronen eingebaut. Um sich diese fettlöslichen Vitamine besser merken zu können, kann man als Eselsbrücke „EDEKA“ verwenden

Vitamin D wird heute allerdings nicht mehr zu den Vitaminen, sondern zu den Hormonen gerechnet.

Wasserlösliche Vitamine

Vitamin C

Vitamin B1

Vitamin B2

Niacin (Nicotinsäure, Vitamin B3)

Pantothersäure (Vitamin B5)

Vitamin B6

Biotin (Vitamin B7, Vitamin H)

Vitamin B9 (Folsäure)

Vitamin B12

Wasserlösliche Vitamine werden im Dünndarm mittels Carriern oder Rezeptoren absorbiert. Während Vitamin B2 durch passiven Transport aufgenommen wird, erfolgt die Absorption von Vitamin B1, Vitamin B12 und Vitamin C aktiv.

Die wasserlöslichen Vitamine sind Vorläufer von Coenzymen oder prosthetischen Gruppen verschiedener Enzyme.

In der nachfolgenden Tabelle werden nur einige Beispiele für das Vorkommen und die Wirkungen der Vitamine genannt. Mehr dazu ist unter dem Artikel des einzelnen Vitamins zu finden. Während gesichert ist, dass beispielsweise Zitrusfrüchte Vitamin C enthalten, so ist es hingegen schwer, eine quantifizierte Aussage zu treffen: Der Vitamingehalt der Ausgangsprodukte ist abhängig von zahlreichen Faktoren wie Bodenbeschaffenheit, Lagerdauer etc. Auch die Zubereitungstemperatur und -dauer können eine Rolle spielen, da viele

Vitamine nicht hitzestabil sind. Der genaue Vitaminbedarf eines einzelnen Individuums (siehe unten) ist allerdings auch nicht geklärt, so dass es beim aktuellen Stand der Forschung nicht möglich ist zu entscheiden, wann die „richtige“ Vitaminmenge aufgenommen wurde. Von den 13 Vitaminen, die in der medizinischen Wissenschaft als unerlässlich gelten, sind zwei nicht in strengem Sinne essentiell, nämlich Vitamin D (Calciferol) und Niacin (Vitamin B3). Begründet wird dies damit, dass Stoffe mit Vitamin-D- und Niacin-Eigenschaften vom Körper unter bestimmten Umständen selbst gebildet (synthetisiert) werden können. So kann Vitamin D3 Cholecalciferol beispielsweise unter Einwirkung des Sonnenlichtes aus 7-Dehydrocholesterin, einem biologischen Derivat des Cholesterin, entstehen. Niacin kann beim Abbau des Tryptophans gebildet werden.

Biologische Werte sind, anders als bei physikalischen Größen, nie absolut, sondern werden immer von einer Vielzahl von Beeinflussungsfaktoren bestimmt. Bei den nachfolgend genannten Bedarfsgrößen handelt es sich um Durchschnittswerte mit verallgemeinerndem Charakter. Neben dem Geschlecht und dem Alter sind noch eine Vielzahl anderer Faktoren ausschlaggebend, die den jeweiligen Bedarf einer Person unter bestimmten Lebensumständen beeinflussen. So gehören beispielsweise die beruflichen und umweltbedingten Belastungsfaktoren, die körperliche und nervliche Belastung, Stress, Ernährungsgewohnheiten, Schwangerschaft, Stillzeiten, Krankheit, Rauchen, Trinken usw. dazu, die den Bedarf ansteigen lassen.

Die benötigten Mengen liegen im Bereich von wenigen Milligramm (mg). So benötigt der menschliche Körper beispielsweise täglich 75 mg Vitamin C (Ascorbinsäure), aber nur etwa 0,8–1,0 mg an Vitamin A (Retinol) und 1,3–1,8 mg an Vitamin B1 (Thiamin). Die Empfehlungen variieren sehr stark. Die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) empfiehlt beispielsweise täglich 100 mg Vitamin C zu sich zu nehmen und die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt dagegen nur 30 mg pro Tag.

