

18.1 Het zenuwstelsel

Het zenuwstelsel heeft 4 primaire functies,

1. Regeling van de **homeostase** (aansturing van een constant inwendig milieu), de aansturing van weefsels en organen.
2. Coördinatie van de activiteiten van de organen, het laten samenwerken van organen.
3. Coördinatie van contacten met de buitenwereld, vluchten, voedsel verzamelen, communiceren
4. Coördinatie van psychische functies, bewustzijn, herinneren, stemmingen emoties, denken etc.

Het zenuwstelsel bestaat uit 2 delen, het **centrale zenuwstelsel**, bestaande uit de hersenen en het ruggenmerg, en het **perifere zenuwstelsel**, wat bestaat uit de zenuwen die organen verbinden met het ruggenmerg. Je kan het zenuwstelsel ook indelen op functie, je krijgt dan het **animale zenuwstelsel**, wat de onderlinge communicatie regelt tussen organismen en het milieu, en het **autonome zenuwstelsel**, wat de organen coördineren die helpen bij het levensonderhoud van de cellen. Het regelt de hartwerking, spijsvertering en het werkt nauw samen met het hormoonstelsel.

In het zenuwstelsel komen maar 2 soorten cellen voor, de **neuronen** en de **steuncellen**. De neuronen zijn impuls geleidende cellen. De steuncellen beschermen de neuronen, daarnaast helpen ze de neuronen in het geleiden van de impulsen. Alle steuncellen bij elkaar worden de **gliacellen** genoemd, we onderscheiden er 3; **astrocyten**, **oligodendrocyten**, **gliacyten**. De astrocyten verzorgen de voeding voor de neuronen, en voeren de afvalstoffen af. De oligodendrocyten zijn erg klein, samen met 50 andere uitlopers vormen ze een dikke koker, die is gevuld met een vette stof, genaamd **myeline**. Ook wel de myelineschede. Als deze koker onderbroken wordt spreek je van een insnoering van Ranvier. Microglyocoten zijn de opruimcellen en ruimen alle niet thuis-horende cellen op in het zenuwstelsel. De uitstrekkings van een zenuw, ook wel **axonen**, worden omwikkeld door steuncellen, ook wel de **cellen van Schwann**. Ook deze cellen bevatten myeline.

De **dendrieten** zijn neuronen met een groot cellichaam, ze geleiden impulsen naar het cellichaam toe. In een neuronenuitloper is er altijd sprake van 1 richtingsverkeer, meestal van buiten naar binnen. Er zijn 3 typen neuronen:

1. Sensorische neuron, ze vervoeren impulsen van de sensoren in het lichaam naar het zenuwstelsel toe (centraal)
2. **Motorische neuron** ze vervoeren de impulsen van het centraal zenuwstelsel naar de rest van het lichaam toe.
3. **Schakelneuronen**, ofwel schakelcellen, zijn cellen die de impulsen overdragen naar andere neuron.

Zenuwen bestaan uit honderden uitlopers en behoren tot het perifere zenuwstelsel, motorische zenuwen lopen van het ruggenmerg naar de spieren, honderden axonen (zenuwuitlopers) vormen samen een **zenuwbundel**. De sensorische zenuwen lopen vanuit de zintuigen naar het ruggenmerg toe.

18.2 Algemene werking

Het zenuwstelsel heeft drie essentiële functies, input, verwerking, motorische output. Veranderingen binnen en buiten het lichaam worden door sensoren, ook wel zintuigen, waargenomen. Een sensor ook wel receptor is een gespecialiseerde cel. Deze sensoren vertaalt de prikkel naar een impuls (elektrisch en chemisch signaal), die dan via het centrale zenuwstelsel worden verwerkt en wederom worden vertaalt naar sensorische input. In het centrale zenuwstelsel vindt de verwerking van sensorische input plaats. Het ontvangt eerst de informatie van de sensoren, daarna beoordeelt het, het de input en kijkt wat ermee te doen. Het centrale zenuwstelsel beslist daarna hoe het lichaam erop moet reageren. Het lichaam reageert door of stimulerende of remmende impulsen te sturen naar de doelwitorganen. Bij alle levende cellen bestaat een meetbaar potentiaalverschil tussen de binnen- en buitenkant van een celmembraan, het **membraanpotentiaal**. Varieert tussen de -50 en -100 mV. Dit wordt opgewekt door een verschil in de ionenconcentraties.

In een neuron dat in de rust fase zit is het aantal K^+ ionen binnen de cel groter dan buiten de cel. In rust is het verschil tussen de binnen en buitenzijde van gelijk aan -70 mV, ook wel het **rustpotentiaal**. Door overdracht van positieve en negatieve ionen willen ze het verschil gelijk trekken, maar door de volgende twee redenen is dat niet mogelijk:

- 1) De doorlaatbaarheid hindert het evenwicht, verschillende ionen komen niet door het membraan heen.
- 2) Door een zogenaamde Na/K-pomp wordt er een evenwicht gemaakt met Na en K ionen, hierdoor blijft het verschil bestaan waardoor het rustpotentiaal gelijk blijft.

