

Kurzzusammenfassung Physiologie und Biologische Chemie

Patrick Koehne
Irisweg 9
59439 Holzwickede
e-mail: patrick@koehne-net.de

20. Oktober 1999

Zusammenfassung

Dieses Dokument ist meiner Prüfung am 27.08.1993 gewidmet. Egal wer diese Seiten lesen sollte. Er kommt nicht drumherum die entsprechenden Kapitel im Thews–Vaupel–Mutschler einmal durchzulesen, um einige Ausführungen verstehen zu können. Diese Zusammenfassung ist nur zum nachträglichen Eintrichtern der wichtigsten Dinge gedacht.

Ich gebe zu, daß ich bei den letzten Kapiteln nicht mehr so die große Motivation an den Tag gelegt habe. Aber irgendwann hat man vom Tippen die Nase voll.

Ich übernehme keinerlei Garantie für die Richtigkeit der Zusammenfassung! Falls Ihr Fehler findet, sowohl fachlicher Art als auch schriftlicher Art, dann gebt mir bitte bescheid. Ich werde diese bei Gelegenheit korrigieren!! Alle Angaben bitte mit genauer Kapitelnummer und am besten auch Zeile. Sonst suche ich mich tot. Ach ja, und nur schriftlich oder per e-mail, sonst bin ich sowieso kaum zu erreichen.

Viel Spaß beim lesen und

viel Glück bei Euren Prüfungen. (meine ist mit 1.0 ausgegangen)

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--------------------------------------|----------|
| 1 | Entwicklung der Gewebe | 7 |
| 2 | Die Zelle | 8 |
| 2.1 | Zellmembran und Zytoplasma | 8 |
| 2.2 | Zellorganellen | 8 |

| | |
|--|-----------|
| <i>INHALTSVERZEICHNIS</i> | 2 |
| 2.3 Paraplasma | 8 |
| 2.4 Zellkern | 9 |
| 3 Chromosomen | 9 |
| 3.1 Aufbau | 9 |
| 3.2 Chromosomensatz | 9 |
| 3.3 Genetische Information | 10 |
| 3.4 Proteinbiosynthese | 10 |
| 4 Hormonales System | 10 |
| 4.1 Bildungsorte der Hormone | 10 |
| 4.2 Speicherung der Hormone | 11 |
| 4.3 Wirkungsmechanismen der Hormone | 11 |
| 4.4 Hormontypen | 11 |
| 4.5 Störungen im Hormonsystem | 11 |
| 4.5.1 Störungen im hypothalamisch–neurohypophysären System | 11 |
| 4.5.2 Störung der Adenohypophyse | 11 |
| 4.5.3 Störung der Schilddrüsenfunktion | 13 |
| 4.5.4 Nebenniereninsuffizienz | 14 |
| 4.5.5 Nebennierenmarküberfunktion | 15 |
| 4.5.6 Hypoglykämie | 15 |
| 4.5.7 Diabetes mellitus | 15 |
| 5 Ernährung | 16 |
| 5.1 Kohlenhydrate | 16 |
| 5.1.1 Ungenügende Kohlenhydratzufuhr | 16 |
| 5.1.2 Glucose (<i>Traubenzucker</i>) | 16 |
| 5.2 Fette | 17 |
| 5.2.1 Essentielle Fettsäuren | 17 |
| 5.2.2 Cholesterin | 17 |
| 5.2.3 Lipoproteine | 17 |
| 5.3 Eiweiße | 18 |
| 5.4 Vitamine | 18 |
| 5.4.1 Fettlösliche Vitamine | 18 |
| 5.4.2 Wasserlösliche Vitamine | 19 |
| 5.5 Wasser, Salze, Spurenelemente | 22 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 6 | Verdauung | 22 |
| 6.1 | Speicheldrüsen | 22 |
| 6.2 | Magen | 23 |
| 6.3 | Pepsinbildung | 23 |
| 6.4 | Intrinsic-Faktor | 24 |
| 6.5 | Dünndarm | 24 |
| 6.6 | Dickdarm | 24 |
| 6.7 | Pankreas | 24 |
| 6.8 | Leber | 25 |
| 6.9 | Enzymatische Spaltung und Resorption | 25 |
| 6.9.1 | Wasserresorption | 25 |
| 6.9.2 | Na^+ -Resorption | 25 |
| 6.9.3 | Kalium, Chlorid, Bicarbonatresorption | 26 |
| 6.9.4 | Calcium- und Magnesiumresorption | 26 |
| 6.9.5 | Eisenresorption | 26 |
| 6.9.6 | Kohlenhydratresorption | 26 |
| 6.9.7 | Eiweißresorption | 26 |
| 6.9.8 | Lipidresorption | 26 |
| 7 | Elektrophysiologie von Nerv und Muskel | 28 |
| 7.1 | Aufgabe des Nervensystems | 28 |
| 7.2 | Aufbau von Nervenzellen | 28 |
| 7.3 | Aufbau der Zellmembran | 28 |
| 7.4 | Ionenverteilung | 28 |
| 7.5 | Aktiver Natrium-Kalium-Transport | 28 |
| 7.6 | Ruhepotential | 29 |
| 7.7 | Aktionspotential | 29 |
| 7.8 | Analyse der Ionenströme | 29 |
| 8 | Elektrische Reizung | 29 |
| 8.1 | Gleichstrom | 29 |
| 8.2 | Langsam ansteigender Strom | 30 |
| 8.3 | Wechselstrom | 30 |

| | |
|---|-----------|
| <i>INHALTSVERZEICHNIS</i> | 4 |
| 9 Erregungsleitung | 30 |
| 9.1 Kabeleigenschaften von Nerv- und Muskelfasern | 30 |
| 9.2 Fortleitung von Aktionspotentialen | 30 |
| 9.3 Summenaktionspotentiale | 30 |
| 9.4 Leitungsgeschwindigkeit | 30 |
| 10 Erregungsleitung an Rezeptoren | 31 |
| 10.1 Wandlerprozeß/Reiztransduktion | 31 |
| 10.2 Reizcodierung | 31 |
| 11 Erregungsübertragung an Synapsen | 31 |
| 11.1 Funktionsprinzip | 31 |
| 11.2 Motorische Endplatten | 31 |
| 11.3 Quantennatur der chemischen Übertragung | 32 |
| 11.4 Neuromuskuläre Blockade | 32 |
| 11.5 Chemische Synapsen | 32 |
| 11.6 Elektrische Synapsen | 32 |
| 12 Muskelphysiologie | 32 |
| 12.1 Aufgabe des Muskels | 32 |
| 12.2 Aufbau des Muskels | 33 |
| 12.3 Kontraktionsmechanismus | 33 |
| 12.4 Auslösung der Kontraktion | 34 |
| 12.5 Elektromechanische Kopplung | 34 |
| 12.6 Regulierung der Muskelkraft | 34 |
| 12.7 Elektromyographie | 34 |
| 12.8 Muskelmechanik | 34 |
| 12.9 Glatte Muskel | 35 |
| 13 Motorisches Nervensystem | 35 |
| 13.1 Aufbau und Funktion | 35 |
| 13.2 Spinal-motorisches-System | 36 |
| 13.3 Motorische Funktion des Hirnstammes | 36 |
| 13.4 Motorische Funktion des Kleinhirns | 36 |
| 13.5 Motorischer Cortex | 37 |
| 13.6 Polysynaptische Reflexe | 37 |

| | |
|---|-----------|
| 14 Vegetatives Nervensystem | 37 |
| 14.1 Aufbau und Funktion | 37 |
| 14.2 Aufbau des peripheren vegetativen Systems | 38 |
| 14.2.1 Peripherer Sympathikus | 38 |
| 14.2.2 Peripherer Parasympthikus | 38 |
| 14.2.3 Viszerale Afferenzen | 38 |
| 14.3 Erregungsübertragung im vegetativen System | 39 |
| 14.4 Wirkungen des vegetativen Systems | 39 |
| 14.4.1 Noradrenalin– und Adrenalinwirkungen | 39 |
| 14.4.2 Wirkungen von Acetylcholin | 39 |
| 14.5 Vegetativer Reflexbogen | 39 |
| 15 Physiologie des Herzens | 40 |
| 15.1 Aufbau und Funktion | 40 |
| 15.2 Erregung und Kontraktion | 40 |
| 15.3 Nervale Beeinflussung der Herztätigkeit | 41 |
| 15.4 Elektrokardiographie | 41 |
| 15.4.1 Bedeutung der einzelnen EKG–Abschnitte | 41 |
| 15.5 Herzmechanik | 42 |
| 16 Kreislauf | 43 |
| 16.1 Aufbau und Funktion | 43 |
| 16.2 Strömungsgesetze | 43 |
| 16.3 Arteriell System | 44 |
| 16.4 Kapillarsystem | 44 |
| 17 Atmung | 45 |
| 17.1 Aufbau und Funktion | 45 |
| 17.2 Gastransport im Gasraum der Lunge | 45 |
| 17.3 Atemmechanik | 46 |
| 17.4 Gasaustausch zwischen Gas– und Blutraum | 46 |
| 17.5 Atmungsregulation | 46 |
| 18 Gastransport im Blut | 47 |
| 18.1 Blutvolumen und Zusammensetzung | 47 |
| 18.2 Sauerstofftransport | 47 |
| 18.3 Kohlendioxidtransport | 47 |

| | |
|---|-----------|
| <i>INHALTSVERZEICHNIS</i> | 6 |
| 19 Gehör | 47 |
| 19.1 Aufbau des menschlichen Ohres | 47 |
| 19.2 Funktion der Cochlea | 48 |
| 19.3 Erregung cochleärer Haarzellen | 48 |
| 20 Photorezeption | 49 |
| 20.1 Sehrezeptoren | 49 |
| 20.2 Sehpigmente | 49 |
| 20.3 Photochemie der Pigmente | 49 |
| 20.4 Farbsehen | 49 |
| 21 Abbildendes System | 50 |
| 21.1 Optische Mechanismen | 50 |
| 22 Energiehaushalt | 50 |
| 23 Viren | 50 |

1 Entwicklung der Gewebe

Bei der Kernverschmelzung entsteht die *Zygote* (erste Zelle), die sich durch mitotische Zellteilung zu zwei *Blastomeren* entwickelt, die sich anschließend schnell weiterteilen. Die Blastomeren ordnen sich in Form einer *Morula* an, aus deren zentralen Zellen der *Embryoblast* entsteht, während die äußeren Zellen den *Trophoblast* ergeben, der der Ernährung dient. Zwischen dem Embryoblast und Trophoblast entsteht die *Blastozyste*. Die Zellen des Embryoblasten, die seinen Hohlraum gegen die Blastozystenhöhle abgrenzen, dienen als Anlage für das *Ektoderm*. Unterhalb dieses Ektoderms entsteht das *Entoderm*. In der 3. Woche wandern einige Zellen des Ektoderms in den Raum zwischen dem Ektoderm und dem Entoderm und bilden das *Mesoderm*.

Aus dem *Ektoderm* gehen hervor:

- Epithel der Haut
- Anfangs- und Endteil des Magen-Darm-Kanals
- das gesamte Nervensystem
- Sinnesepithel von Ohr, Nase, Auge
- Zahnschmelz
- Milchdrüse
- Hypophyse

Aus dem *Mesoderm* entstehen:

- Bindegewebe
- Knorpel, Knochen
- Muskulatur
- Blut- und Lymphgefäße
- Herz, Niere, Nebennierenrinde und Milz

Aus dem *Entoderm* entstehen die Epithelien von:

- Darmrohr
- Schilddrüse, Nebenschilddrüse, Thymus
- Leber, Bauchspeicheldrüse
- Mandeln
- Atmungsorganen

- Kehlkopf
- Harnblase
- Mittelohr

2 Die Zelle

2.1 Zellmembran und Zytoplasma

Die Zellmembran besteht aus weitgehend flüssigen, bimolekularen Lipidschichten, die von Proteinen durchsetzt wird. Sie hat die Eigenschaft für gewisse Stoffe durchlässig zu sein, für andere nicht. Veränderungen der Membranpermeabilität spielen bei der Erregungsbildung, -leitung und -übertragung eine wichtige Rolle.

Der Teil des Zellinhaltes, der nicht vom Kern eingenommen wird, heißt *Zytoplasma*.

2.2 Zellorganellen

1. Glattes endoplasmatisches Retikulum: findet man vermehrt in Zellen, die Lipide oder Steroidhormone synthetisieren.
2. Rauhes endoplasmatisches Retikulum: sind an der Außenseite mit Ribosomen besetzt und man findet sie häufig in Zellen, die Proteine synthetisieren, da diese Synthese an das Vorhandensein von Ribosomen gebunden ist.
3. Mitochondrien: eine innere Membran trennt zwei intramitochondriale Räume. Der Raum zwischen äußerer und innerer Membran heißt Intermembranraum. Der innere Raum enthält gelöste Proteine, Lipide, Desoxyribonucleinsäure *DNA* und Ribonucleinsäure *RNA*. Mitochondrien stellen separate Räume für den Energiestoffwechsel dar (Bildung von ATP).
4. Ribosomen: bestehen hauptsächlich aus ribosomaler RNA und Proteinen. Sie stellen die Zellorganellen für die Proteinsynthese dar!

2.3 Paraplasma

Unter Paraplasma versteht man sichtbare Zelleinlagerungen, die als Produkte des Zellstoffwechsels entstehen oder von der Zelle aufgenommen werden.

Paraplasmatistische Stoffwechselprodukte sind:

1. Glykogen, Speicherform der Glukose
2. Lipide (Neutralfette und Lipoide)
3. paraplasmatistische Proteine

2.4 Zellkern

1. Kernhülle: besteht aus einer zweiteiligen Kernmembran. Die zwei Schichten sind an Poren miteinander verbunden. Durch diese Poren gelangt die im Kern produzierte RNA in Zytoplasma.
2. Karyoplasma
 - Karyolymphe: In ihr sind die Chromosomen eingelagert.
 - Nucleolus: hat die Aufgabe RNA zu bilden.