Einige Bakterien der Darmflora sind in der Lage, die Vitamine K und B12 zu synthetisieren. Falls sie durch die Einnahme starker Antibiotika zerstört werden, kann leicht ein Mangel entstehen. Es gibt allerdings medizinische Möglichkeiten, diese Bakterien wieder im Darm anzusiedeln.

Vitaminübersicht

(*) In pflanzlicher (auch fermentierter) Nahrung ist zum Teil für Menschen unverwertbares B12-Analoga vorhanden. Für Vegetarier und Veganer ist daher eine vielseitige vegetarische oder vegane Ernährung wichtig.

Mangelscheinungen und Überversorgungen

Hypovitaminose

Ein Vitaminmangel kann entstehen als Folge eines erhöhten Bedarfs (während Schwangerschaft und Stillzeit, in der Kindheit und Jugend), aufgrund einer mangelnden Zufuhr, durch Malassimilation infolge anderer Grunderkrankungen, als Folge von Medikamenteneinnahme (orale Kontrazeptiva) oder nach parenteraler Ernährung ohne Vitaminzugabe. Auch durch Aufbewahrung und

Zubereitung der Lebensmittel bestimmen wir ihren Vitamingehalt, so dass trotz Auswahl der richtigen Nahrungsmittel ein Mangel entstehen kann.

Dies kann zu Mangelercheinungen führen, die graduell in eine Hypovitaminose oder Avitaminose unterteilt werden. Vitaminmangelkrankheiten sind unter den europäischen Ernährungsbedingungen selten geworden und meist auf Alkoholabhängigkeit zurückzuführen. Betroffen sein können auch alte Menschen, Raucher oder strenge Vegetarier. Die Krankheitszeichen sind je nach dem betroffenen Vitamin verschieden. Je nach Art und Ausmaß der Schädigung kann sich der Organismus erholen. Bei Mangel an Vitamin B1 kommt es zu Beri-Beri. Ein Mangel an Vitamin C führt zu Skorbut. Vitamin-A-Mangel führt zu Nachtblindheit und trockener Haut. Vitamin-K-Mangel erhöht die Blutungsneigung, da es zur Synthese einiger Gerinnungsfaktoren benötigt wird.

Bei Alkoholikern führen gleich mehrere Faktoren zu einem Vitaminmangel. Der chronisch Suchtkranke nimmt außer dem Suchtmittel kaum andere Nahrung zu sich, er leidet an einer Mangelernährung. Die Schleimhaut des Verdauungstraktes über Speiseröhre, Magen und Dünndarm kann schwer geschädigt sein, ebenso die Bauchspeicheldrüse. Nahrungseinnahme ist verbunden mit Übelkeit, Erbrechen, Durchfall. Die Verdauung und Aufnahme im Magendarmtrakt ist gestört (Malabsorption, Maldigestion). Zu Schäden des Blutbildes und des Nervengewebes kommt es v. a. durch Mangel der Vitamine B1 (Wernicke-Korsakow-Syndrom), Vitamin B6 und Folsäure (Polyneuropathie) und B12 (perniziöse Anämie, funikuläre Myelose). Die Infektabwehr ist gemindert. Die Blutgerinnung ist – aus verschiedenen Gründen – gestört.