Depolarisatie: Een chemische of elektrische prikkel verandert de rustpotentiaal van het celmembraan. Dit leidt tot een instroom van natriumionen en een afname van het potentiaalverschil. Deze depolarisatie kan resulteren in een actiepotentiaal als de drempelwaarde van -50mV wordt overschreden. De verkleining van het potentiaalverschil wordt depolarisatie genoemd. Pas als er 20 mV is weg gesnoept kan er een impuls worden opgebouwd.

Actiepotentiaal: Als depolarisatie sterk genoeg en snel genoeg plaatsvindt, treedt een explosieve verhoging van de permeabiliteit voor natriumionen op. Dit leidt tot een snelle daling van het potentiaalverschil en een ompoling van het celmembraan. Dit proces duurt minder dan 1 milliseconde. Als de drempelwaarde wordt overschreden, ontstaat er een actiepotentiaal, onafhankelijk van de prikkelduur en -sterkte. Het maximale potentiaal verschil is 30mV, en er ontstaat pas een prikkel als de drempelwaarde is overschreden.

Repolarisatie: Direct na het ontstaan van het actiepotentiaal start de uitstroom van kaliumionen, waardoor de rustpotentiaal wordt hersteld. Het celmembraan wordt weer gevoelig voor prikkels na de absolute refractaire periode, waarin geen nieuwe actiepotentialen kunnen ontstaan. De relatieve refractaire periode volgt, waarin prikkels sterker moeten zijn dan normaal. Tijdens de refractaire periode, een periode waarin een zenuw niet instaat is om een impuls te geleiden omdat het geen lading meer heeft, duurt hooguit 1ms. Het herstelperiode na een impuls duurt tussen de 20 en 200ms en wordt ook wel de relatieve refractaire periode genoemd.

Impulsgeleiding: Een actiepotentiaal leidt tot elektrische stroompjes tussen de geprikkelde en niet-geprikkelde delen van het celmembraan. Deze stroompjes dienen als prikkel voor het ontstaan van nieuwe actiepotentialen in aangrenzende delen van het celmembraan. Impulsen worden niet voortgeleid, maar steeds opnieuw opgewekt. De impulsfrequentie hangt af van het aantal verzonden impulsen per tijd eenheid.

Impulsoverdracht

De impulsoverdracht in zenuwcellen vindt plaats via gespecialiseerde contactpunten, synapsen genaamd. Hierbij zijn minimaal drie cellen betrokken: het presynaptische neuron, het postsynaptische neuron en de synapsspleet. Het presynaptische neuron draagt de impuls over op het volgende neuron, het postsynaptische neuron. In het uiteinde van het presynaptische neuron bevinden zich synaptische blaasjes die neurotransmitters bevatten. Deze neurotransmitters zijn signaalmoleculen die vrijkomen in de synapsspleet wanneer een impuls het presynaptische celmembraan depolariseert. Calciumionen spelen hierbij een belangrijke rol. Depolarisatie van het presynaptische membraan zorgt voor een instroom van calciumionen, waardoor de intracellulaire calciumconcentratie stijgt.

Dit activeert de synaptische blaasjes, die door middel van exocytose, het stoffenoverdracht tussen cel en celmembraan, hun neurotransmitter in de synapsspleet vrijgeven. Duizenden blaasjes kunnen reageren op één enkele actiepotentiaal. Het overdragen van signalen binnenin de zenuwcel, wat leidt tot impulsoverdracht, wordt een signaalcascade genoemd. Het postsynaptische membraan is gespecialiseerd in het ontvangen van neurotransmitters. Het bevat receptoren waaraan de neurotransmittermoleculen binden. Zodra de neurotransmitter zich aan de receptor hecht, opent een ionkanaal in het celmembraan. Dit resulteert in een ionenstroom die kan leiden tot depolarisatie en, indien de drempelwaarde wordt overschreden, tot een actiepotentiaal. Nadat een neurotransmitter-receptorcomplex is gevormd, wordt het snel afgebroken door enzymen in de synapsspleet.

Het ionkanaal sluit wanneer het complex uit elkaar valt. Als het postsynaptische membraan snel en sterk genoeg depolariseert, ontstaat een actiepotentiaal en kan de impuls verder worden doorgegeven. **Neurotransmitters:** Er zijn excitatoire, vorm van stimulering, neurotransmitters die depolarisatie veroorzaken en inhibitoire, vorm van remming, neurotransmitters die hyperpolarisatie veroorzaken. De uiteindelijke vorming van een actiepotentiaal hangt af van de sommatie van excitatoire en inhibitoire signalen op het postsynaptische membraan.

Snelheid van impulsgeleiding

Neuronen produceren één soort neurotransmitter. Exciterende neurotransmitters zijn onder andere acetylcholine, glutamaat, adrenaline en dopamine. Serotonine is een inhiberende neurotransmitter. Onevenwichtigheden in dopamine en serotonine worden geassocieerd met aandoeningen zoals de ziekte van Parkinson en schizofrenie. Endorfines zijn natuurlijke pijnstillers die tijdens stress worden geproduceerd. Verdovende middelen zoals heroïne hechten zich aan endorfinereceptoren en veroorzaken bijwerkingen en verslaving. Ontwenningssymptomen bij het stoppen met verdovende middelen worden veroorzaakt doordat het lichaam geen endorfines meer aanmaakt, waardoor pijn en onaangename gevoelens optreden.