3 Chromosomen

3.1 Aufbau

- hakenförmiges Gebilde
- primäre Einschnürung (Zentromer)
- zwei unterschiedlich lange Chromosomenschenkel
- im Zentromer befinden sich Kinetochoren
- einige Chromosomen zeigen sekundäre Einschnürungen, an denen sich die sogenannten Satelitten befinden

Die Lage des Zentromers und der Abknickwinkel der Schenkel sind charakteristisch und werden zur Klassifizierung herangezogen.

3.2 Chromosomensatz

Die Anzahl der Chromosomen einer Zelle ist spezifisch und zahlenkonstant. Die diploide menschliche Körperzelle enthält 46 Chromosomen. Bei beiden Geschlechtern enthält sie 22 Paare einander in Größe und Form gleichen Chromosomen (Autosomen) und ein Paar Heterosomen.

- männlich: ein großes (X) und ein kleines (Y)
- weiblich: zwei gleichgroße (XX).

3.3 Genetische Information

Träger der genetischen Information und damit wichtigster Bestandteil der Chromosomen ist die DNA (Desoxyribonucleinsäure). Die Bestandteile der DNA werden als Nucleotide bezeichnet:

- Phosphorsäurerest
- Desoxyribose
- Purin- oder Pyrimidinbase

Desoxyribose und je eine Base bilden ein Nucleosid. Diese Nucleoside werden durch Phosphorsäure zu langen Ketten verknüpft. Zwei solcher Ketten bilden dann die Doppelhelix. In der DNA sind jeweils die Basen Adenin mit Thymin und Guanin mit Cytosin gepaart. In der Nucleotid- bzw. Basensequenz der DNA ist die Information der Erbsubstanz enthalten. Drei aufeinanderfolgende Basen kodieren eine bestimmte Aminosäure.

3.4 Proteinbiosynthese

Zunächst wird die DNA, die die Information für die Synthese der Proteine enthält in eine mRNA kopiert (Arbeitskopie). Man nennt diesen Vorgang Transkription. Danach folgt die Translation, bei der Ribosome auf die mRNA zugreifen (ablesen) und anschließend synthetisieren.

4 Hormonales System

4.1 Bildungsorte der Hormone

- Zwischenhirn
- Hypophyse
- Schilddrüse
- Nebenschilddrüse
- Thymus
- Nebennieren
- Leydig'schen Zwischenzellen der Hoden, Follikel und Corpora lutea der Eierstöcke sowie die Plazenta bei schwangeren Frauen

4.2 Speicherung der Hormone

Analog zu den Neurotransmittern werden die Hormone in Granula gespeichert und auf Reiz durch Exozytose freigegeben.

4.3 Wirkungsmechanismen der Hormone

Die physiologischen Wirkungen der Hormone werden durch Primär- und sich daran anschließende Folgereaktionen in den Zellen der Erfolgsorgane ausgelöst. Man unterscheidet drei Arten solcher Primärreaktionen:

- *Internalisierung des Hormon-Rezeptorkomplexes* und anschließende Fusion mit intrazellulären Strukturen (Insulin),
- *Bildung eines 2. Botenstoffes* durch Interaktion des Hormons mit einem membranständigen Hormonrezeptor-Kopplungsprotein-Enzym-Komplexes (Peptid- und Proteohormone) und
- *Induktion von Enzymen und/oder anderen Proteinen* durch Wechselwirkung des Hormons mit einem intrazellulären Rezeptor und nachfolgende Aktivierung von DNA-Abschnitten (Schilddrüsenhormone).

4.4 Hormontypen

- Effektorische Hormone: wirken direkt auf die Organe
- Glandotrope Hormone: aktivieren eine andere endokrine Drüse
- Releasing-Hormone: greifen an der Hypophyse an

4.5 Störungen im Hormonsystem

4.5.1 Störungen im hypothalamisch–neurohypophysären System

- Hirn- und Hypophysentumore, Hirnhautentzündungen
- infolge der verringerten Wasserresorption werden zu große Mengen Harn ausgeschieden

4.5.2 Störung der Adenohypophyse

- Hypophysenvorderlappeninsuffizienz
 - Tumore, Entzündungen, Durchblutungsstörungen

Effektorische Hormone

| Bezeichnung | Abgabe durch | Hauptwirkungen |
|--|--|--|
| Adiuretin Oxytocin | Neurohypophyse Neurohypophyse | Wasserretention Uteruskontraktion Milchauspressung |
| Somatropin Prolactin | Adenohypophyse Adenohypophyse | Knochenwachstum Proteinsynthese Lipolyse Hemmung der Glucoseaufnahme Milchproduktion |
| Tyroxin Triiodthyronin Calcitonin | Schilddrüse Schilddrüse | Stoffwechselsteigerung Wachstumsförderung Senkung des Ca^{2+} -Spiegels Erhöhung des Phosphatspiegels |
| Parathormon | Nebenschilddrüse | Erhöhung des Ca^{2+} -Spiegels |
| Glucocorticoide Mineralcorticoide | Nebennierenrinde Nebennierenrinde | Gluconeogenese, Proteolyse, Lipolyse, Entzündungshemmung Na^+ -Retention, K^+ -Ausscheidung, Wasserretention |
| Adrenalin Noradrenalin | Nebennierenmark Nebennierenmark | Förderung der Herzaktion Glykogenolyse, Stimulierung des ZNS Blutdrucksteigerung |
| Insulin Glucagon | Inselorgan Inselorgan | Glukoseaufnahme und -oxidation, Glykogenaufbau (Senkung des Blut-Glucosespiegels) Glykogenolyse, Gluconeogenese (Anhebung des Blut-Glucosespiegels) |
| Erythropoietin | Niere | Erythrozytenbildung |

Quelle: Thews-Mutschler-Vaupel, Seite 536

Glandotrope Hormone der Adenohypophyse

| Bezeichnung | Synonyma | stimuliert |
|-----------------------------|---------------|--|
| Thyreostimulierendes Hormon | Thyreotropin | Thyroxin- und Triiodthyronin Produktion |
| Adrenocorticotropes Hormon | Corticotropin | Glucocorticoid-Produktion |

Quelle: Thews-Mutschler-Vaupel, Seite 541

Releasing-Hormone

| | | |
|------------------------------------|-----------------|-----------------------|
| Bezeichnung | Synonyma | setzt frei |
| Somatropin-Releasing-Hormon | Somatoliberin | Somatropin |
| Prolactin-Releasing-Hormon | Prolactoliberin | Prolactin |
| Thyreotropin-Releasing-Hormon | Thyroliberin | Tyreotropin |
| Corticotropin-Releasing-Hormon | Corticoliberin | Corticotropin |
| Gonadotropin-Releasing-Hormon | Gonadoliberin | FSH + LH |
| Bezeichnung | Synonyma | hemmt Freisetzung von |
| Somatropin-Release-Inhabiting-H. | Somatostatin | Somatotropin |
| Melanotropin-Release-Inhabiting-H. | Melanostatin | Melanotropin |
| Prolactin-Release-Inhabiting-H. | Prolactostatin | Prolactin |

Quelle: Thews-Mutschler-Vaupel, Seite 545

- Kinder wachsen weniger, beim Mann wird Hoden kleiner, etc.
- Hypophysärer Minderwuchs
 - *Grund:* Mangel an Somatropin
 - Zwergwuchs bei dem Körperproportionen erhalten bleiben
- Hypophysärer Riesenwuchs (*Gigantismus*)
 - *Grund:* vor Beginn der Pubertät zu viel Somatropin
 - übersteigter, proportionierter Körperbau
- Akromegalie
 - Gigantismus beim Erwachsenen
 - Knochenauswüchse
 - Verdickung von Zunge, Haut
 - Vergrößerung von inneren Organen

4.5.3 Störung der Schilddrüsenfunktion

- Schilddrüsenunterfunktion
 - *Grund:* Iodmangel/fehlende TSH-Freisetzung
 - Verdickung und Schwellung der Haut (Myxödem)
 - Herabsetzung des Grundumsatzes
 - erniedrigte Körpertemperatur, verminderte geistige Beweglichkeit, Kälteempfindlichkeit, übergewichtig
 - Libido/Potenzverlust

- Schilddrüsenüberfunktion
 - *Grund:* gesteigerte Ausschüttung von Thyroxin und Triiodthyronin
 - gesteigerter Grundumsatz, Körpertemperatur, Herzfrequenz
 - Herzklopfen, Unrast, Schlaflosigkeit

4.5.4 Nebenniereninsuffizienz

Der Grund ist entweder eine Schädigung der Nebenniere oder eine Hypophysenvorderlappeninsuffizienz

- Mangel an Mineralcorticoiden führt zu
 - Müdigkeit, Schwäche, Übelkeit
 - Muskelkrämpfen, Lähmung
 - Hyperventilation, Bewußtseinsstörung
 - Kopfschmerzen, Verwirrtheit
- Mangel an Glucocorticoiden
 - Hunger, Gewichtsverlust
 - Angst, Schweißausbrüche, Übelkeit
 - verringerte Salzsäureproduktion
 - verstärkte Pigmentierung von Haut und Schleimhäuten
- Mangel an Androgenen
 - Schwächezustand
 - Muskelschwund
 - Impotenz
- Überproduktion von Androgenen Zu schnelle und zu frühe Reifung und zu starkes Wachstum der sekundären Geschlechtsmerkmale
- Hypercortisolismus (*Cushing-Syndrom*)
 - *Grund:* überhöhte Ausschüttung von Glucocorticoiden durch Tumor oder Hypothalamusfehlfunktion
 - ausdrucksloses, rundes, dunkelrotes Vollmondgesicht
 - Stammfettsucht
- Überproduktion von Aldosteron
 - Muskelschwäche, Müdigkeit, Kopfschmerzen
 - Sehstörungen

4.5.5 Nebennierenmarküberfunktion

Wird verursacht durch Tumore.

- pulsierende Kopfschmerzen
- Schweißausbrüche
- Angstzustände
- Herzklopfen
- massive Steigerung der Herzfrequenz

4.5.6 Hypoglykämie

Darunter versteht man den Abfall des Blutzuckerspiegels unter 0,5 g/l.

Bei raschem Blutzuckerabfall führt infolge einer Sympathikusaktivierung zu:

- Unruhe, Angstgefühl
- Herzklopfen
- Übelkeit, Zittern

Bei langsamem Blutzuckerabfall fehlen diese Warnsymptome in der Regel. Hier stehen zentralnervöse Symptome im Vordergrund:

- Verwirrtheit
- Sprach- und Sehstörungen

4.5.7 Diabetes mellitus

Man kann unterscheiden zwischen:

- Typ-I-Diabetes:
insulinabhängige Diabetes
- Typ-II-Diabetes
nicht-insulinabhängige Diabetes

Man muß hier differenzieren welche Stoffwechselfunktionen betroffen sind.

- Störung des Kohlenhydratstoffwechsels infolge mangelhafter Glucoseverwertung, erhöhter Glucosenachbildung und gesteigertem Glykogenabbau. Dies führt zu

- Hyperglykämie
- Glucosurie
- Störung des Fettstoffwechsels infolge der Hemmung der Lipidsynthese, gesteigerte Lipolyse und vermehrter Ketonkörperbildung führt zu
 - Hyperlipidämie
(*Übelkeit, Brechreiz, Acetongeruch beim Ausatmen*)
- Störung des Eiweißstoffwechsels infolge erhöhten Eiweißabbaus, gesteigerter Glucoseneubildung, verringerter Eiweißneubildung führt zu
 - Hyperglykämie
 - Reststickstoffanstieg im Blut
(*Kraftlosigkeit, Gewichtsabnahme, Muskelschwund*)

5 Ernährung

5.1 Kohlenhydrate

Die täglich erforderliche Menge liegt bei 2–3 g/kg. Zu empfehlen sind 5–6 g/kg. Den größten Teil nimmt der Organismus in Form pflanzlicher Stärke zu sich, die zu Glucose abgebaut wird. Gespeichert werden Kohlenhydrate als Glykogen, besonders im Muskel und in der Leber. Der Gesamtbestand beträgt jedoch nur 300–400 g, der bei Hunger also schnell aufgebraucht ist.

5.1.1 Ungenügende Kohlenhydratzufuhr

Bei nicht ausreichender Zufuhr sowie bei nicht ausreichender Glucoseverwertung (Diabetes mellitus) muß zur Energiebedarfsdeckung vermehrt Fett abgebaut werden. Dabei treten Ketonkörper auf, die Ketoazidose hervorrufen können. Außerdem wird die Neubildung von Glucose aus Aminosäuren in der Leber gesteigert, wodurch der Eiweißabbau zunimmt (S.246).

5.1.2 Glucose (*Traubenzucker*)

Glucose besitzt als Ausgangsstoff bzw. Baustein zahlreicher körpereigener Substanzen (z.B. Ribose, Desoxyribose, Glykoproteinen, u.a.) wie auch als Energielieferant außerordentliche Bedeutung.

5.2 Fette

Fette dienen wie die Kohlenhydrate als Energielieferanten und darüber hinaus als Ausgangsstoffe für Biosynthesen. Ferner sind sie bedeutsam für die Zufuhr essentieller Fettsäuren und für die Resorption fettlöslicher Wirkstoffe (z.B. Vitaminen). Nach der Fettsäurezusammensetzung können die Nahrungsfette eingeteilt werden in:

- gesättigte Fettsäuren (Butter, Kokosfett)
- einfach ungesättigte Fettsäuren (Olivenöl)
- zweifach ungesättigte *essentielle* Fettsäure (*Linolsäure*) (Sonnenblumenöl)
- mehrfach ungesättigte Polyensäuren (Leinöl, Fischöle)

5.2.1 Essentielle Fettsäuren

Dem menschlichen Organismus fehlt das Enzym, welches Ölsäure in die zweifach ungesättigte und essentielle Fettsäure Linolsäure überführt.