Hypervitaminose

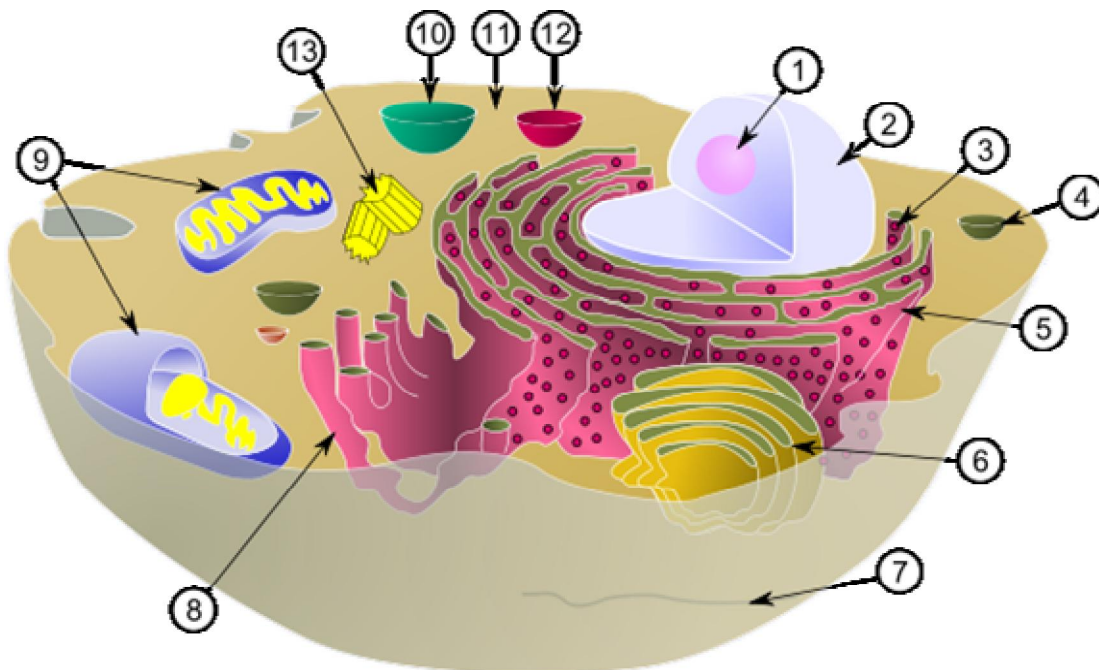
Eine Vitaminübersversorgung wird Hypervitaminose genannt. Die fettlöslichen Vitamine (E, D, K, A) können im Körper, meist in der Leber, gespeichert werden. Damit kann es auch zu Überdosierungen kommen. Die wasserlöslichen Vitamine werden über die Niere rasch ausgeschieden.

Als Hypervitaminosen werden jene Erscheinungen zusammengefasst, die bei übermäßiger Zufuhr der entsprechenden Vitamine auftreten können. Dies ist durch herkömmliche Ernährung nicht zu erreichen. In Frage kommen aber hochdosierte Vitamingaben.

Vitamin D ist in Verbindung mit Calcium unstrittig bei der Behandlung der Osteoporose. Bei chronischer Einnahme von Konzentrationen über 0,3 mg/d kann durch die dauerhafte Ansammlung im Körper der gegenteilige Effekt erreicht werden, die Knochenentkalkung und damit die Entstehung einer Osteoporose werden gefördert. Das Provitamin Beta-Carotin (Vorstufe des Vitamin A) kann hochdosiert bei Rauchern vermutlich das Lungenkrebsrisiko erhöhen. Für die Vitamine der B-Gruppe (wasserlöslich) sind unerwünschte Wirkungen bei hohen Dosen nur für Vitamin B6 bekannt, bei Einnahme von mehr als 50 mg pro Tag – das ist die zwanzigfache Tagesdosis! – resultiert eine sensorische Polyneuropathie [1]. Eine aktuelle Bewertung vom Bundesinstitut für Risikobewertung ist 2005 erschienen.

35. Zelle

Die Zelle (lateinisch *cellula* = kleine Kammer, Zelle) ist die strukturell sichtbare Einheit aller Lebewesen. Es gibt Einzeller, die aus einer Zelle bestehen, und Mehrzeller, bei denen mehrere Zellen zu einer funktionellen Einheit verbunden sind. Der menschliche Körper beispielsweise besteht aus rund 220 verschiedenen Zell- und Gewebetypen. Dabei haben die Zellen ihre Selbständigkeit durch Arbeitsteilung (Spezialisierung) aufgegeben und sind einzeln oft nicht mehr vollständig lebensfähig



Organisation einer typischen eukaryotischen Tierzelle.