18.3 Centrale zenuwstelsel

Het centrale zenuwstelsel bestaat uit de hersenen en het ruggenmerg en wordt beschermd, grotendeels, door de botten. Het zenuwweefsel van het centrale zenuwstelsel bestaat uit dicht bij elkaar gelegen neuronen. Het heeft twee componenten: grijze stof en witte stof. Grijze stof bevat cellichamen en dendriten en fungeert als schakelcentrum, terwijl witte stof bestaat uit gemyeliniseerde zenuwceluitlopers en dient als geleidingsweg.

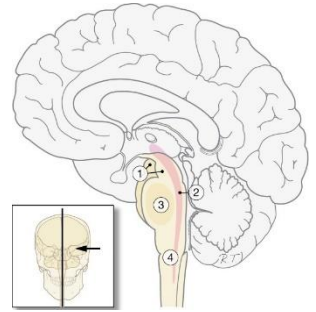
Banen zijn bundels gemyeliniseerde axonen in het centrale zenuwstelsel. Opstijgende banen bevatten sensorische axonen die signalen van beneden naar boven geleiden, terwijl afdalende banen motorische axonen bevatten die signalen van boven naar beneden sturen. Banen verbinden verschillende delen van de hersenen en bestaan uit witte stof. Kernen zijn ophopingen van cellichamen en dendriten met een gemeenschappelijke functie binnen het centrale zenuwstelsel, en ze bevatten grijze stof. Zenuwknooppunten (ganglia) zijn ook kernen, maar bevinden zich buiten de hersenen.

Het **ruggenmerg** is het deel van het centrale zenuwstelsel dat in de wervelkolom ligt, het strekt zich uit van het achterhoofd tot aan de eerste lendenwervel (onderste gedeelte van de onderrug). Tussen elke wervel ontspringen vier bundels zenuwvezels. Aan de buikzijde zijn dat motorische, aan de rugzijde sensorische zenuwvezels. Ze worden de voor- en de achterwortels genoemd. Op korte afstand van het ruggenmerg komen de wortels samen en vormen ze links en rechts van het ruggenmerg een gemengde zenuw.

Het ruggenmerg bestaat uit 31 paar ruggenmergszenuwen. Op de plaats waar sensorische en motorische vezels samenkomen, vormen de cellichamen van sensorische neuronen een verdikking genaamd een ruggenmergszenuwknoop. Er zijn dus ook 31 van deze knopen. Wanneer het ruggenmerg wordt doorsneden, heeft het binnenste deel de vorm van een vlinder. Dit binnenste deel wordt de grijze stof genoemd en bestaat uit cellichamen van motorische neuronen en schakelcellen. In het midden van de vlindervorm bevindt zich het centrale kanaal, dat gevuld is met hersenvocht. Rondom de vlindervorm bevindt zich de witte stof, die voornamelijk bestaat uit gemyeliniseerde axonen. Deze axonen vormen opstijgende en afdalende banen.

Het ruggenmerg kan worden gezien als een drukke snelweg waarlangs impulsen heen en weer bewegen tussen de periferie (het lichaam) en de hersenen, die fungeren als de grote regelcentrale. Het zenuwweefsel van het ruggenmerg wordt beschermd door drie membranen: het zachte vlies, het spinnenwebvlies en het harde vlies. Deze membranen omringen het zenuwweefsel in de volgorde van binnen naar buiten.

Vlak bij het hoofd gaat het ruggenmerg over in de hersenstam, net als het ruggenmerk essentieel voor het versturen van impulsen. De hersenstam bestaat uit 3 delen, de middenhersen (1), de brug van Varol (3) en het verlengde merg (2). (4) ruggenmerg. Er ontspringen 12 paar zenuwen uit de hersenstam. Je noemt ze hersenzenuwen. De meeste hiervan 'bedienen' het hoofd; sommige zijn sensorisch en vervoeren impulsen vanuit de zintuigen; andere zijn motorisch en besturen de aangezichtsspieren en de mond.



Het verlengde merg heeft een vergelijkbare structuur als het ruggenmerg, met een grijze "vlinderfiguur" van schakelcellen omringd door witte stof. Het bevat motorische banen, waaronder de piramidebanen, die motorische zenuwvezels bevatten en elkaar kruisen bij de piramidekruising. In de grijze stof van het verlengde merg bevinden zich belangrijke regelcentra, zoals het hartregulatiecentrum, ademcentrum en temperatuurregulatiecentrum. Ook zijn er olijkernen aanwezig, die fungeren als schakelcentra voor evenwichts-informatie en verbindingen hebben met de grote hersenen, kleine hersenen en andere delen van de hersenstam.