Mehrfach ungesättigte Fettsäuren sind Bestandteile der Phospholipide und da sie sowohl hydrophile wie auch lipophile Molekülfragmente besitzen entscheidend am Aufbau der Lipiddoppelschichten in Membranen beteiligt. Ein Mangel führt zu Hautveränderungen und Organveränderungen, doch sind solche Mangelzustände beim Menschen sehr selten.

5.2.2 Cholesterin

Das für den Menschen wichtigste Sterin kommt nur in tierischen Nahrungsmittel vor. Es wird jedoch im Organismus selbst aus Acetateinheiten synthetisiert. Dies geschieht in der Leber, der Darmschleimhaut, den Nebennieren und den Gonaden. Es ist sicher, daß Cholesterin an der Bildung von Atherosklerose beteiligt ist. Somit sollte die Cholesterinzufuhr auf 0,3–0,5 g/Tag eingeschränkt werden. Der Cholesterinspiegel wird durch die Aufnahme gesättigter Fettsäuren erhöht und durch mehrfach ungesättigte Fettsäuren erniedrigt.

5.2.3 Lipoproteine

Wegen der Unlöslichkeit der Lipide in Wasser werden sie in Form von Lipoproteinen transportiert. D.h. sie werden an Trägerproteine gebunden. Es werden fünf Lipoproteine unterschieden. Sie unterscheiden sich in ihrem Proteinanteil und in der Eigenschaft Phospholipide, Neutralfette und Cholesterin in verschiedenen Dosen zu transportieren.

Eine Störung im Lipidstoffwechsel äußert sich vor allem als Hyperlipoproteinämie, d.h. einer Vermehrung einer oder mehrerer Lipoproteinfraktionen. Durch die meisten Arten der Hyperlipoproteinämie steigt das Risiko an Atherosklerose enorm!

5.3 Eiweiße

Das Nahrungseiweiß wird vor allem für die Zufuhr von Aminosäuren benötigt, die für die Biosynthese von körpereigenen Eiweißen sowie bestimmten stickstoffhaltigen Verbindungen (z.B. Purinen und Pyrimidinen) erforderlich sind. Das zugeführte Eiweiß dient nach Verdauung und Resorption, also als Aminosäure, vorwiegend dem Baustoffwechsel.

Eine tägliche Zufuhr von 0,8–1 g/kg wird empfohlen, wobei die unterschiedliche Wertigkeit von Eiweißen zu beachten ist. Biologisch hochwertige Eiweiße enthalten Eier, Milch und Fleisch — weniger wertige Eiweiße sind z.B. Getreideeiweiße.

Zu den essentiellen Aminosäuren gehören: Isoleucin, Leucin, Lysin, Methionin, Phenylalanin, Thyreonin, Tryptophen und Valin.

Eiweißmangel ist meist mit einem Mangel an anderen Nährstoffen verbunden. Es kommt zum Abbau von Muskel- und Fettgewebe und somit zur Gewichtsabnahme. Bei Kindern führt es zum Wachstumsstillstand. Bei übermäßiger Eiweißaufnahme überwiegen die Fäulnisprozesse im Darm, weil Nahrungseiweiß unzureichend verdaut wird und durch anaerobe Darmbakterien zersetzt wird.

5.4 Vitamine

Vitamine sind lebensnotwendige, physiologisch wirksame, organische Verbindungen, die im menschlichen Organismus entweder nicht oder nur unzureichend gebildet werden können. Ein absoluter oder relativer Vitaminmangel löst meist charakteristische Symptome aus, die durch Zufuhr des entsprechenden Vitamins wieder geheilt werden können. Man unterteilt in fettlösliche und wasserlösliche Vitamine.

5.4.1 Fettlösliche Vitamine

- Vitamin A: wird durch Spaltung von Carotin gewonnen.
 - ist für das Wachstum von Epithelien unentbehrlich
 - schützt die Schleimhäute vor Verhornung
 - erhöht die Infektionsabwehr der Schleimhäute
 - ist als Bestandteil des Sehpurpurs am Sehvorgang beteiligt
 - ist für das Sklettwachstum erforderlich
 - *Vorkommen:* Kohl, Spinat, Karotten
 - *Mangel:*
 - * Verdickung, Austrocknung und Verhornung der Bindehaut des Auges
 - * Trübung der Hornhaut, Verklebung der Lider, Infektion des Auges
 - * Trockenheit, Schuppen- und Faltenbildung der Haut
 - *Überdosis:*
 - * Übelkeit, Erbrechen, Kopfschmerzen

- * Hirndruckzeichen
- * Hauterkrankungen
- Vitamin D: entsteht in der Haut
 - fördert die Resorption von Calciumionen aus dem Darm
 - steigert die Rückresorption von Calciumionen in der Niere
 - erhöht dadurch den Blut–Calciumspiegel
 - *Vorkommen:* Fischleberöle, tierische Fettgewebe
 - *Mangel:*
 - * Calciummangel bei Säuglingen und Kindern
 - * Weichheit des Knochensystems
 - * Deformierung des Skletts
 - * bei weiterem Absinken des Calciumspiegels treten tetanische Krämpfe auf
 - *Überdosis:*
 - * können schwere Intoxikationen hervorrufen, die sich auf einen zu hohen Calciumspiegel zurückführen lassen
 - * entspricht dem Krankheitsbild einer Parathormonvergiftung
 - * Erbrechen, Durchfall, Gelenkschmerzen, Nierensteine
- Vitamin E: seine Funktion ist noch nicht eindeutig geklärt
 - *Vorkommen:* Getreidekeime, Pflanzenöle, Blattgemüse
- Vitamin K
 - ist für die Synthese der Blutgerinnungsfaktoren in der Leber erforderlich
 - *Vorkommen:* grüne Pflanzenteile mit möglichst hohem Chlorophyllanteil, einige Bakterien bilden K-wirksame Stoffe
 - *Mangel:*
 - * ist selten
 - * kommt fast nur dann vor, wenn Fettresorption nicht funktioniert
 - * Blutungsneigung

5.4.2 Wasserlösliche Vitamine

- Vitamin B₁:
 - ist für den Kohlenhydratstoffwechsel von Bedeutung
 - *Vorkommen:* Hefe, Gemüse, Kartoffeln, Leber, Niere, Herz
 - *Mangel:*

- * verminderte geistige und körperliche Leistungsfähigkeit
 - * Appetitlosigkeit, Gewichtsverlust
 - * Muskelschwund
 - * EKG-Veränderungen
- Vitamin B_2
 - wichtig für die Wasserstoffübertragung in der Atmungskette
 - Dehydrierung von Fettsäuren
 - wichtig für andere Oxidations–Reduktions–Vorgänge
 - *Vorkommen:* Hefe, Getreidekeime, Hülsenfrüchte, Leber, Niere, Milch, Käse
 - *Mängel:*
 - * treten selten auf, da die Produktion der Darmbakterien und über die Nahrung zugeführte Menge normalerweise ausreichen
 - * treten auf nach langdauernder Antibiotika– oder Sulfonamidbehandlung
 - * Gesichtsdematitis
 - * Bindehautentzündungen
 - * Einsprossen von Gefäßen in die Hornhaut
- Vitamin B_6 : man faßt hierunter drei Stoffe zusammen, die vom Körper in gleicher Weise verwertet werden können.
 - ist für den Aminosäurenstoffwechsel untentbehrlich
 - *Vorkommen:* Hefe, grünes Gemüse, Leber, Niere, Eigelb, Milch
 - *Mangel:*
 - * äußerst selten
 - * epileptische Krämpfe
 - * Hauterkrankungen
- Nicotinsäureamid
 - wichtig für Oxidations–Reduktions–Vorgänge
 - erstes Glied der Atmungskette
 - *Vorkommen:* Hefe, Nüsse, Leber, Niere, Herz, Eidotter, Milch
 - *Mangel:* Pellagra (Dermatitis an belichteten Hautstellen, Verdauungsstörungen, Veränderungen des ZNS, auch genannt die 3-D-Krankheit (*Dermatitis, Diarrhoe, Demenz*))
- Folsäure
 - wichtig als Überträgersubstanz von Ein–Kohlenstoff–Fragmenten (Formaldehyd, Ameisensäure)

- *Vorkommen:* im Pflanzen- und Tierreich weit verbreitet, wird auch im Dickdarm synthetisiert, doch geschieht die Hauptaufnahme bereits im Dünndarm
- die im Körper gespeicherte Menge an Folsäure reicht für einige Monate
- *Mangel:*
 - * sehr selten
 - * tritt auf bei Verdauungsstörungen, mangelhafter Resorption bzw. Verwertung, nach Anwendung von Folsäure-Antimetaboliten bei der Tumorthherapie und nach Gabe von z.B. Barbituraten
 - * häufig bei Alkoholikern
 - * Störung der Zellteilung
 - * Diarrhoe
 - * Gewichtsverlust
- Phnatothensäure
 - dient der Aktivierung der Essigsäure und anderen Fettsäuren und ist somit von fundamentaler Bedeutung für den gesamten Stoffwechsel
 - *Vorkommen:* Hefe, Melasse, Leber, Fleisch, Milch, Eidotter
 - Mangelerscheinungen sind nicht bekannt
- Biotin (*Vitamin H*)
 - ist Bestandteil von Enzymen, die Carboxylgruppen übertragen
 - *Vorkommen:* Hefe, Leber, Niere, Eigelb
 - *Mangel:*
 - * treten normalerweise nicht auf
 - * durch äußerst hohe Einnahme von Eiklar kann eine Dermatitis ausgelöst werden
- Vitamin B_{12}
 - Biosynthese von Purin- und Pyrimidin-Basen
 - Synthese von Methionin
 - Bildung der Myelinscheiden
 - *Vorkommen:* tritt in der Natur nicht auf, sondern wird erst bei der Aufbereitung gewonnen; wird nur von Mikroorganismen gebildet, da es jedoch im tierischen Organismus gespeichert wird, ist dies die beste Vitamin B_{12} Quelle
 - *Mangel:*
 - * gestörte Neubildung von Erythrozyten
 - * mangelhafte Myelinscheiden
 - * Krankheitsbild der perniziösen Anämie (unbehandelt \Rightarrow Tod)

- Vitamin C
 - Hydroxylierung der Nebennierenhormone
 - Gewinnung von Noradrenalin
 - wichtig für Kollagenbildung
 - Abdichtung der Kapillaren
 - Aktivierung von Thrombin (Gerinnungsbeschleunigung)
 - *Vorkommen*: frische Früchte, als wichtigster Lieferant kommt in unserer Region die Kartoffel in Frage
 - *Mangel*: Skorbut (abnorme Müdigkeit, Muskelschwäche, Blutungen, Lockerwerden der Zähne, Anfälligkeit gegen Infektionskrankheiten)

5.5 Wasser, Salze, Spurenelemente

Spurenelemente sind Elemente, die nur in sehr geringen Mengen in der Nahrung vorkommen. Man unterscheidet zwischen drei Gruppen:

- essentielle Spurenelemente
 - Eisen als Baustein des Häm
 - Kobalt als Bestandteil von Vitamin B_{12}
 - Chrom, Kupfer, Mangan, Molybdän, Selen und Zink, die in intrazellulären Enzymen enthalten sind
 - Iod, das für die Biosynthese von Schilddrüsenhormonen benötigt wird
 - Fluor, das wahrscheinlich eine Bedeutung für den Aufbau des Zahnschmelzes besitzt
- entbehrliche Spurenelemente: Aluminium, Brom, Silber, Gold
- toxische Spurenelemente: Antimon, Arsen, Blei, Cadmium, Quecksilber, Thallium

6 Verdauung

6.1 Speicheldrüsen

Der Speichel enthält Ptyalin, eine kohlenhydratspaltenden Amylase und Mucin, einen Schleim, der hauptsächlich Glykoproteine enthält.

Essentielle Spurenelemente

| Element | Körperbestand (g) | Tagesbedarf (mg) | Hauptsächliche Mangelerscheinungen |
|----------|-------------------|------------------|--|
| Eisen | 4,0–5,0 | 0,5–5 | Hypochrome Anämie |
| Zink | 1,4–2,3 | 0,4–6 | Wachstumsstörungen Haarausfall |
| Kupfer | 0,08–0,12 | 1–2,5 | verzögerte Wundheilung mikrozytäre Anämie Wachstumsstörungen |
| Mangan | 0,012–0,03 | 2–5 | Sterilität Knochenmißbildungen |
| Molybdän | ~0,02 | ~0,4 | beim Menschen keine bekannt |
| Iod | 0,01–0,02 | 0,1–0,2 | Hypothyreose, Kretinismus |
| Kobalt | ~0,01 | <1 | Makrozytäre Anämie |
| Chrom | <0,006 | <0,005 | beim Menschen keine bekannt |
| Selen | | 0,05–0,1 | |

Quelle: Thews-Mutschler-Vaupel, Seite 265

6.2 Magen

Der Magensaft enthält neben Verdauungsenzymen, Kationen (Na^+ , K^+ , Mg^{2+}), Anionen (HPO_4^{2-} , SO_4^{2-}), Schleim und den lebensnotwendigen Intrinsic-Faktor. Das ganze gelöst in einer HCl-Lösung. Die Magensaftregulation wird von drei Faktoren beeinflusst:

1. vom Nervus vagus
2. durch mechanischen Reiz bei Nahrungsaufnahme
3. bei Übernahme von nicht saurer oder zu stark saurer Nahrung in den Dünndarm

Die Salzsäure wird durch die Belegzellen produziert. Sie erfüllt die drei wichtigen Aufgaben:

1. Überführung von Pepsinogen in aktives Pepsin
2. Einstellung eines optimalen pH-Wertes für die Pepsinwirkung
3. Denaturierung von Eiweißkörpern, wodurch u.a. auch Bakterien abgetötet werden.

6.3 Pepsinbildung

In den Hauptzellen der Magendrüsen wird Pepsinogen gebildet, welches eine inaktive Vorstufe von Pepsin ist. Nach Freisetzung erfolgt die Aktivierung, wobei verschiedene aktive Proteasen entstehen. Die Reaktion wird durch die Salzsäure im Magen eingeleitet.