1. Nukleolus. 2. Zellkern (Nukleus). 3. Ribosomen. 4. Vesikel. 5. Raues Endoplasmatisches Reticulum (ER). 6. Golgi-Apparat. 7. Mikrotubuli. 8. Glattes ER. 9. Mitochondrien. 10. Lysosom. 11. Zytoplasma. 12. Mikrobodies. 13. Zentriolen

Grundlagen

Jede Zelle stellt ein strukturell abgrenzbares, eigenständiges und selbsterhaltendes System dar. Sie ist in der Lage, Nährstoffe aufzunehmen, diese in Energie umzuwandeln, verschiedene Funktionen zu übernehmen und vor allem sich zu reproduzieren. Die Zelle enthält die Informationen für all diese Funktionen bzw. Aktivitäten. Alle Zellen haben an sich grundlegende Fähigkeiten, die als Merkmale des Lebens bezeichnet werden:

- Vermehrung durch Zellteilung (Mitose oder Meiose)
- Stoff- und Energiewechsel (Nahrungsaufnahme, Aufbau von Zellstrukturen oder Energieumsatz)
- Reaktion auf Reize (externe oder interne Reize, auf abiotische Faktoren wie Temperatur oder Nahrungsangebot, auf biotische Faktoren wie Fressfeinde und viele andere)
- Möglichkeit der Bewegung (bei Bakterien zum Beispiel durch die Geißel, bei Tieren durch Muskeln, auch in der Zelle bewegen sich Proteine und Vesikel)

Im Laufe der Evolution haben sich verschiedene Arten von Zellen gebildet: zum einen die Prokaryoten, die einfach gebaut sind und keinen Zellkern aufweisen, und zum anderen die Eukaryoten, welche sich vom Aufbau her stark von den Prokaryoten unterscheiden. Prokaryoten treten immer als Einzeller auf, das heißt jede Zelle für sich ist selbständig lebens- und funktionsfähig. Eukaryoten können sowohl als Einzeller als auch als Mehrzeller auftreten. Bei den Mehrzellern bilden Zellen sogenannte Zweckverbände. Sie teilen sich Funktionen und sind oft einzeln nicht mehr lebensfähig. Durch die Spezialisierung in Vielzellern sind die oben beschriebenen Fähigkeiten eingeschränkt.

Jede Zelle, ob prokaryotisch oder eukaryotisch, hat eine Membran, die die Zelle von der Umgebung abgrenzt. Durch diese Membran wird kontrolliert, was in die Zelle aufgenommen und was hinaustransportiert wird. Auf jeder Seite der sogenannten Zellmembran befinden sich Ionen, elektrostatisch geladene Atome oder Moleküle, unterschiedlicher Konzentrationen, die durch die Zellmembran getrennt gehalten werden. Dadurch wird ein Konzentrationsunterschied oder auch elektrochemisches Potential aufrecht erhalten. Das durch die Zellmembran umschlossene Medium wird Cytoplasma genannt. Alle Zellen besitzen Desoxyribonukleinsäure (DNA), in der die Erbinformationen gespeichert sind, Ribonukleinsäure (RNA), die zum Aufbau von Proteinen wie den Enzymen notwendig ist, und Proteine, die die meisten Reaktionen in der Zelle katalysieren oder Strukturen in der Zelle bilden. Im folgenden sind die wichtigsten Zellkomponenten aufgelistet und kurz beschrieben:

Zellmembran - die schützende Hülle

Jede Zelle ist von einer Zellmembran oder auch Plasmamembran umschlossen. Diese Membran trennt die Zelle von der Umgebung ab und schützt sie auch. Sie besteht hauptsächlich aus einer Doppellipidschicht und verschiedenen Proteinen, die unter anderem den Austausch von Ionen oder Molekülen zwischen der Zelle und ihrer Umgebung möglich machen.

Zellskelett - das Gerüst der Zelle

Das Zellskelett ist ein wichtiges, komplexes und auch dynamisches Zellelement. Es besteht aus Proteinen, den Mikrofilamenten. Es ist verantwortlich für die mechanische Stabilisierung der Zelle und ihrer äußeren Form, für aktive Bewegungen der Zelle als Ganzes, sowie für Bewegungen und Transporte innerhalb der Zelle.