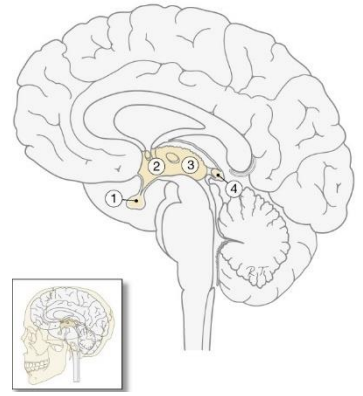
Een reflex is een onmiddellijke reactie op iets dat gebeurt om je heen, het reageert zo snel omdat via het ruggenmerg de reflexen worden uitgevoerd, zonder dat je er over nadenkt. Reflexen waar je geen controle over hebt behoren tot het **autonome** zenuwstelsel, die betrekking hebben op glad spierweefsel, hartspieren en klieren. Reflexen waarbij dwarsgestreepte spieren zijn betrokken, zijn we ons wel bewust en we kunnen er soms zelfs invloed op uitoefenen. Een voorbeeld is de **terugtrekreflex**.

De reflexboog bestaat uit, *een zintuigcel → een sensorische neuron → schakelcellen in ruggenmerg of hersenstam → motorisch neuron → spier of kliercel*.

De kniepeesreflex treedt op wanneer de kniepees wordt aangeslagen, wat resulteert in een verhoogde spanning in de kniepees. Dit leidt tot rek van bepaalde spiercellen in de bovenbeenspier. De rek wordt gedetecteerd door zintuigjes genaamd spierspoeltjes en peesspoeltjes, die aanwezig zijn in de spier en kniepees. Deze zintuigjes genereren impulsen die via sensorische neuronen naar het ruggenmerg worden gestuurd. In het ruggenmerg worden de impulsen direct overgedragen aan motorische neuronen, die de bovenbeenspier stimuleren om samen te trekken. Hierdoor strekt het kniegewricht zich en wordt het onderbeen omhoog gebracht. Reflexen hebben vooral een beschermende functie, reflexen waarbij de ledematen betrokken zijn, verlopen via ruggenmergzenuwen, het zijn **ruggenmergreflexen**. Er zijn ook **hersenstamreflexen**, die betreffen het hoofd, gezicht, hals en nek.

De kleine hersenen liggen boven en achter de hersenstam, en bestaan uit twee helften. Ze zijn betrokken bij het coördinatie van lichaamsbewegingen. De grijze stof wordt schors genoemd en de witte stof merg. Doordat de kleine hersenen je lichaamsbewegingen coördineren zijn ze in direct contact met de grote hersenen, de hersenstam en het ruggenmerg en ze delen continue informatie uit. Motorische neuronen prikkelen de spieren die betrokken zijn bij de handeling. Tegelijkertijd wordt er een kopie van de bedoelde beweging naar de kleine hersenen gestuurd. Zodra de beweging begint, nemen de kleine hersenen de coördinatie over.

Tussen den hersenstam en de grote hersenen liggen nog twee kleinere hersenen, de **thalamus (3)**, belangrijk schakelstation voor sensorische impulsen, en de **hypothalamus (2)**, zorgt voor de regeling van homeostase, het zorgt er in feite voor dat je in leven blijft, door bloeddruk gelijk te houden, temperatuurcentrum, dorstcentrum, alles wat essentieel is voor het onderhouden en constant houden van je innerlijke milieu wordt geregeld door de hypothalamus. (4) pijnappelklier en (1) hypofyse).



De grote hersenen maken je bewuste handelen mogelijk, maar je kan er ook mee denken, creatief vermogen, geheugen, intelligentie en je persoonlijkheid worden allemaal bepaald door je grote hersenen. Ook de grote hersenen bestaan wederom uit twee gelijke helften, de hemisferen. Een hersenhelft heeft de vorm van een kwart bol. De binnenkant bestaat uit witte stof (merg), omringd door de grijze stof (schors).

Een **schorsgebied** is een afgegrensd schorsgedeelte met een bekende functie. Bepaalde schorsgebieden houden zich bezig met het primair zintuigcentra, hier komen de impulsen binnen en neem je ze waar. Elk zintuig heeft zijn eigen commandocentrum in de schors. Naast de primaire heb je ook secundaire, hiermee hecht je betekenis aan binnenkomende prikkels, hierdoor weet je wat de prikkels inhouden, dit kan worden gehecht aan kennis maar ook aan eerdere ervaringen. Er zijn ook **motorische centra**. Deze coördineren de bewuste bewegingen, motoriek. De rechter hersenhelft bestuurt het linker kant van je lichaam en visa versa. De primaire motorische schorscentra geven opdrachten voor eenvoudige bewegingen en zijn specifiek gericht op bepaalde delen van het lichaam, zoals de hand en de tong. De secundaire motorische schorscentra zijn betrokken bij de coördinatie van complexe aangeleerde bewegingen, zoals fietsen, pianospelen en schrijven.

18.4 Autonome zenuwstelsel

Het autonome zenuwstelsel bestaat uit vijf stelsels, die allemaal worden aangestuurd om een constant inwendig milieu te creëren, beter bekend onder homeostase.