6.4 Intrinsic-Faktor

Es handelt sich hierbei um ein Glykoprotein, das von den Belegzellen produziert wird. Es ist für die intestinale Resorption von Vitamin B_{12} notwendig. Fehlt der Intrinsic-Faktor, so kommt es zu einer schweren Störung im blutbildenden System, der perniziösen Anämie.

6.5 Dünndarm

Der Darmsaft wird unter der Einwirkung von mechanischen und chemischen Reizen produziert und besteht aus einer blutisotonen Flüssigkeit, die fast keine Enzyme enthält. Die Flüssigkeit weist eine hohe Bicarbonatkonzentration auf, was einen pH-Wert von 8–9 zur Folge hat.

6.6 Dickdarm

Der Dickdarm dient der Eindickung des Darminhaltes.

6.7 Pankreas

Die Pankreas ist ein exkretorisches Organ, in das inselartig die Langerhansschen Inseln eingestreut sind, die Insulin und Glucagon produzieren. Die exokrinen Abschnitte sind für die Sekretion von verdauungsenzymen verantwortlich.

Der Pankreassaft hat einen pH-Wert von 8,0–8,4, der mit Hilfe der ebenfalls alkalischen Säfte der Galle und des Darms den sauren Mageninhalt neutralisiert. Dies schafft eine optimale Umgebung für die Pankreasenzyme, deren Optimum bei pH 7–8 liegt.

1. Eiweiß-(Peptid-)spaltende Enzyme

- Endopeptidasen
 - Trypsin
 - Chymotrypsin
 - Elastase
- Exopeptidasen
 - Carboxypeptidase A
 - Carboxypeptidase B

2. Fett-spaltende Enzyme

- Lipase
- Phospholipase
- Esterasen

3. Kohlenhydrat-spaltendes Enzym: α -Amylase

4. Nucleinsäure-spaltende Enzyme

- Ribonuclease
- Desoxyribonuclease

Die Sekretion erfolgt auf nervalem und auf hormonalem Wege. Der Nervus vagus wird durch Geruchs- und Geschmacksreize aktiviert. Diese Nervenimpulse lösen dann am Organ die Freisetzung von Acetylcholin aus, die die Abgabe des Bauchspeichels direkt stimuliert. Die hormonale Stimulierung erfolgt hauptsächlich über gastrointestinale Hormone bei Eintritt der Nahrung in den Magen und bei Übergang in das Duodenum.

6.8 Leber

Die Leber ist das zentrale Organ des Intermediär-Stoffwechsels. Sie hat auch die Funktion der Entgiftung, Inaktivierung und Ausscheidung körpereigener und körperfremder Substanzen.

Über die Pfortader (welche venöses Blut transportiert !) gelangt Blut in die Leber, welches aus dem Bereich des Magens, des Dünndarms, des Dickdarms, des Mastdarms, der Bauchspeicheldrüse und der Milz kommt. Es ist somit mit Kohlenhydraten, Eiweißen, kurz- und mittelkettigen Fettsäuren sowie Endprodukten der Milz und der Pankreas angereichert.

Die Leber synthetisiert auch die Gallensäuren. Sie enthalten die primären Gallensäuren Cholsäure und Chenodesoxycholsäure und die sekundären Säuren Desoxycholsäure und Lithocholsäure. Die wichtigste Funktion der Gallensäuren ist die Lösungsvermittlung für wasserunlösliche Verbindungen, die Aktivierung der Pankreaslipase und der Hemmung der Magensaftsekretion.

6.9 Enzymatische Spaltung und Resorption

6.9.1 Wasserresorption

Die Wasserresorption im Dünndarm ist auf osmotische Gradienten zurückzuführen, die durch Elektrolyte und Nichtelektrolyte ausgelöst werden.

6.9.2 Na^+ -Resorption

Sowohl ein aktiver wie auch ein passiver Transport findet statt. Der aktive Transport wird durch $3Na^+/2K^+ - ATPase$ angetrieben. Die damit verbundene Abnahme von Na^+ im Enterozyten führt zu einem passiven Na^+ -Einstrom, der ca. 85% der Resorption ausmacht und auch eine Menge an Wasser mitreißt.

6.9.3 Kalium, Chlorid, Bicarbonatresorption

Die Resorption dieser Stoffe findet im Duodenum und im direkt anschließende Jejunum und Ileum statt. Der Großteil der Resorption findet vor allem passiv statt.

6.9.4 Calcium- und Magnesiumresorption

Calcium wird im oberen Dünndarm vor allem aktiv resorbiert. Es wird von einem calciumbindenden-Protein aufgenommen und beim Ausschleusen ist eine Calcium-ATPase beteiligt. Das Ausmaß der Resorption wird unter anderem durch das Parathormon gesteuert.

Magnesium wird im gesamten Dünndarm vermutlich passiv resorbiert.

6.9.5 Eisenresorption

Es handelt sich hier, wie auch beim Calcium, um einen aktiven Transport. Das Eisen gelangt ins Blut, wo es an Transferrin gebunden wird, und somit ins Knochenmark. Hier wird es in die Speicherform Ferritin überführt.

6.9.6 Kohlenhydratresorption

Die kohlenhydrathaltigen, komplexen Ketten werden durch Amylase und Glucosidase in Maltose, Maltotriose und danach in Monosaccharide aufgespalten.

Die Spaltprodukte werden im Duodenum und Jejunum resorbiert und über die Pfortader abtransportiert. Die nicht resorbierten Kohlenhydratanteile werden im Kolon durch Bakterien teilweise zersetzt.

6.9.7 Eiweißresorption

Durch Pepsin, Trypsin, Chymotrypsin und Carboxypeptidase wird Protein in Polypeptide \Rightarrow Oligopeptide zerlegt und danach werden Aminosäuren abgespalten.

Die Resorption erfolgt im Duodenum und Jejunum durch meist aktive, z.T. Na^+ -abhängige Transportprozesse.

6.9.8 Lipidresorption

Die Fetttröpfchen werden im Dünndarm mit Proteinen, Lecithin und Gallensäure emulgiert. Die Tröpfchen haben dann einen Durchmesser von nur noch 5nm. Die Pankreaslipase lagert sich an den Grenzflächen der Fetttröpfchen an und die Fettsäuren werden zu Monoglyceriden hydroxyliert. Die Spaltprodukte sind in der Regel schlecht wasserlöslich und werden in Mizellen der Gallensäure eingebaut.

Die Resorption findet hauptsächlich im Duodenum statt, wo kurze- und mittelkettige Triglyceride in den Enterozyten diffundieren und in dem dann die Fettsäuren abgespalten werden. Die langkettigen Fettsäuren gelangen zusammen mit den Mizellen in den Enterozyten. Wenn

die Mizelle die Lipidschicht erreicht zerfällt sie und die Inhaltsstoffe werden frei. Nach passieren der Zellmembran werden die Fettsäuren am endoplasmatischen Retikulum verestert und mit einer Proteinhülle umgeben, damit sie transportfähig werden.

7 Elektrophysiologie von Nerv und Muskel

7.1 Aufgabe des Nervensystems

Das Nervensystem dient der Informationsübertragung. Aktionspotentiale, auch Nervenimpulse genannt, die über Nervenfasern fortgeleitet werden dienen dazu.

7.2 Aufbau von Nervenzellen

Nervenzellen werden von einer Zellmembran umschlossen. Neben einem Zelleib (Soma) mit Zellkern weist sie meist Zellfortsätze auf. Der Fortsatz mit dem sie Erregungen zu anderen Zellen leitet, wird als *Neurit* bezeichnet. Die anderen Zellfortsätze heißen *Dendriten*.

Das Zellsoma beinhaltet einen deutlich sichtbaren Kern, Golgi-Apparat sowie ein stark ausgeprägtes endoplasmatisches Retikulum. Eine Nervenfasern besteht aus einem Axon, das von einer Zellmembran umschlossen wird und einer Gliahülle. Im zentralen Nervensystem wird diese durch die Oligodendrogliazelle gebildet, im peripheren System durch die Schwannschen Zellen.

7.3 Aufbau der Zellmembran

siehe Kapitel 1 'Die Zelle'

7.4 Ionenverteilung

| | intrazellulär | extrazellulär |
|--------|---------------|---------------|
| Na^+ | 15 | 150 |
| K^+ | 150 | 5 |
| Cl^- | 9 | 120 |

7.5 Aktiver Natrium-Kalium-Transport

Unter aktivem Transport versteht man die Beförderung einer Substanz durch die Zellmembran mit Hilfe eines Transportsystems. Die hierfür notwendige Energie wird aus dem Zellstoffwechsel zur Verfügung gestellt. Ein solcher Transport kann auch gegen ein Konzentrationsgefälle stattfinden (Bergauftransport). Verantwortlich dafür sind Proteine der Zellmembran.

Für den Na^+ -Austransport/ K^+ -Eintransport ist die ATPase zuständig. Durch den Transportprozess gelangen $3Na^+$ nach außen und $2K^+$ nach innen. Der genaue Ablauf ist unbekannt.

7.6 Ruhepotential

Das Innere einer erregbaren Zelle weist gegenüber dem Außenraum in Ruhe ein negatives Potential von etwa -80mV auf. Dieses Membranpotential wird als Ruhepotential bezeichnet. Das Ruhepotential ist für jede Zellenart charakteristisch und konstant und liegt im Bereich von -60 bis -100mV .

7.7 Aktionspotential

Die Potentialänderung, bei der das Zellinnere vorübergehend positiv wird, bezeichnet man als Aktionspotential. Es kommt zu einem schnellen Anstieg auf ca. 40mV (Depolarisation) und danach zu einem mehr oder weniger schnellen Abfall auf den Ruhewert. Gelegentlich kommt es auch zu einem Unterschreiten des Ruhewertes, was man als hyperpolarisierendes Nachpotential bezeichnet.

7.8 Analyse der Ionenströme

Durch die Permeabilitätszunahme für Na^+ -Ionen wird die Depolarisation eingeleitet. Na^+ -Ionen folgen dem Konzentrationsgefälle und strömen in die Zelle. Wird eine Schwelle von ca. -60mV überschritten, so laufen weitere Änderungen von alleine ab. Bevor das Na^+ -Gleichgewichtspotential von $+60\text{mV}$ erreicht ist, erfolgt die Umkehrung der Potentialänderung und zwar durch folgende zwei Vorgänge:

1. schnelle Abnahme der Na^+ -Permeabilität
2. langsamer Anstieg der K^+ -Permeabilität, so daß die innere Negativität wieder ansteigt.

Das hyperpolarisierende Nachpotential entsteht durch die verzögerte Reduktion der K^+ -Leitfähigkeit.

8 Elektrische Reizung

8.1 Gleichstrom

Für die elektrische Reizung von außen sind sowohl die Stromrichtung wie auch Stromstärke, Stromflußdauer und Anstiegssteilheit ausschlaggebend. Prüft man die Schwellenstromstärke für die kathodische und anodische Reizung so findet man folgende Gesetzmäßigkeit:

$$\text{KSE} < \text{ASE} < \text{AÖE} < \text{KÖE}$$

8.2 Langsam ansteigender Strom

Wenn der zur Reizung verwendete Strom nicht sofort die volle Stärke erreicht, sondern langsam ansteigt, führt dies zu einer Verlagerung der Reizschwelle der Zelle. Je langsamer der Strom ansteigt, um so größer muß die zugeführte Elektrizitätsmenge sein. Man spricht vom Einschleichen des Stromes.

8.3 Wechselstrom

Hier hängt der Reizeffekt von der effektiven Stromstärke und von der Frequenz des Wechselstromes ab. Untersucht man die Abhängigkeit der Schwellenstromstärke von der Frequenz, so zeigt sich, daß jede Faserart eine charakteristische Wechselstromfrequenz hat bei der sich die Erregung besonders leicht auslösen läßt. Bei motorischen $A\alpha$ -Fasern und bei Muskelfasern z.B. liegt sie bei 50–100 Hz. Man beachte, daß technische Wechselströme eine Frequenz von 50–60 Hz aufweisen.

9 Erregungsleitung

9.1 Kabeleigenschaften von Nerv- und Muskelfasern

Der geschilderte Erregungsprozeß breitet sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit über die Nerven- und Muskelfasern aus, wobei die Potentialunterschiede an der erregten und der benachbarten, noch nicht erregten Stelle die Fortleitung bewirken.

9.2 Fortleitung von Aktionspotentialen

Durch die Ausbreitung von Stromlinien an der Front der Erregung kommt es zu einer elektronischen Depolarisation. D.h. die Nachbarmembran wird durch die Stromlinien erregt und eine Depolarisation setzt ein. Dies bewirkt einen schnell ansteigenden Na^+ -Einstrom und damit ein Übergreifen der Erregung auf die zuvor unerregte Zelle.

9.3 Summenaktionspotentiale

Hierunter versteht man die Aufsummierung der Aktionspotentiale, die sich auf einer Nervenfasern ausbreiten. Hier zeigen die unterschiedlich schnellen Fasern eine mehr oder weniger starke Spannungshöhe nach der Aufsummierung.

9.4 Leitungsgeschwindigkeit

Die Geschwindigkeit der Erregungsleitung variiert in Abhängigkeit von der Faserdicke und von der Ausbildung der Markscheide. Dicke und markhaltige Nervenfasern leiten die Erregung schneller als dünne und marklose Fasern.

10 Erregungsleitung an Rezeptoren

10.1 Wandlerprozeß/Reiztransduktion

Unter der Reiztransduktion versteht man die Umsetzung eines Reizes an einer Rezeptorzelle in ein äquivalentes Aktionspotential. Man nennt dieses Aktionspotential hier Rezeptorpotential, weil es sich auf den Bereich der Rezeptorzelle beschränkt.