Das genetische Material

In der Zelle existieren zwei Arten von genetischem Material: die Desoxyribonukleinsäuren (DNS; engl. DNA) und die Ribonukleinsäuren (RNS; engl. RNA). Für die Speicherung der Informationen über lange Zeit wird von den Organismen DNA genutzt. Die RNA wird häufig zum Transport der Information (z.B. mRNA) und für Enzym-ähnliche Reaktionen (z.B. rRNA) verwendet. Bei Prokaryoten liegt die DNA in einfacher, in sich geschlossener („circulärer“) Form vor. Diese Struktur nennt man Bakterienchromosom, obwohl sie sich von Chromosomen der eukaryotischen Zellen beträchtlich unterscheidet. In eukaryotischen Zellen ist die DNA an verschiedenen Orten verteilt: im Zellkern

und in den Mitochondrien und Plastiden, Zellorganellen mit doppelter Membran. In den Mitochondrien und den Plastiden liegt die DNA wie in Prokaryoten „circulär“ vor. Die DNA im Zellkern ist linear in sogenannten Chromosomen organisiert. Die Anzahl der Chromosomen variiert von Art zu Art. Die menschliche Zelle besitzt 46 Chromosomen.

Die Organellen

Bei mehrzelligen Organismen sind die Zellen meistens zu Geweben zusammengefasst, die auf bestimmte Funktionen spezialisiert sind. Oft bilden solche Gewebe einen Komplex, den man Organ nennt. Beim Menschen ist zum Beispiel die Lunge für den Gasaustausch von Kohlendioxid und Sauerstoff verantwortlich. Ähnliche funktionsbezogene Strukturen gibt es in kleinstem Maßstab auch innerhalb der Zelle. Diese Strukturen nennt man Organellen, "kleine Organe". Solche Organellen sind in jeder Zelle zu finden. Jedoch gibt es in Eukaryoten manche, die den Prokaryoten fehlen. Auch der Aufbau von pflanzlichen und tierischen Zellen unterscheidet sich teilweise durch Anzahl und Funktion mancher Organellen. Im folgenden werden wichtige Organellen aufgeführt.

Zellkern - Das Steuerrad der Zelle

Der Zellkern bildet die Steuerzentrale der eukaryotischen Zelle: er enthält die chromosomale DNA und somit die Mehrzahl der Gene. Durch die Kernhülle, eine doppelte Membran, wird der Kern von Cytoplasma abgegrenzt. Sie wird von Kernporen durchbrochen, wodurch ein Austausch von Molekülen zwischen der Substanz des Kerninneren, dem sogenannten Karyoplasma, und dem Cytoplasma möglich ist. Die äußere Membran der Kernhülle steht mit dem endoplasmatischen Retikulum in Verbindung. Im Zellkern findet die Synthese der RNA statt. Jene RNA-Arten, die für die Proteinsynthese benötigt werden, werden aus dem Zellkern durch die Kernporen ins Cytoplasma transportiert. Lichtmikroskopisch ist im Kern eine Struktur zu erkennen, die man Kernkörperchen oder Nukleolus nennt. Die DNA in diesem Bereich des Kerns enthält die Baupläne für die ribosomale RNA, also für die katalytische RNA der Ribosomen.

Ribosomen - Die Proteinfabrik

Die Ribosomen sind aus RNA und Protein bestehende Komplexe in Pro- und Eukaryoten. Sie sind für die Synthese von Proteinen aus Aminosäuren verantwortlich. Die mRNA dient dafür als Information für die Reihenfolge der Aminosäuren in den Proteinen. Die Proteinbiosynthese ist sehr wichtig für alle Zellen, weshalb die Ribosomen in vielfacher Zahl in den Zellen vorliegen, zum Teil hunderte bis tausende von Ribosomen pro Zelle.

Die Mitochondrien - Die Kraftwerke der Zelle[^]

Die Mitochondrien gehören zu den selbstvermehrenden Organellen und sind nur in Eukaryoten in unterschiedlicher Anzahl zu finden. Sie enthalten ein eigenes Genom, das viele aber nicht alle der für die Mitochondrien wichtigen Gene enthält. Die anderen Gene befinden sich auf den Chromosomen im Zellkern. Deshalb sind die Mitochondrien semiautonome. Mitochondrien werden als "Energiekraftwerke" der Zelle bezeichnet. In ihnen findet die Oxidation

organischer Stoffe mit molekularem Sauerstoff statt, wobei Energie freigesetzt und in Form von chemischer Energie (als ATP) gespeichert wird.