- 1) het circulatiestelsel
- 2) het spijsverteringsstelsel
- 3) het uitscheidingsstelsel
- 4) het ademhalingsstelsel
- 5) de huid

We onderscheiden twee gedeelten in het globale autonome zenuwstelsel, het **orthosympathische** zenuwstelsel, is alleen actief wanneer je dat zelf ook bent, denk hierbij aan sport, het stimuleert de ademhaling en hartactiviteit en het remt de werking van het spijsverteringsstelsel, en het **parasympathische** zenuwstelsel, dat vooral actief is wanneer jij dat niet bent, bijvoorbeeld na het eten, het bevordert de spijsvertering en remt de hart en ademhalingsactiviteiten. De doelwitorganen van het autonome zenuwstelsel zijn vooral gladde spieren, de hartspier en de kleiren. Door dubbele **innervatie** krijgen doelwitorganen zowel para als orthosympathische impulsen. Het orthosympathische zenuwstelsel bestaat uit een rij zenuwknopen genaamd de grensstreng, gelegen naast de wervelkolom, met enkele knopen in de buik. Het parasympathische zenuwstelsel omvat zenuwknopen in de hersenstam, met name het verlengde merg, en het onderste ruggenmerg, evenals de zenuwen die deze knopen verbinden met de organen.

Het autonome zenuwstelsel is dus vooral bezig met de regulering van homeostase, dit werkt altijd volgens het principe van **regelkringen**. Die worden gekenmerkt door het volgende stappen plan.

Zintuigencellen vangen iets op en vertalen dat naar impulsen → de verandering wordt met de normale situatie vergelijkt (normaalwaarde) → een verschil intern kan leiden tot impulsen naar doelwitorganen → de reactie heeft als gevolg of stimulering of remming van bepaalde organen → de zintuigcellen geven de veranderingen (effect) door → het zenuwstelsel vergelijkt opnieuw, en past aan → etc.

Een belangrijk onderdeel van de regelkringen is de terugkoppeling dat het krijgt, zo ontstaan er continue evenwichten die worden aangepast op basis van de terugkoppelingen. De regeling van allerlei lichaamsprocessen is gevoelig voor stemmingen en emoties

18.5 Bewegen

Skeletspieren worden aangestuurd door motorische neuronen van het animale zenuwstelsel, botten en gewrichten vormen samen het **bewegingsapparaat**. Hiermee kan je bewegen maar jezelf ook uitdrukken, aangezien het bewegingsapparaat verantwoordelijk is voor: *je houding, je bewegingen (bal gooien), je voortbewegingen (rennen), je gebaren en je vermogen om gereedschappen te hanteren.*

Het skelet vormt een stabiel inwendig raamwerk, waaraan we onze stevigheid te danken hebben. Doormiddel van gewrichten wordt het gehele skelet bij elkaar gehouden, een gewricht is een goed bewegelijke verbinding tussen twee aan elkaar grenzende botten. Sommige gewrichten passen perfect in elkaar, denk aan knie, dan spreek je van een gewrichtskogel en een gewrichtskom. De spieren zijn doormiddel van pezen aan de botten bevestigd. De gewrichtsbanden zorgen ervoor dat het skelet niet elkaar inzakt.

Het kniegewricht is een complex gewricht dat alleen strekken en buigen mogelijk maakt. De gewrichtsvlakken van het dijbeen en onderbeen passen niet perfect op elkaar, waardoor er ruimte is die wordt opgevuld door de menisci. Bij volledige strekking passen de gewrichtsdelen perfect bij elkaar, wat zorgt voor maximale stabiliteit. Bij buiging kan het onderbeen ten opzichte van het bovenbeen draaien, waardoor er weer ruimte ontstaat in het gewricht. Stevige kruisbanden voorkomen overmatige buiging.

In het menselijk lichaam zitten meer dan 600 verschillende dwarsgestreepte spieren, ze hebben aantal functies;

Ze laten je lichaam bewegen, Ze handhaven lichaamshouding, ze vormen een beschermende laag op specifieke lichaamslocaties en ze produceren warmte.

Het lichaam heeft 3 soorten spieren, gladde spieren, hartspier en dwarsgestreepte spieren, de myofibrillen bestaan uit sacromeren, die weer zijn opgebouwd uit 2 eiwitten, de **actine** en de **myosine**. Dit zijn draadvormige eiwitketens die heel regelmatig ten opzichte van elkaar zijn gerangschikt.

Spierkracht wordt bepaald door de samentrekking van myofibrillen. Na de samentrekking volgt een ontspanningsfase waarbij actinefilamenten naar hun oorspronkelijke positie verschuiven zonder energiekosten. Het in elkaar schuiven van myosine- en actinefilamenten vereist voortdurend contact tussen enkele myosinekopjes en actinefilamenten, wat resulteert in spiertonus (rustspanning).

Niet alle spiervezels zijn tegelijk actief tijdens normale spieracties om vermoeidheid te voorkomen. Het aangaan van bindingen tussen myosine en actine vereist energie in de vorm van ATP, wat verklaart waarom spiervezels veel mitochondriën bevatten. Calcium is nodig voor de bindingen tussen myosine en actine, en een specifiek endoplasmatisch reticulum rondom myofibrillen voorziet in de benodigde calcium.

Bij elke beweging zijn antagonistische spieren betrokken die tegengestelde bewegingen mogelijk maken. Bijvoorbeeld, de buigspier (biceps) en strekspier (triceps) in het ellebooggewricht werken tegengesteld aan elkaar. Dit is essentieel omdat een spier alleen kan samentrekken en niet actief kan verlengen.