10.2 Reizcodierung

Die Codierung beginnt nach der Reizauslösung im Rezeptor. Ähnlich wie bei Synapsen breiten sich die durch das Rezeptorpotential erzeugten Stromlinien über die Somamembran aus bis hin zum Axon. Wird an dieser Stelle die Schwelle überschritten, so entsteht ein fortleitendes Aktionspotential. Wenn danach das Rezeptorpotential noch andauert, können noch weitere Aktionspotentiale gebildet werden. Somit findet eine Transformation des Rezeptorpotentials in eine rhythmische Folge von Erregungen statt. Dabei hängt die Erregungsfrequenz von der Größe des Rezeptorpotentials ab (Frequenzcodierung).

11 Erregungsübertragung an Synapsen

11.1 Funktionsprinzip

Nach ihrer Wirkung auf das nachgeschaltete Neuron unterscheidet man die Synapsen, doch laufen die Prozesse nach dem gleichen Grundprinzip ab.

Gelangt eine über das Axon geleitete Erregung an die präsynaptische Endung, so wird an den synaptischen Bläschen ein Transmitter freigesetzt. Dieser diffundiert durch den synaptischen Spalt zur subsynaptischen Membran, reagiert dort mit molekularen Rezeptoren und löst dadurch eine kurzfristige Erhöhung der Permeabilität aus. Eine einfache Aktivierung einer einzelnen Synapse reicht jedoch nicht aus, um die Erregungsschwelle zu überschreiten. Die postsynaptischen Potentiale breiten sich zwar über die Somamembran aus, doch müssen mehrere Synapsen gleichzeitig aktiviert werden, damit die Schwelle überschritten wird und ein fortleitendes Aktionspotential entsteht.

Eine andere Möglichkeit besteht durch eine schnelle Hintereinanderaktivierung der selben Synapse. Hierbei würden sich die Potentiale addieren und somit die Schwelle erreichen.

11.2 Motorische Endplatten

Als motorische Endplatten bezeichnet man die Verbindungsstelle zwischen einem Axon und einer quergestreiften Muskelzelle. Erreicht eine Erregung die Endabschnitte des Axons, wird aus den Vesikeln und Anwesenheit von Ca^{2+} explosionsartig Acetylcholin freigesetzt, das

an der subsynaptischen Membran mit Rezeptoren reagiert. Die dadurch folgende Permeabilitätszunahme löst das Endplattenpotential aus das sich über die Muskelfasermembran ausbreitet. Acetylcholin wirkt in der Regel nur 1–2 ms, denn dann ist es hydrolysiert oder ins Blut diffundiert.

11.3 Quantennatur der chemischen Übertragung

Auch ohne Erregung werden ständig minimalste Mengen (*Quanten*) Acetylcholin in den Spalt abgegeben, die jeweils Endplattenpotentiale kleinster Amplitude verursachen. Durch ein Eintreffen einer Erregung wird die Rate der freigesetzten Acetylcholin-Quanten für kurze Zeit erheblich gesteigert, so daß innerhalb von 1 ms einige hundert Quanten freigesetzt werden, die dann ein Endplattenpotential auslösen.

11.4 Neuromuskuläre Blockade

Die Erregungsübertragung kann präsynaptisch durch Hemmung der Acetylcholinsynthese mittels Hemicholinium oder durch Verhinderung der Freisetzung mittels Botulinus-Toxin sowie durch Ca^{2+} -Mangel und Mg^{2+} -Überschuß blockiert werden. Eine postsynaptische Hemmung ist mit sog. Muskelrelaxantien möglich (stabilisierende, depolarisierende Muskelrelaxanten, Cholinesterasehemmstoffe).

11.5 Chemische Synapsen

Sie wirken in der oben beschriebenen Form unter der Mitwirkung von Transmittern.

11.6 Elektrische Synapsen

Eine andere Möglichkeit besteht darin, daß die Stromflüsse, die durch die Erregung der präsynaptischen Faser entstehen, die postsynaptische Membran elektrotonisch bis zur kritischen Membranschwelle depolarisieren, bei der ein fortgeleitetes Aktionspotential entsteht. Diese seltene Art der Übertragung konnte mit Sicherheit an einigen wirbellosen Tieren nachgewiesen werden. Höhere Tiere benutzen ganz überwiegend die chemische Transmission.

12 Muskelphysiologie

12.1 Aufgabe des Muskels

Die Skelettmuskulatur ist zur schnellen Verkürzung und Erschlaffung befähigt und dient vor allem der Statik des Knochenskelets und den Gelenkbewegungen. Eine Sonderform der quergestreiften Muskulatur stellt die Herzmuskulatur dar.

12.2 Aufbau des Muskels

Der Skelettmuskel besteht aus Muskelfasern mit einer Dicke von 10–100 μm . Die einzelnen Fasern sind 5–12 cm lang und enthalten mehrere Zellkerne, die direkt unter der Zellmembran liegen. Im Muskel sind Muskelfasern durch Bindegewebe miteinander zu Funktionseinheiten zusammengefaßt.

Der Großteil des Zellvolumens wird durch kontraktile Elemente, die Myofibrillen, eingenommen. Sie sind in parallelen Längsbündeln in die Intrazellulärsubstanz der Faser, das Sarkoplasma, eingebettet. Das Sarkoplasma ist reich an Glykogen, ATP, Kreatinphosphat und anorganischen Elektrolyten. Besonders aktive Muskeln haben viele Mitochondrien. Weiterhin findet man ein hochdifferenziertes endoplasmatisches Retikulum.

Die Myofibrillen sind langgestreckte etwa 1 μm dünne Strukturen, die sich in regelmäßigen Abständen von 2,3 μm wiederholen. Im Lichtmikroskop erscheinen unterschiedlich helle Abschnitte (die helle *I-Bande* und die dunkle *A-Bande*). Die *I-Bande* wird durch eine dichte Querlinie, die *Z-Linie*, in zwei Abschnitte geteilt. Hier sind die Aktinfilamente wie Borsten an einer Bürste befestigt. Der zentrale Teil der *A-Bande*, die *H-Zone*, ist weniger dicht und wird durch die *M-Linie* in der Mitte unterteilt.

Als Sarkomer bezeichnet man nun den Abschnitt, der durch zwei *Z-Linien* begrenzt wird.

12.3 Kontraktionsmechanismus

Die Ursache der Kontraktion liegt in den Myofibrillen versteckt. Sie bestehen aus vielen parallel gelagerten, dicken und dünnen Filamenten. Die dicken Filamente sind aus Myosin-Molekülen (Molekulargewicht 540000) aufgebaut. Dies sind lange, asymmetrische Moleküle mit einem dünnen Schwanzteil und zwei Kopfteilen, die als seitliche Fortsätze aus den Filamenten herausragen. Die Proteine der dünnen Filamente sind Aktin, Troponin und Tropomyosin. Die kugelförmigen Aktinmoleküle lagern sich zu langen Ketten zusammen. Zwei davon winden sich in Längsrichtung zusammen. In den Rinnen dieser Aktinketten liegen die Regulationsproteine Troponin und Tyromyosin.

Der Kontraktionsprozeß besteht nun darin, daß sich die Myosin- und Aktinfilamente teleskopartig ineinanderziehen. Dabei werden die *Z-Streifen* einander genähert, wobei die *A-Bande* konstant bleibt.

Die molekulare Grundlage liegt bei einer Interaktion zwischen Myosin, Aktin und ATP. Hierbei kommt den intrazellulären Ca^{2+} -Ionen eine besondere Bedeutung zu, denn sie stellen den auslösenden bzw. steuernden Faktor der Kontraktion dar (Trigger-Funktion der Ca^{2+} -Ionen). Unter Abwesenheit von Ca^{2+} sind die Tropomyosinfäden so gelagert, daß sie ein Anheften der Myosinköpfe an die Aktinfilamente verhindern. Bei Einwirkung von Ca^{2+} -Ionen gleiten die Tropomyosinfäden so tief in die Rinne zwischen den Aktinsträngen, daß die Haftstellen für die Myosinköpfe frei werden. Beim Prozeß des Anheftens knicken die Myosinköpfe etwas ein (45°), was eine reale Verkürzung der Myosinfäden verursacht (Querbrückenbildung).

Die Energiequelle für die Muskelkontraktion ist das ATP, das an die Myosinköpfe gebunden wird und die Bindung an das Aktin ermöglicht (wird dabei jedoch wieder hydrolysiert). Erst nach einer weiteren Bindung eines ATP-Moleküls kann die Querbrücke wieder gelöst wer-

den und ein neuer Zyklus beginnen.

Die Aktinfilamente werden somit durch eine Folge von ruderartigen Bewegungen der Myosinköpfe in die Myosinfilamente hineingezogen.

Der Kontraktionsvorgang wird dadurch beendet, daß die Calciumionen mittels einer Ca^{2+} -Pumpe aus dem Sarkoplasma wieder in das longitudinale System transportiert werden.

12.4 Auslösung der Kontraktion

Die einlaufende Erregung wird über das T-System in das Innere der Muskelfaser geleitet. Das Aktionspotential springt dann im Bereich des engen Kontaktes mit dem longitudinalen System auf dieses über und bewirkt damit eine Freisetzung von gespeicherten Calciumionen aus den terminalen Zisternen ins Sarkoplasma.

12.5 Elektromechanische Kopplung

Die elektromechanische Kopplung erfolgt über die motorischen Endplatten, die im Kapitel der Nervenphysiologie beschrieben sind.

12.6 Regulierung der Muskelkraft

Während die einzelne Muskelfaser bezüglich der Erregungsvorgänge dem Alles-oder-Nichts-Gesetz gehorcht, ist die Abstufung der Kontraktion des gesamten Muskels durch die Zahl der aktivierten motorischen Einheiten als auch durch die Variation der Impulsfrequenz beeinflussbar.

12.7 Elektromyographie

Die unterschiedliche Aktivierung motorischer Einheiten kann man mit Hilfe der Elektromyographie untersuchen. Mit Hilfe von Nadelelektroden kann man die Aktionspotentiale einzelner motorischer Einheiten registrieren. Die Amplitude dieser Potentiale liegt bei ca. 200–300 μ V. Leitet man die Potentiale an der Hautoberfläche ab, erfaßt man die Summenpotentiale vieler motorischer Einheiten (Massenmyographie). Mit dieser Technik kann belegt werden, daß die Kraft des Muskels mit der Frequenz der Aktionspotentiale zunimmt. Das Elektromyogramm (EMG) ist in der Klinik für die Diagnose von Muskelerkrankungen von Bedeutung.

12.8 Muskelmechanik

Neben den fünf verschiedenen Formen der Kontraktion

- isometrische Kontraktion

- isotonische Kontraktion
- auxotonische Kontraktion
- Anschlagszuckung
- Unterstützungszuckung

sind wohl die Superposition und tetanische Kontraktion von Bedeutung.

Bei der Einzelzuckung eines Muskels resultiert nie die maximale Verkürzung. Dieses wird erst durch eine Summation rasch aufeinanderfolgender Zuckungen erreicht. Da der relativ langsame Kontraktionsmechanismus schon während der Verkürzung wieder aktiviert werden kann, sind kurz aufeinanderfolgende Reize in der Lage die Kontraktion zu verstärken. Eine solche Verstärkung nennt man Superposition. Am günstigsten für die Superposition ist ein zweiter Reiz auf dem Gipfel der ersten Zuckung.

Verringert man den Reizabstand, so daß die Reizantworten ineinander übergehen, entwickelt sich eine Dauerverkürzung oder tetanische Kontraktion (Tetanus).

12.9 Glatter Muskel

Er wird so wegen seiner lichtmikroskopischen homogenen Struktur genannt. Man findet ihn in inneren Organen und ist hauptsächlich auf die Aufrechterhaltung einer Dauerspannung und langsame Spannungsänderungen spezialisiert. Seine Aktin- und Myosinfilamente sind in Längsrichtung jedoch nicht regelmäßig angeordnet. Eine Querstreifung ist nicht erkennbar. Die glatten Muskelzellen liegen häufig so dicht beisammen, daß die Erregung von einer auf die benachbarte Zelle übergreift und somit einen ganzen Zellverband erfaßt.

Die glatte Muskulatur wird ausschließlich vom vegetativen Nervensystem innerviert.

Die Muskulatur ist darüber hinaus auch zu spontanen Aktivitäten in der Lage. Hierzu kommen die Reize aus spezialisierten Muskelzellen, sog. Schrittmacherzellen.

Im Gegensatz zur Skelettmuskulatur, die nur von motorischen Endplatten aus erregt werden kann, ist die glatte Muskulatur von ihrer gesamten Membranoberfläche her erregbar.

Glatten Muskeln weisen eine hohe Plastizität auf, die ein Nachgeben nach einer Spannungsentwicklung bewirkt. Somit werden zu starke Drücke z.B. in der Harnblase aufgefangen.

13 Motorisches Nervensystem

13.1 Aufbau und Funktion

Die vielfachen Aufgaben lassen sich am besten erfassen, wenn man die Aufgaben des Nervensystems in drei große Systeme gliedert:

1. Das *motorische System* steuert die willkürlichen Muskelbewegungen und paßt die Aktivität der Muskulatur den verschiedenen Umweltbedingungen an.

2. Das *sensorische System* hat die Aufgabe, Erregungen von den Sinnesorganen höheren Zentren zuzuleiten und zu bewußten Empfindungen und Wahrnehmungen zu verarbeiten.
3. Das *vegetative System* schließlich sorgt für eine Koordination der Tätigkeit der inneren Organe, so daß ihre Funktion der Aktivität und den Bedürfnissen des Gesamtorganismus zweckmäßig angepaßt werden.

13.2 Spinal-motorisches-System

Dieses System ist ein Muskellängenkontrollsystem, was im großen Ganzen für Reflexbewegungen ohne Einschalten des Bewußtseins verantwortlich ist.

Muskeln sind mit Muskelspindeln versehen, die in der Muskelfaser eingelagert sind. Kommt es zu einer plötzlichen Dehnung des Muskels, so leitet eine Ia-Afferenz dieses zum Rückenmark und wird dort sofort wieder zum Muskel umgeleitet, was dann eine Kontraktion desselben hervorruft. Dieses System ist aufgrund seiner einmaligen Umschaltung und der Ia-Fasern sehr schnell (20–50 ms). Bei einer direkten Aktivierung werden über γ -Fasern auch die Muskelfasern der Spindel immer mitaktiviert, um eine bleibende Empfindlichkeit zu gewährleisten.