Die Plastiden

Plastiden existieren nur in Eukaryoten, die Photosynthese betreiben, also Pflanzen und Algen. Wie die Mitochondrien besitzen die Plastiden ihr eigenes Genom und sind wie die Mitochondrien selbstvermehrend, also auch semiautonom. Es gibt verschiedene Plastiden, die alle von dem sogenannten "Proplastiden" abstammen. Sie sind in der Lage, sich in eine andere Plastidenform umzuwandeln. Der Chloroplast ist der am häufigsten rezitierte. Er enthält viele Farbstoffe wie das Chlorophyll, welches unter anderem in die Photosynthese involviert ist. Ein anderer Plastid ist zum Beispiel der Amyloplast, der in der Lage ist, Stärke, ein Fotosynthese-Endprodukt, zu speichern.

Das endoplasmatische Retikulum und der Golgi-Apparat

Diese beiden Systeme bestehen aus von Membranen begrenzten Hohlräumen und sind in den meisten Eukaryoten zu finden. Sie sind funktionell eng miteinander verknüpft. Das Endoplasmatische Retikulum (ER) ist das schnelle Transportsystem für chemische Stoffe, weiterhin wird in der Mitose die neue Kernmembran vom ER abgeschnürt. Außerdem ist es für die Translation, Proteinfaltung, posttranslationale Modifikationen von Proteinen und Proteintransport von Bedeutung. Diese Proteine werden anschließend vom Golgi-Apparat "verteilt". Im Golgi-Apparat werden die Proteine modifiziert, sortiert und an den Bestimmungsort transportiert. Defekte Proteine werden dabei aussortiert und abgebaut.

Lysosomen und Peroxisomen - die Verdauungsorganellen der Zelle

Lysosomen sind winzige, von einer Membran umschlossene Zellorganellen in Eukaryoten. Sie enthalten hydrolytische Enzyme und Phosphatasen. Ihre Hauptfunktion besteht darin, mittels der in ihnen enthaltenen Enzyme aufgenommene Fremdstoffe zu verdauen. Bei Pflanzen nehmen Zellsaftvakuolen die Aufgaben der Lysosomen wahr. Peroxisomen (Glyoxisomen im Speichergewebe von Pflanzensamen), auch Microbodies genannt, sind evolutionär sehr alte Zellorganellen in eukaryotischen Zellen. Sie fungieren als Entgiftungsapparate. In den Peroxisomen befinden sich ca. 60 Monooxygenasen und Oxidasen genannte Enzyme, die den oxidativen Abbau von Fettsäuren, Alkohol und anderen schädlichen Verbindungen katalysieren.

Zentriolen

Zentriolen sind zylinderförmige Strukturen im Ausmaß von etwa 170 x 500 Nanometern. Sie sind an der Bildung des MTOC (Mikrotubuli-organizing centers) beteiligt, das während der Mitose den Spindelapparat zur Trennung der Chromosomen bildet, aber auch während der Interphase zur Organisation und physikalischen Stabilisierung der Zelle beiträgt. Zentriolen kommen in den meisten tierischen Zellen und den Zellen niederer Pflanzen vor, nicht jedoch bei den höheren Pflanzen (Angiospermen).

Die Vakuole - Speicher- und Entgiftungsorgan

Vakuolen sind große von Membranen umschlossene Reaktionsräume vorwiegend in Pflanzen, aber zum Beispiel auch im Pantoffeltierchen (Euglena). Sie erfüllen die vielfältigsten Aufgaben, unter anderem Aufrechterhaltung des Zelldrucks (Turgor), Lager für toxische Stoffe, Farbgebung der Zelle, Verdauung von Makromolekülen und im Falle der kontraktilen Vakuole der Wasserausscheidung