In de meeste spieren varieert het aantal spiervezels per motorische eenheid. Sommige motorische eenheden besturen slechts enkele spiervezels, terwijl andere verbonden zijn met meer dan honderd spiervezels. Grote motorische eenheden in bijvoorbeeld arm- en beenspieren kunnen tot 800 tot 1000 spiervezels met één axon verbinden, terwijl kleine motorische eenheden in hand-, vinger- en tongspieren minder spiervezels per axon hebben vanwege de behoefte aan fijne en precieze bewegingen.

Motorische eenheden gehoorzamen het alles-of-niets-principe. Omdat de prikkel drempels van verschillende motorische eenheden in een spier verschillen, worden niet alle eenheden tegelijk geactiveerd. Dit stelt het zenuwstelsel in staat om de kracht van de spiercontractie nauwkeurig te reguleren. De spierkracht en -spanning zijn afhankelijk van het aantal actieve motorische eenheden (geprikkelde op dat moment). De samentrokken spiervezels die ervoor zorgen dat je niet omvalt, lijken rustig te zijn. Elke 0,02 seconden voorkomt een impuls in elke spiervezel dat deze ontspant, en deze impulsen worden reflexmatig tot stand gebracht. Na samentrekking is er altijd een periode van ontspanning waarin herstel optreedt, zoals het afvoeren van afvalstoffen, het aanvoeren van zuurstof en het aanvullen van de ATP-voorraad.

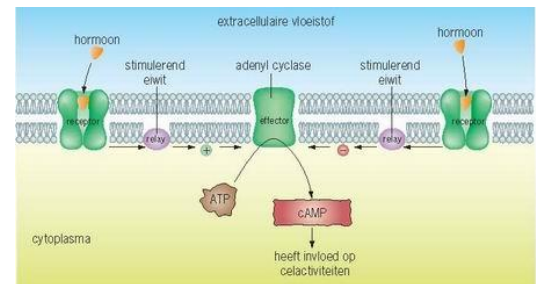
De overdracht van impulsen van het motorische axon naar de spiervezels vindt plaats via het motorisch eindplaatje, waarbij een actiepotentiaal de vrijlating van neurotransmitters, meestal acetylcholine, veroorzaakt in de synapsspleet. Het postsynaptische membraan, dat het spiervezelmembraan is, wordt kort daarna gedepolariseerd. Als de depolarisatie voldoende groot is, ontstaat een actiepotentiaal in de spiervezel, wat leidt tot het vrijkomen van bindingsplaatsen in actinefilamenten en het aangaan van bindingen tussen actine en myosine. Alle spiervezels die verbonden zijn met dezelfde motorische eenheid trekken tegelijkertijd samen bij een actiepotentiaal. Het afbreken van acetylcholine in de synapsspleet gebeurt zeer snel, waardoor direct daarna weer een samentrekking kan volgen. Elke volledige samentrekking duurt ongeveer 100 milliseconden.

Wanneer impulsen elkaar snel opvolgen, zal de spiervezel sterker samentrekken. Bij herhaalde impulsen kan een maximale samentrekking worden bereikt, wat resulteert in een tetanus of **tetanische** contractie. Dit treedt op bij een impulsfrequentie van 50 per seconde. Tijdens een tetanus trekt de spier met meer kracht samen dan bij afzonderlijke samentrekkingen. Het hartspierweefsel kan echter nooit in een tetanische contractie komen vanwege de relatief lange **absolute refractaire** periode, waardoor het hart gelijkmatig kan blijven kloppen gedurende het hele leven.

19.1 Algemene werking van hormonen

Hormonen worden op meer dan 10 plekken in je lichaam gemaakt, in de zogenaamde **hormoonklieren**, die vaak meer dan 1 hormoon produceren. Niet gek dat er dus verschillende hormonen tegelijkertijd door je bloedstroom gaan, elk hormoon heeft een doelwitorgaan, dit voorkomt dat organen alle hormonen opnemen zonder er iets mee te doen. Het celmembraan van het doelwitorgaan heeft receptoren (ontvangers) die reageren op de hormonen, als het aan de receptor is gebonden kan het invloed uitoefenen op de cel. Zo worden alleen cellen met de juiste receptoren beïnvloed. We hebben twee soorten hormonen, de **steroïden**, chemisch verwant aan cholesterol, en de **peptidehormonen**, soms zijn dat omgebouwde aminozuren maar vaak polypeptiden, bouwstenen voor proteïnes. Steroïden zijn niet oplosbaar in water, en worden daarom voor vervoer gebonden aan eiwitten die wel vervoert kunnen worden door het bloed. De steroïden binden zich dan in de cel aan een eiwit, de receptor, daarna dringt het **hormoon-receptor-complex** door tot in de kern van de cel, waar het DNA zich bevindt. Waarna het genexpressie, het aanpassen van erfelijke eigenschappen door de aanmaak van eiwitten, stimuleert of juist afremt.

Voorbeelden van peptidhormonen zijn insuline, ADH en oxytocine. Zij zijn goed oplosbaar in water en hebben dus geen vervoereiwit nodig om bij de doelwitorganen te komen. Alleen passeren deze hormonen het celmembraan niet, dus vanuit de buitenkant oefenen ze invloed uit. Het hormoon, de **first messenger**, bindt zich vast aan de receptor, hierdoor begint een ingewikkeld proces van reacties, met als eindresultaat een verhoogde concentratie van **cAMP**, cyclisch adenosinemonofosfaat, cAMP wordt ook wel de second messenger genoemd. Stimuleert het hormoon een remmende functie? Dan worden er juist minder cAMP's aangemaakt, cAMP's zijn dus stimulerende enzymen.