Über dieses System ist es somit also auch möglich einen Muskel auf eine zweite Art zu aktivieren. Wird von höheren Zentren nur die γ -Faser aktiviert, so kommt es bei Kontraktion der Spindelmuskel zu einer Dehnung der Spindel, die dann wiederum den Muskel über die bereits bekannten Mechanismen aktiviert. Die spinale Motorik verfügt über einige Hemmungsmechanismen, die z.B. beim Eigenreflex selbst die Erschlaffung einleiten.

13.3 Motorische Funktion des Hirnstammes

Die motorischen Neurone des Hirnstammes wirken vor allem mit an der Einstellung des Muskeltonus, an der Halte- und Stützmotorik sowie in Zusammenhang damit an der Gleichgewichtsreaktion. Dies gilt auch bei willkürlichen Bewegungen, die den Körperschwerpunkt verlagern. Für solche Reaktionen steht im Zentralnervensystem ein umfangreiches Repertoire an halte- und stützmotorischen Programmen zur Verfügung, die automatisch abgerufen werden.

Kerne des Hirnstammes stellen also eine wichtige Steuereinheit für die Koordination der unbewußten motorischen Aktivität dar.

13.4 Motorische Funktion des Kleinhirns

Das Kleinhirn wirkt an der Konzipierung und der Überwachung des Bewegungsprogrammes mit und ist in dieser Funktion den Basalganglien parallelgeschaltet.

Von den Kleinhirnkernen ziehen efferente Bahnen einerseits über den Thalamus zur Großhirnrinde und andererseits zu den motorischen Zentren des Hirnstammes. Obwohl nicht genau Klarheit über die Informationsverarbeitung besteht kann man einige Kleinhirnfunktionen global charakterisieren:

1. Archicerebellum und Teile des Wurms:
Diese Verbindungen dienen speziell der Aufrechterhaltung des Gleichgewichts durch entsprechenden Muskeleinsatz und der Kontrolle der Augenbewegung.
2. Palaeocerebellum: Ihm werden Kopien der sensorischen Informationen aus der Muskulatur und der motorischen Programme aus der Großhirnrinde zugeleitet und ist somit zuständig für die Kontrolle der Bewegungsabläufe und der Feinabstimmung der Zielmotorik.
3. Laterale Teile der Neocerebellums: Bekommt bereits vor Beginn der Bewegung vom Cortex seine Informationen und ist somit an der Bewegungsplanung und der Konzipierung des Bewegungsprogramms beteiligt.

13.5 Motorischer Cortex

Der primär-motorische Cortex ist für die willkürliche Muskelaktivität zuständig. Seine Strukturen sind somatotopisch gegliedert, d.h. bestimmte Muskelpartien sind gewissen Cortexregionen zugeteilt. Je nachdem wie fein die Muskelpartien bewegt werden können, sind die Cortexregionen unterschiedlich groß. Es gibt noch übergeordnete Cortexareale, die die räumliche und zeitliche Ausdehnung bestimmter Bewegungen steuern.

Von der motorischen Hirnrinde verlaufen Pyramidenbahnen direkt bis ins Rückenmark und sind daher z.T. über 1m lang. Beim Übergang ins Rückenmark kreuzen die meisten Nerven auf die andere Seite. Sie dienen vorwiegend der Übertragung für den willkürlichen Muskeleinsatz.

13.6 Polysynaptische Reflexe

Diese Reflexe differenzieren sich von den Eigenreflexen des spinal-motorischen-Systems. Bei diesen Reflexen liegen Rezeptoren und Effektoren in unterschiedlichen Organen. Das bedeutet, daß mindestens einmal mehr der Reiz umgeschaltet werden muß. Er gelangt zunächst auch ins Rückenmark. Hier erfolgt eine Umschaltung auf Zwischenneurone von denen nach erneuter synaptischer Umschaltung die Muskeln aktiviert werden.

Ein Beispiel ist das zurückziehen der Hand beim Berühren von heißen Gegenständen noch bevor ein Hitzeschmerz bewußt wird und eine willkürliche Reaktion möglich ist.

14 Vegetatives Nervensystem

14.1 Aufbau und Funktion

Das vegetative Nervensystem reguliert und koordiniert die Funktionen der inneren Organe, so daß ihre Aktivität den jeweiligen Bedürfnissen des Gesamtorganismus zweckmäßig angepaßt wird. Somit unterliegen Herz-, Kreislauf- und Atmungsfunktion, Verdauung, Stoff-

wechsel und Ausscheidung, Wärme- und Energiehaushalt sowie Fortpflanzung der ständigen Kontrolle durch das vegetative Nervensystem.

14.2 Aufbau des peripheren vegetativen Systems

Das periphere vegetative Nervensystem besteht aus drei Teilen: dem

- Sympathikus
- Parasympathikus
- Darmnervensystem

Trotz des prinzipiell gleichen Aufbaus von Sympathikus und Parasympathikus weisen sie einige charakteristische Unterschiede auf:

- Lage der vegetativen Ganglien
- chemische Überträgerstoffe
- Beeinflußung der Erfolgsorgane

14.2.1 Peripherer Sympathikus

Die Zellkörper der präganglionären Fasern liegen in den Seitenhörnern des Hals-, Brust- und oberen Lendenmarks. Diese Fasern sind meist markhaltig. Die vegetativen Ganglien sind längs der Wirbelsäule angeordnet und sind untereinander verbunden. Sie bilden den sog. Grenzstrang des Sympathikus.

14.2.2 Peripherer Parasympthikus

Die Zellkörper der präganglionären Fasern sind im Hirnstamm und dem Kreuzmark lokalisiert. Sie verlaufen entweder in den Hirnnerven zu den Kopforganen oder im Nervus vagus zu den Brust- und Baueingeweiden. Die Umschaltung von präganglionären auf die postganglionären Neurone erfolgt in Ganglien, die in Organnähe oder in den Wänden der Erfolgsorgane selbst liegen. Im Gegensatz zum sympathischen System besitzt der Parasympathikus daher lange präganglionäre und kurze postganglionäre Fasern.

14.2.3 Viszerale Afferenzen

Rezeptoren, die Reize aus dem Körperinneren zum Zentralnervensystem leiten, können nicht genau dem sympathischen oder parasympathischen System zugeordnet werden und nennen sich deshalb viszerale Afferenzen. Hierzu zählen u.a. Füllzustände, chemische Reize und Schmerzreize aus dem Eingeweidebereich.

14.3 Erregungsübertragung im vegetativen System

Die Erregungsübertragung von präganglionären auf die postganglionären Neurone erfolgt in beiden Systemen mittels Acetylcholin, was schon im Kapitel Erregungsübertragung an Synapsen erläutert wurde.

Die Unterschiede liegen bei der postganglionären Übertragung auf die Erfolgsorgane.

Dies geschieht beim Sympathikus mittels Noradrenalin. Die neuronale Speicherung erfolgt in Vesikeln. Durch einen Magnesiumionen- und ATP-abhängigen aktiven Transport wird die hohe Noradrenalkonzentration aufrechterhalten. Zur Abgabe kommt es durch eine Depolarisation der Axonplasmamembran mittels Exozytose. Etwa 90% des abgegebenen Noradrenalins werden durch aktiven Transport wieder ins Axonplasma aufgenommen. Postsynaptisch greifen α - und β -Rezeptoren das Noradrenalin auf.

Beim Parasympathikus dient wie gewohnt das Acetylcholin der Übertragung. Es löst an Erfolgsorganen eine gesteigerte Permeabilität für bestimmte Ionen aus.

14.4 Wirkungen des vegetativen Systems

14.4.1 Noradrenalin- und Adrenalinwirkungen

Die physiologische Bedeutung von Adrenalin besteht darin, die Verteilung der Organdurchblutung der jeweiligen Belastungssituation anzupassen.

Noradrenalin ist dagegen für die Aufrechterhaltung des allgemeinen Gefäßtonus und gegebenenfalls für dessen Erhöhung zuständig.

Die Herz- und Kreislaufwirkungen lassen sich folgendermaßen charakterisieren: beide steigern am Herzen die Kontraktilität und die Schlagfrequenz. Sie bewirken ebenfalls eine Erschlaffung der Darm- und Bronchialmuskulatur und Adrenalin steigert die Glykolyse in der Leber und die Lipolyse im Fettgewebe.

14.4.2 Wirkungen von Acetylcholin

Bei der Stimulation von Muscarinrezeptoren durch Acetylcholin kommt es zu einer Abnahme der Herzfrequenz, einer Steigerung der Speichel-, Magensaft-, Bronchial- und Schweißsekretion sowie zu einer Tonuszunahme der glatten Muskulatur des Magen-Darm-Kanals, der ableitenden Harnwege und der Bronchialmuskulatur. Die Pupille wird verengt und der dioptrische Apparat des Auges auf die Nähe akkommodiert.

14.5 Vegetativer Reflexbogen

Ähnlich wie beim somatischen System gibt es auch hier segmentale Reflexbögen.

Der vegetative Reflexbogen hat jedoch mindestens drei Neurone. Die afferenten Neurone leiten sowohl somatische Impulse (von den Hautrezeptoren) als auch viszerale Impulse (von den Eingeweiderezeptoren). Aufgrund dieser Verbindungen gibt es fünf Möglichkeiten für reflektorische Wirkungen.

15 Physiologie des Herzens

15.1 Aufbau und Funktion

Das Herz des Menschen gliedert sich in zwei Abschnitte, das rechte und linke Herz, die jeweils aus einem kleineren Vorhof (Atrium) und einer größeren Kammer (Ventrikel) bestehen.

Der rechte Vorhof nimmt das Blut aus den großen Hohlvenen auf und leitet es an die rechte Kammer weiter. Von dort wird das Blut über die Lungenschlagader in die Lunge transportiert. Dem linken Vorhof fließt sauerstoffreiches Blut aus vier Lungenvenen zu. Von hier gelangt es in die linke Kammer und wird dann in die Aorta ausgeworfen.

Die Blutbewegung wird durch rhythmische Kontraktion und Erschlaffung der Herzmuskulatur bewirkt. Zunächst kontrahieren die beiden Vorhöfe und tragen damit in geringem Maße zur Füllung der Kammer bei. Danach erfolgt die Kontraktion der beiden Kammern. Die Ventilwirkung der Herzklappen verhindert dabei einen Rückfluß. Die Wände der vier Herzabschnitte sind von unterschiedlicher Dicke. Beide Vorhöfe sind sehr dünnwandig. Die des linken Ventrikels ist dicker als die des rechten, denn die linke Kammer hat einen etwa 5mal größeren Druck zu entwickeln.

Die Anordnung der Muskelfasern ist so gewählt, daß eine möglichst konzentrische Verkleinerung bei der Kontraktion entsteht.

15.2 Erregung und Kontraktion

Die rhythmischen Kontraktionen des Herzens werden von Erregungen ausgelöst, die im Herzen selbst entstehen. Die Erregungsbildung findet normalerweise im Sinusknoten statt. Er ist im rechten Vorhof lokalisiert. Vom Sinusknoten getrennt, findet sich am Boden des rechten Vorhofes nahe dem Septum ein zweiter Teil des erregungsbildenden Systems, der Atrioventrikularknoten (AV-Knoten). Der von hier ausgehende Faserzug zieht sich als Hisches Bündel durch des Herzskelet. Das Bündel gabelt sich dann spitzwinklig in einen rechten und linken Kammerschenkel. Nach weiterer Aufspaltung erreichen kleinere Bündel die Basen der Papillarmuskeln, wo sie sich in Purkinje-Fasern aufsplitten.

Vom Sinusknoten breitet sich die Erregung zunächst radiär über das Arbeitsmyokard beider Vorhöfe aus und greift dann auf den AV-Knoten über. Im AV-Knoten ist die Geschwindigkeit der Erregungsleitung relativ niedrig. Diese Verzögerung gewährleistet, daß die Kammerkontraktion erst nach Beendigung der Vorhofsystole beginnt. Vom AV-Knoten aus erreicht die Erregung das His-Bündel, das die einzige erregungsleitende Verbindung zwischen Vorhöfen und Kammern ist. Jetzt gelangt die Erregung sehr schnell bis in die Purkinje-Fasern und geht ins Arbeitsmyokard über. Von hier breitet es sich langsam über das gesamte Arbeitsmyokard aus. Da die Zellgrenzen (Glanzstreifen) kein Hindernis für die Erregung darstellen, ist sichergestellt, daß alle Myokardfasern schnell nacheinander von der Erregung erfaßt werden. Obwohl normalerweise die Erregung vom Sinusknoten ausgeht, sind auch die übrigen Teile des spezialisierten Leitungssystems zur rhythmischen Erregungsbildung befähigt. Die Frequenz der Erregungsbildung nimmt jedoch mit der Entfernung vom primären Zentrum ab, sodaß die langsamere Erregungsbildung in der Regel vom Sinusrhythmus überspielt wird.

Sollte der Sinusknoten ausfallen, so kann ersatzweise der AV-Knoten die Schrittmacherfunktion übernehmen — fällt auch dieser aus, so kann ein tertiäres Erregungsbildungszentrum als Schrittmacher fungieren.

Die Aktionspotentiale unterscheiden sich durch einen wichtigen Punkt von denen der Skelettmuskulatur. Nach der gewohnten schnellen Depolarisation verbleibt das Potential eine längere Zeit auf dem sog. Plateau bevor es sich repolarisiert. Dies ist darauf zurückzuführen, daß auch die Membranleitfähigkeit von Ca^{2+} erhöht ist und sich der K^+ -Ausstrom und der Ca^{2+} -Einstrom ungefähr die Waage halten. Sinn und Zweck dieser Verzögerung ist, daß selbst durch stärkste Erregung keine zusätzlichen Aktionspotentiale entstehen können. Das bedeutet, daß das Herz sich nicht selbst durch die laufenden Erregungen aktivieren kann und, da die Muskelkontraktion zur Rückkehr auf das Ruhepotential bereits beendet ist, keine Superposition des Muskels entstehen kann.

15.3 Nervale Beeinflussung der Herztätigkeit

Das Herz ist unter Führung des primären Schrittmachers weitgehend autonom tätig. Seine Aktionen können jedoch durch die efferenten Herznerven des vegetativen Nervensystems modifiziert und damit den Bedürfnissen des Gesamtorganismus angepaßt werden. Insbesondere werden die Herzfrequenz und die Kontraktionskraft beeinflußt. Hier hat der Sympathikus eine fördernde Wirkung, der Parasympathikus eine schwächende Wirkung.

15.4 Elektrokardiographie

Während des Erregungsablaufes entstehen in der Herzmuskulatur Potentialdifferenzen zwischen erregten und unerregten Zellen. Da das Herz in leitende Medien eingebettet ist, breitet sich in seiner Umgebung ein Stromlinienfeld aus. Aus diesem Grund lassen sich die vom Herzen ausgehenden Potentialänderungen an definierten Orten der Körperoberfläche ableiten (EKG). Die Grundform (Standardableitung II nach Einthoven) besteht in einer bipolaren Ableitung zwischen rechtem Arm und linkem Bein.

15.4.1 Bedeutung der einzelnen EKG-Abschnitte

Der Vorhofteil beginnt mit der P-Welle; sie ist Ausdruck der Erregungsausbreitung in den Vorhöfen. Im Bereich der PQ-Strecke ist die gesamte Vorhofmuskulatur gleichmäßig erregt, so daß keine Potentialdifferenzen vorliegen. Die Erregungsrückbildung wird vom Beginn des Kammerteils überdeckt.

Der Kammerteil reicht vom Beginn der Q-Zacke bis zum Ende der U-Welle. Die QRS-Gruppe entsteht durch die Erregungsausbreitung in den Ventrikeln. Die folgende ST-Strecke zeigt durch ihren Nulllinienverlauf, daß alle Abschnitte des Ventrikelmyokards gleichmäßig erregt sind. Die T-Welle kennzeichnet die Erregungsrückbildung in den Ventrikeln. Gelegentlich tritt noch eine U-Welle auf, deren Bedeutung noch unklar ist.

Mit Hilfe dreier Ableitungen zwischen

1. rechter Arm — linker Arm

2. rechter Arm — linker Fuß
3. linker Arm — linker Fuß

läßt sich die Lage des Herzens in der Frontalebene näherungsweise bestimmen (Einthovsches Dreieck und die Projektion der drei R-Zacken in seine Mitte). Mit Hilfe des EKG können diagnostisch erfaßt werden:

- Störung der Erregungsbildung, Erregungsleitung, Erregungsrückbildung
- extrakardiale Störungen, die den Erregungsprozeß beeinflussen (vegetative und hormonale Einflüsse, Störung im K^+ - und Ca^{2+} -Haushalt, Vergiftungen, Arzneimitteleinfluß)
- kardiale Störungen (Durchblutungsstörungen, Entzündungen, angeborene oder erworbene Herzfehler)

15.5 Herzmechanik

Die rhythmische Kontraktion und Erschlaffung der Herzmuskeln wird durch die Ventilwirkung der Herzklappen in eine Pumpenwirkung mit gerichtetem Ausstrom umgesetzt.

Das Öffnen und Schließen der Klappen wird allein durch die Druckverhältnisse bestimmt, d.h. es erfolgt passiv und nach Maßgabe der Druckänderungen im Herzen.

In jedem Herzzyklus lassen sich durch den Schluß und die Öffnung der beiden Klappensysteme vier Phasen abgrenzen:

1. In der Anspannungsphase sind alle Klappen geschlossen. Die Kontraktion führt daher zu einem steilen Druckanstieg. Wenn der intraventrikuläre Druck den diastolischen Druck der Arterie übertrifft, öffnen sich die Taschenklappen und die zweite Phase beginnt.
2. In der Austreibungsphase steigt der Druck zunächst noch auf ein Maximum an, um dann am Ende der Systole wieder abzufallen. Der Druckabfall im Ventrikel führt zum Schluß der Taschenklappen.
3. In der Entspannungsphase (erster Teil der Diastole) sind wieder alle Klappen geschlossen und die Erschlaffung erfolgt daher ohne Veränderung des Ventrikelinhaltes. Der Druck fällt rasch auf einen Wert von nahezu Null ab.
4. Unterschreitet der Druck den Vorhofdruck, so öffnen sich die Artrioventrikularklappen und die Füllphase beginnt. Beim Bluteinstrom, der anfangs schnell und dann immer langsamer erfolgt, steigt der Druck nur wenig an.

Beobachtet man die verschiedenen Druckverhältnisse, so stellt man fest, daß sich der systolische Druck ändern läßt, indem man die Füllung des Ventrikel erhöht oder die Muskelkraft steigert.

Eine Anpassung der Herzaktion geschieht hauptsächlich durch Einfluß des Sympathikus. Er bewirkt die Erhöhung der Kontraktionskraft der erhöhten Ca^{2+} -Einstrom. Die zweite Möglichkeit ist die Steigerung der Herzfrequenz, die ebenfalls durch den Sympathikus aber auch durch Abnahme des Vagustonus erfolgt. Die Steigerung der Frequenz führt zu einer Veränderung des Verhältnisses zwischen Systole und Diastole. Die Diastolendauer wird stärker verkürzt als die Systolendauer. Das Verhältnis kann sich von 1:2 (Systole:Diastole) auf bis zu 5:3 ändern.

16 Kreislauf

16.1 Aufbau und Funktion

Die Blutgefäße bilden ein geschlossenes System, in dem das Blut kontinuierlich zirkuliert. Es ist das wichtigste Transportsystem und erfüllt folgende Aufgaben: Transport von

- Atemgasen, Nährstoffen und Metaboliten des Zellstoffwechsels
- Wasser und Elektrolyten im Dienste des Wasser- und Mineralhaushaltes
- Säuren und Basen zur pH-Regulation
- Wärme zur Körperoberfläche im Dienste der Temperaturregulation
- hormonalen Informationsträgern
- zellulären und humoralen Abwehrsystemen.

Das Gefäßsystem besteht aus hintereinander und parallel geschalteten Blutgefäßen, in die als Pumpen das rechte und das linke Herz eingefügt sind. Das vom linken Herzen ausgeworfene Blut verteilt sich auf die parallel geschalteten Gefäße der Organe und wird anschließend dem rechten Herzen zugeleitet. Dieser Abschnitt wird als Körperkreislauf bezeichnet. Vom rechten Herzen fließt das Blut durch das Lungengefäßsystem und gelangt dann wieder zum linken Herzen. Dieser Abschnitt ist der Lungenkreislauf.

Gefäße, die das Blut vom Herzen zu den Organen transportieren heißen Arterien. Sie teilen sich in kleine Arterien zu Arteriolen und dann in Kapillaren. In den Kapillaren findet der Stoffaustausch mit den umliegenden Zellen statt. Von hieraus fließt das Blut zusammen in Venolen, kleine Venen, die sich schließlich in große Venen vereinigen.

16.2 Strömungsgesetze

Die treibende Kraft für eine Flüssigkeitsströmung ist ein Druckgefälle, das zur Überwindung des Strömungswiderstandes führt. Die Geschwindigkeit hängt von der Strömungsform und dem Querschnitt des Leitungssystems ab. In den meisten Gefäßabschnitten liegt eine laminare Strömung vor, d.h. die Geschwindigkeit der Flüssigkeitsschichten nimmt von der Wand

bis zur Mittelachse zu. Hierbei läßt sich beobachten, daß die Erythrozyten hauptsächlich im schnellen Mittelstrom fließen und das Blutplasma an der Außenseite langsamer fließt. Unter bestimmten Bedingungen können turbulente Strömungen entstehen, in denen sich die Flüssigkeit auch in Querrichtung bewegt. Dies bedeutet jedoch einen Anstieg des Strömungswiderstandes und somit eine Mehrbelastung des Herzens.

Beim Querschnitt ist eine Vergrößerung mit einer langsameren Fließgeschwindigkeit verbunden. Somit nimmt die Fließgeschwindigkeit mit Näherung an die Kapillaren immer mehr ab, da der Gesamtquerschnitt der Gefäße zunimmt. Im venösen Abschnitt nimmt sie wieder zu, bleibt jedoch in den Hohlvenen unter der der Arterien, da der Gesamtquerschnitt der Venen größer als der Aorten ist.

Beim Druckverlauf verhält es sich ähnlich. In den widerstandsarmen Gefäßen ist der Druckverlust recht gering, während in den kleinen Gefäßen der Druck stark gedämpft wird und somit die Pulsierung des Herzens aufgelöst wird. Im Lungenkreislauf werden die rhythmischen Druckschwankungen auch gedämpft, doch verschwinden sie hier nicht vollständig.

16.3 Arteriell System

Für die Funktion des Systems ist die relativ hohe Elastizität der Arterie in Herznähe von Wichtigkeit. Ihr Lumen wird mit zunehmendem Füllungsdruck erweitert und geht bei nachlassendem Druck wieder in den Ausgangszustand zurück. Hierauf beruht die Windkessel-funktion der elastischen Arterien. Diese sorgt dafür, daß die rhythmische Volumenschwan-kung sich nicht bis in die peripheren Gefäße fortsetzt. Während der Austreibungsphase des Herzens speichern die Gefäße einen Teil (bis zu 50%) des Schlagvolumens durch Ausdehnung ihres Lumens. Bei sinkendem Gefäßinnendruck im Verlauf der Diastole wird das ge-speicherte Volumen an die nachfolgenden Gefäßabschnitte weitergeleitet.

Charakteristische Werte des arteriellen Blutdruckes sind der systolische Blutdruck (Maximum der Druckpulskurve) und der diastolische Blutdruck (Minimum). Mit wachsender Ent-fernung vom Herzen steigt der systolische Druck an, während der diastolische Wert in ge-ringem Maße abnimmt. Der Blutdruck ist von der psychischen wie auch von der physischen Seite abhängig. Es ändert sich immer der systolische Druck, wobei der diastolische weitge-hend konstant bleibt. Daraus resultiert eine Erhöhung des Mitteldruckes, der zur besseren Durchblutung beiträgt.

Das Blutdrucksystem wird konstant von Dehnungsrezeptoren an verschiedenen Körperstel-len überwacht. Somit ist das Zentralnervensystem in der Lage Füllungszustände zu kontrol-lieren und das zirkulierende Blutvolumen zu regulieren. Dies geschieht über den Vagusnerv, der die Herzfrequenz regelt, dem Herzsympathikus, der die Kontraktilität steuert und dem Gefäßsympathikus, der für Gefäßveränderungen zuständig ist.

16.4 Kapillarsystem

Beim Stoffaustausch durch die Kapillarwand spielt die Diffusion in beide Richtungen eine große Rolle.

Lipidlösliche Stoffe (z.B. O_2 , CO_2) vermögen sehr rasch durch die Kapillaroberfläche zu diffundieren, während wasserlösliche Substanzen (z.B. Na^+ , Cl^- , Glukose) ausschließlich

durch wassergefüllte Poren, Spalten oder Lücken in der Kapillarwand diffusiv transportiert werden. Auf diese Weise findet ein ständiger Wasseraustausch zwischen Blutplasma und der interstitiellen Flüssigkeit statt (ca. 60l/min).

Große Moleküle können auch aktiv transportiert werden. Ein weiterer Austausch von Flüssigkeit erfolgt aufgrund von Druckdifferenzen. Hierfür ist also der Blutdruck am Kapillarsystem verantwortlich. Am venösen Ende wird etwas weniger Flüssigkeit reabsorbiert als am Anfang filtriert. Die Differenzmenge von etwa 2 l/Tag wird über das Lymphgefäßsystem abgeleitet.

17 Atmung

17.1 Aufbau und Funktion

An der Atmung sind vier hintereinandergeschaltete Teilprozesse beteiligt:

1. der konvektive Transport zu den Lungenalveolen durch die Ventilation
2. die Diffusion von den Alveolen in das Lungenkapillarblut
3. der konvektive Transport zu den Gewebekapillaren durch den Blutkreislauf
4. die Diffusion von den Gewebekapillaren in die umgebenen Zellen

Bei ruhiger Atmung werden die Formänderungen des Brustraumes durch das Zwerchfell und die Zwischenrippenmuskeln bewirkt.

Die Luft gelangt somit durch den Nasen–Rachen–Raum über den Kehlkopf in die Luftröhre. Diese teilt sich in zwei Bronchien, die schräg abwärts in die Lungenflügel eintreten. Hier findet eine starke Verästelung statt. Mit der 20. Aufteilung beginnen die Alveolengänge, die mit Alveolen (Lungenbläschen) dicht besetzt sind

Das Atemwegesystem hat außer der Zuleitung von Frischluft noch die Aufgabe der Reinigung, Erwärmung und Befeuchtung der eingeatmeten Luft.

17.2 Gastransport im Gasraum der Lunge

Die Volumina der eingeatmeten Luft können je nach Inspiration als auch durch Expiration erheblich verändert werden.

Aber auch das tiefste Ausatmen schafft nicht alle Luft aus der Lunge. Es bleibt immer ein Restvolumen. Dies hat eine physiologische Bedeutung. Würde die Frischluft ohne die Mischung mit der in der Lunge enthaltenen Luft direkt in die Alveolen gelangen, so müssten dort je nach Atmungsphase die Atemgaskonzentrationen wechselnd zu- oder abnehmen. So jedoch treten infolge des Mischeffekts nur noch geringe zeitliche Schwankungen in der Zusammensetzung der Alveolarluft auf.

17.3 Atemmechanik

Die Lunge hat zunächst das Bestreben ihr Volumen zu verkleinern. Dies ist auf die Elastizität des Lungengewebes zurückzuführen. Weiterhin trägt die Oberflächenspannung der Alveolen dazu bei.