BELANGRIJK: Hormonen zijn geen enzymen en hebben dus geen stimulerende en remmende functie, ze zetten een reactie in werking die de stimulerende en remmende functie bevat, ze doen het **niet zelf**!

19.2 Regelkringen

Het besturen van processen in het menselijk lichaam komt altijd neer op het **bijsturen** van processen, de manier van bijsturen in een evenwichtssituatie wordt ook wel de **negatieve terugkoppeling** genoemd, denk hierbij aan fietsen: Rechtdoor fietsen is zorgen dat je niet teveel naar links en rechts uitwijkt. Ofwel het besturen van hormoonprocessen zijn terug te leiden naar de regelkringen van **18.4**. Doormiddel van een terugkoppeling van een sensor wordt een proces bijgestuurd doormiddel van hormonen. Negatieve terugkoppeling wordt gekenmerkt doordat ergens in het stelsel een remmende functie zit. **Positieve terugkoppeling** kan ook, hierbij wordt er alleen niet gestreefd naar een evenwicht maar juist naar een toenemende of afnemende concentratie. Ook wel het sneeuwbaaleffect, hierbij word er dus alleen maar gestimuleerd of alleen maar geremd. Maar sommige hormoonklieren zijn zelf ook instaat tot remming en stimulering zonder tussenkomst van het zenuwstelsel. Deze klieren hebben dan eigen sensoren die de samenstelling van het bloed analyseren en bij verandering zelf reageren.

Melatonine is een hormoon dat de biologische klok reguleert en verschillende toepassingen heeft. Het kan helpen bij het onderdrukken van jetlag en heeft potentieel positieve effecten op slaapstoornissen, kanker, depressie en andere aandoeningen. De optimale dosis en timing van inname zijn nog niet volledig bekend. Melatonine wordt geproduceerd in de epifyse, een klier in de hersenen, en volgt een 24-uursritme. Het wordt 's nachts aangemaakt en de productie wordt beïnvloed door licht. Melatonine kan de biologische klok helpen synchroniseren en kan worden gebruikt om de interne klok aan te passen aan een nieuwe tijdzone.

19.3 Het hypothalamus-hypofyse-systeem

De **hypothalamus**, het hersengedeelte tussen de hersenen dat veel regelcentra bevat, heeft veel invloed op het hormoonregeling, aangezien het de normwaarden handhaaft, ofwel verantwoordelijk is voor het behouden van het zelfde milieu in je lichaam, **homeostase**. Andere werkingen zijn:

- 1) Bepaalde zenuwcellen produceren hormonen, het antidiuretisch hormoon en oxytocine (stimulerend hormoon voor samentrekking baarmoederwand tijdens bevalling). Doormiddel van de bloedbaan komen de hormonen aan op de plek van bestemming, afgifte van hormooncellen vanuit zenuwcellen heet **neurosecretie**.
- 2) Bepaalde cellen maken in de hypothalamus hormonen die via zenuwuitlopers naar de hypofyse gaan, die op haar beurt gestimuleerd of juist geremd wordt in de maak van hormonen, je spreekt hier van **releasing** hormonen (factor) **RF** en **inhibiting** hormonen (factor) **IF**. Door de grote invloed van de hypothalamus op de hypofyse spreken we van het hypothalamus-hypofyse-systeem. De hypofyse is een klein orgaan dat vlak onder de hypothalamus hangt, en bestaat uit twee delen, de **hypofysevoorkwab** en de **hypofyseachterkwab**.

De **hypofyseachterkwab**, is het doorgeefluik van de twee geproduceerde hormonen van de zenuwcellen, antidiuretisch hormoon en oxytocine. Het anti-diuretisch hormoon (ADH) wordt geproduceerd wanneer osmosensoren in de hypothalamus een te hoge osmotische waarde van het bloed detecteren. Dit kan worden veroorzaakt door een hoog zoutgehalte of een laag watergehalte in het bloed. ADH werkt in de nieren en zorgt ervoor dat er minder water wordt uitgescheiden. Hierdoor blijft er meer water in het bloed, waardoor de osmotische waarde weer kan dalen. De nieren zijn de doelwitorganen van ADH.

Regelkring

Osmosensoren registreren een te hoge osmotische waarde in het bloed ► het zenuwstelsel stimuleert de hypothalamus meer ADH aan te maken ► via de hypofyse-achterkwab wordt dit aan het bloed afgegeven ► de nieren scheiden als reactie hierop minder water uit ► zoutgehalte wordt lager (bloed wordt 'verdund') ► de osmosensoren registreren dit ► zenuwstelsel remt de hypothalamus in de vorming van ADH ► via de hypofyse-achterkwab komt minder ADH in het bloed ► enzovoort.