Bei normaler Ruheatmung reicht also das passive Ausatmen aus. Nur bei vertiefter und beschleunigter Atmung muß durch Expiration die Muskelaktivität zusätzlich gefördert werden. Weiterhin müssen auch noch gewisse visköse Atmungswiderstände überwunden werden. Dazu zählen Strömungswiderstände durch die Differenz des Druckes zwischen Alveolen und Außendruck. Dazu kommen die Gewebewiderstände, die durch nichtelastische Deformation der Gewebe im Brust- und Bauchraum entstehen. Der letztgenannte Widerstand macht jedoch nur 10% aus.

17.4 Gasaustausch zwischen Gas- und Blutraum

Für den pulmonalen Gasaustausch sind hauptsächlich die verschiedenen Partialdrücke von O_2 und CO_2 in der Atemluft und den Alveolen zuständig. Somit geschieht der Austausch mittels Diffusion. Ein effektiver Diffusionsprozeß ist nur bei großer Austauschfläche und kleinem Diffusionsweg gewährleistet. Beide Voraussetzungen sind in der Lunge gegeben. Für die Arteriolisierung des Blutes ist somit die Ventilation, die Perfussion und die Diffusion maßgebend.

Der Gesamteffekt der Atmung kommt in der jeweiligen Höhe der arteriellen O_2 - und CO_2 -Partialdrücke zum Ausdruck.

17.5 Atmungsregulation

Die komplexen Mechanismen, die an der Atemregulation beteiligt sind, lassen sich am Besten verständlich machen, wenn man von dem Ziel ausgeht, dem alle Prozesse dienen.

Kurz zusammengefaßt lassen sich die Aufgaben der Atemregulation folgenderweise beschreiben:

- In Ruhe und Belastung ist die Ventilationsgröße der jeweiligen Stoffwechsellage optimal anzupassen.
- Dabei sind die Regelgrößen O_2 und CO_2 -Partialdruck und pH-Wert des Blutes auf vorgegebenen Werten zu halten.
- Atemtiefe und Atmungsfrequenz sind so aufeinander einzustellen, daß die Atmungsarbeit unter möglichst ökonomischen Bedingungen abläuft.
- Modifikationen des Atmungsrhythmus durch Sprechen, Schlucken, usw. dürfen die Regelgrößen nicht in stärkerem Maße beeinflussen.

18 Gastransport im Blut

18.1 Blutvolumen und Zusammensetzung

Die Gesamtblutmenge des Menschen beträgt etwa 7–8% seines Körpergewichtes. Für den Erwachsenen entspricht das einem Blutvolumen von 4–6 Litern. Der Volumenanteil der Zellen im Blut macht etwa 45% aus. Diesen Anteil machen zu mehr als 99% die Erythrozyten, den Rest die Leukozyten (0,3%) und Blutplättchen (0,5%) aus. Diese Werte können sich jedoch unter physiologischen Bedingungen ändern.

18.2 Sauerstofftransport

Ein gewisser Teil von 0,3 ml/dl O_2 ist im Blut physikalisch gelöst. Der wesentlich größere Teil ist chemisch an Hämoglobin gebunden.

Hierbei kann ein Molekül Hämoglobin bis zu vier Moleküle O_2 binden. Die Menge des gebundenen O_2 ist vom pH-Wert des Blutes abhängig. Sinkt der pH-Wert, so wird weniger O_2 gebunden. Die Temperatur spielt ebenfalls eine Rolle. Eine Temperaturerhöhung bewirkt hier eine Abnahme der Bindung.

18.3 Kohlendioxidtransport

Auch CO_2 wird zu einem geringen Teil (2,5 ml/dl) im Blut physikalisch gelöst. Doch auch hier ist der chemisch gebundene Anteil wesentlich höher.

Das gebildete CO_2 wird mit Wasser zu Kohlensäure und durch Abspaltung eines H^+ zu Bicarbonat. Die fortschreitende Erhöhung der HCO_3^- -Konzentration führt zu einer Diffusion ins Blutplasma (Konzentrationsgefälle) im Austausch gegen Cl^- . Auf diese Weise werden ca. 80% des vom Blut aufgenommenen CO_2 umgesetzt. 30% des Bicarbonats verbleiben im Erythrozyten, 50% diffundieren ins Plasma.

Eine weitere Möglichkeit der CO_2 -Bindung besteht in der Anlagerung von CO_2 an freie Aminogruppen des Hämoglobins. In dieser Form werden etwa 10% CO_2 transportiert.

19 Gehör

19.1 Aufbau des menschlichen Ohres

Am Ohr werden drei Abschnitte unterteilt:

- das äußere Ohr mit Ohrmuschel und Gehörgang
- das Mittelohr mit Trommelfell, Gehörknöchelchenkette und Ohrtrompete
- das Innenohr

Der äußere Gehörgang endet am Trommelfell. Zwischen diesem und dem Innenohr liegt die Paukenhöhle. Die Verbindung zwischen Trommelfell und ovalem Fenster des Innenohres bildet die Knochenkette aus Hammer, Amboß und Steigbügel.

Im Innenohr findet sich ein vielgestaltiges System aus Gängen und Hohlräumen, was Labyrinth genannt wird. Das Labyrinth enthält das Hörorgan in der Schnecke (Cochlea) und das Gleichgewichtsorgan in zwei Makulaorganen und drei Bogengängen.

Die knöcherne Schnecke stellt einen Kanal dar, der sich zweieinhalbmal um eine kegelförmige, ebenfalls knöcherne Achse windet. Der Innenraum der Schnecke ist in drei übereinanderliegende Kanäle gegliedert. Der obere Kanal grenzt an das ovale Fenster, der untere Kanal an das runde Fenster. Beide Kanäle sind mit Perilymphe gefüllt. Der mittlere Kanal ist mit Endolympe gefüllt. Dieser Kanal enthält auf seinem Boden die bindegewebige Basilarmembran, welche die Rezeptoren für den Gehörsinn, das Cortische Organ, trägt.

19.2 Funktion der Cochlea

Bei Beschallung des Ohres wird über das ovale Fenster Schallenergie auf die Perilymphe der Scala vestibuli übertragen. Wegen der Inkompressibilität der Innenohrflüssigkeit muß ein Ausgleich über das runde Fenster erfolgen. Da die Wände des Endolymphschlauches nicht starr sind, werden bei diesen mechanischen Vorgängen auch die Scala media mit der Basilarmembran ausgelenkt. Schwingungen des ovalen Fensters erzeugen in der Perilymphe sog. Wanderwellen, die sich zum Helicotrema bewegen. Während dieser Bewegung nimmt die Fortbewegungsgeschwindigkeit jeder Welle laufend ab, weil die Basilarmembran nach hinten hin breiter wird. Zwischen dem Ursprungsort der Welle am ovalen Fenster und dem Ort, an dem sie infolge Dämpfung verschwindet, bildet sich somit ein Amplitudenmaximum aus. An der Stelle des Amplitudenmaximums werden die Sinneszellen am stärksten ausgelenkt. Da dieses Maximum für Wellen verschiedener Frequenz an unterschiedlichen Orten der Basilarmembran entsteht, sind unterschiedliche Orte des Endolymphschlauches definierten Frequenzen zugeordnet. Diesen Vorgang, bei dem sich die Wanderwellen — nach Frequenzen geordnet — entmischen, nennt man Frequenzdispersion.

19.3 Erregung cochleärer Haarzellen

An der Stelle des Amplitudenmaximums kommt es zu einer Relativbewegung, wodurch die Zilien der Haarsinneszellen ausgelenkt werden. Durch Scherung der Zilien wird die Reiztransduktion ausgelöst. Die Information über die Lautstärke ist vor allem in der Zahl der Nervenimpulse verschlüsselt enthalten. Die Information der Frequenz geht aus dem rezeptorischen Ursprungsgebiet der Nervenimpulse hervor.

20 Photorezeption

20.1 Sehrezeptoren

Die lichtempfindlichen Sinneszellen, die Stäbchen und Zapfen, befinden sich in der äußersten, an das Pigmentepithel grenzenden Zone der Retina (Netzhaut). Sie sind von der Seite des einfallendes Lichtes abgekehrt und von Nervenzellen und Nervenfasern überlagert (Inversion der Retina). Die Zellkerne der Rezeptoren bilden die sog. äußere Körnerschicht. Das Licht muß also erst alle übrigen Schichten der Netzhaut durchdringen, bevor es die Rezeptoren erreicht. Das Sinnenepithel enthält etwa 6 Mio. Zapfen und annähernd 120 Mio. Stäbchen. An der Austrittsstelle der Sehnerven aus dem Augapfel fehlen die Sinneszellen (blinder Fleck).

20.2 Sehpigmente

Die Seh- oder Photopigmente sind die eigentlichen Sehfärbstoffe, die in der Lipiddoppelschicht der Außenglieder der jeweiligen Photorezeptoren liegen. Sie vermitteln die Umwandlung von Lichtreizen in neuronale Impulse. Die Sehfärbstoffe sind photosensitive Verbindungen, die bei Lichtabsorption ihre chemische Struktur ändern.

20.3 Photochemie der Pigmente

Das photosensitive Pigment der Stäbchen ist Rhodopsin (Sehpurpur). Es enthält ein Glykoprotein und einen Farbstoff (Retinal), der aus Vitamin A gewonnen wird. Eine Absorption von Photonen führt zu einer Umlagerung der Retinals. Der somit zustandekommende Zerfall des Sehpurpurs löst — unter Mitwirkung von Ca^{2+} — ein Rezeptorpotential aus.

Die Photopigmente der Zapfen sind weniger gut bekannt. den verschiedenen Zapfentypen werden verschiedene Sehfärbstoffe zugeordnet.

Die ausgelösten Aktionspotentiale leiten zunächst eine komplexe neuronale Signalverarbeitung in der Netzhaut ein, bevor schließlich die daraus resultierende Impulsserie auf die Ganglienzellen, d.h. die Fasern des Nervus opticus übertragen wird.

20.4 Farbsehen

Die Möglichkeit zur Farbwahrnehmung beruht auf dem Differenzierungsvermögen des visuellen Systems gegenüber elektromagnetischen Wellen verschiedener Wellenlänge. Im sichtbaren Spektralgebiet können etwa 300 verschiedene Spektralfarben, sog. Farbtöne, voneinander unterschieden werden. Neben der Wellenlänge beeinflußt die Beimischung von Graustufen den Farbeindruck. Somit lassen sich verschiedene Schattierungen von Farbtönen erzeugen. Berücksichtigt man darüber hinaus das Differenzvermögen hinsichtlich der Lichtintensität, so ergibt sich, daß das visuelle System $6 \cdot 10^5$ Farbvalenzen unterscheiden kann.

Diese Wahrnehmungen entstehen durch additive Farbmischung, d.h. Licht verschiedener Wellenlänge fällt auf dieselbe Netzhautstelle und wird zu einem einheitlichen Farbeindruck

verarbeitet. Aus den drei Primärfarben Blau, Grün und Rot lassen sich durch additive Farbmischung alle Farbtöne herstellen.

21 Abbildendes System

Das abbildende System des Auges (dioptrischer Apparat) entwirft auf der Netzhaut ein reelles, umgekehrtes und verkleinertes Bild der betrachteten Gegenstände. Dieser Effekt kommt durch Brechung der Lichtstrahlen an den gekrümmten Flächen zustande, die Medien unterschiedlicher Dichte voneinander trennen.

21.1 Optische Mechanismen

Der optische Apparat des Auges ist im Stande unterschiedlich weit entfernte Gegenstände scharf auf der Netzhaut abzubilden. Dies wird durch Veränderung der Brechkraft infolge einer Formveränderung der Linse erreicht, wobei sich vor allem der Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche ändert.

Die Pupillenweite hängt von der Lichtintensität ab und wird — wie die Brechkraft der Linse — reflektorisch gesteuert. Die Pupillen sind um so weiter, je geringer die Lichtdichte der Umgebung ist. Jede Zunahme des in das Auge einfallenden Lichtstromes ruft eine Verengung der Pupille hervor, wodurch gleichzeitig die Tiefenschärfe der Abbildung zunimmt.

22 Energiehaushalt

Mittlere Werte des Energieumsatzes

| | Männer (70kg) kcal/Tag | Frauen (60kg) kcal/Tag |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| Grundumsatz | 1700 | 1500 |
| Ruheumsatz | 2000 | 1750 |
| Freizeitumsatz | 2300 | 2000 |
| leichte Arbeit | 2400–3000 | 2100–2600 |
| mittelschwere Arbeit | 3000–3600 | 2600–3100 |
| schwere Arbeit | 3600–4200 | 3100–3600 |
| sehr schwere Arbeit | 4200–4800 | |

23 Viren

Der Befall durch Viren geschieht durch vielseitige Gründe. Einer davon ist, daß der Virus eine andere Zelle (*Wirtszelle*) benötigt um sich zu vermehren.

Ein Virus besteht aus DNA/RNA und besitzt keinen eigenen Stoffwechsel. Somit, muß er sich zur DNA-Reproduktion die Energie einer fremden Zelle zu nutzen machen. Seine Hülle

besteht aus Proteinen, die ihm das Eindringen in die Wirtszelle erleichtern. Der eigentliche Virus bleibt aber außerhalb der Zelle.

Der Virus befällt nun die Mitochondrien und auch die DNA der Wirtszelle, weil er seine Informationen in diese DNA einbaut. Somit kommt es zu Zellmutationen und somit zum Zelltod der Wirtszelle.

Die sogenannten Retroviren bauen durch die Reversetranscriptase aus der RNA die DNA und dann den DNA-Doppelstrang. Die Reversetranscriptase wird vom Virus *mitgebracht!*

HIV-Viren sind nun solche Retroviren. Ihre Außenhülle besteht aber zum Teil auch aus Membranmaterial der Wirtszelle, so daß das erkennen eines Fremdkörpers für das Abwehrsystem erschwert wird.