Het hormoon oxytocine wordt aan het einde van de zwangerschap geproduceerd. Het veroorzaakt samentrekkingen van glad spierweefsel, met name in de baarmoederwand, waardoor de bevalling begint. Tijdens de zwangerschap voorkomt het geslachtshormoon progesteron dat oxytocine zijn invloed op de baarmoederwand uitoefent. Oxytocine bevordert ook samentrekkingen van glad spierweefsel in de melkklieren, wat leidt tot melkuitdrijving tijdens het geven van borstvoeding. Oxytocine versterkt ook de band tussen moeder en kind en bevordert verzorgend gedrag.

De **hypofysevoorkwab**, produceert hormonen onder toezicht van de hypothalamus. Het groeihormoon stimuleert de stofwisseling en de eiwitaanmaak. Het **schildklierstimulerend hormoon** (TSH) zorgt ervoor dat de schildklier schildklierhormonen produceert. Een hoge concentratie schildklierhormoon remt de productie van TSH door de hypofyse via negatieve terugkoppeling.

Regelkring

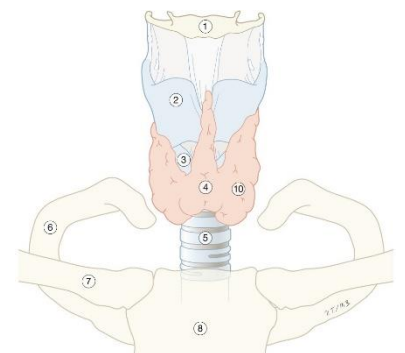
Weinig schildklierhormoon in bloed ► meer TSH-afgifte ► schildklier gaat meer schildklierhormoon maken ► concentratie van schildklierhormoon in het bloed stijgt ► door de stijging wordt de hypofyse geremd ► er is minder TSH-afgifte door hypofyse ► enzovoort.

Het **bijnierschorsstimulerend hormoon** (ACTH) bevordert de productie van bijnierschors hormonen in de bijnieren. Deze bijnierschors hormonen remmen op hun beurt de productie van ACTH, waardoor er een negatieve terugkoppeling ontstaat. Het **follikelstimulerend hormoon** (FSH) stimuleert bij vrouwen de ontwikkeling van eicellen in de eierstokken en bij mannen de vorming van zaadcellen in de testikels. De afgifte van FSH wordt geremd door bepaalde andere geslachtshormonen via negatieve terugkoppeling.

Het **luteïniserend hormoon** (LH) stimuleert bij vrouwen de eirijping, de eisprong en de ontwikkeling van het gele lichaam. Bij mannen stimuleert LH de productie van testosteron. De hoeveelheid vrouwelijke/mannelijke hormonen beïnvloedt de afgifte van LH via negatieve terugkoppeling. **Prolactine** bevordert samen met het groeihormoon de ontwikkeling van de borsten tijdens de zwangerschap en stimuleert melkproductie (lactatie) na de bevalling.

19.4 De schildklier

De **schildklier** (4) ligt in de hals op de grens tussen het strottenhoofd (2) en de luchtpijp (5), en is verantwoordelijk voor het produceren van het schildklierhormoon **thyroxine**, wat de stofwisseling stimuleert. Hierbij is wel jodium nodig, als er teveel schildklier activiteit is verbrand je te snel te veel energie waardoor je snel vermagert, maar als de schildklier te langzaam en te weinig hormonen produceert ben je juist sloom, moe en blijft de groei achter. Vroeger kwam dit voornamelijk door een tekort aan jodium, maar recentelijk is het wettelijk vastgelegd dat bakkerszout jodium moet bevatten, hierdoor is een jodiumtekort meestal uit te sluiten.



19.5 De eilandjes van Langerhans

In de **alvleesklier** liggen de eilandjes van Langerhans, deze hebben een compleet andere functie dan de alvleesklier, de eilandjes geven namelijk veel hormonen af aan de bloedbaan, in plaats van het maken van sap voor spijsvertering. Enkele hormonen die de eilanden produceren zijn insuline en glucagon, beide helpen bij het op peil houden van het insuline gehalte. Insuline werkt verlagend op de bloedsuikerspiegel, aangezien het spieren bevordert om glucose om te zetten in glycogeen, de opslag variant van glucose. Glucagon werkt juist verhogen op de bloedsuikerspiegel, aangezien het de cellen stimuleert om glycogeen om te zetten in glucose. De regelkring loopt zo:

De hormoonproducerende cellen worden zo direct negatief teruggekoppeld: (te) hoge suikerconcentratie ► daardoor minder glucagon en meer insuline ► daardoor lagere bloedsuikerspiegel ► (te) lage bloedsuikerspiegel ► daardoor meer glucagon en minder insuline ► hogere bloedsuikerspiegel ► enzovoort.

19.6 De bijnieren

Elke nier is uitgerust met een eigen bijnier, de naam klinkt verwarrend, maar het is zeker geen backup nier! Het bestaat uit twee gedeelten, het **bijniermerg** en het **bijnierschors**, die elk als een eigen hormoonklier te schouwen zijn. Het bijniermerg produceert adrenaline, ze hebben hetzelfde effect als het sympatische zenuwstelsel. De hormonen komen namelijk vrij als je iets moet doen, en snel, als je bijvoorbeeld schrikt of wegrent. Net zoals bij het sympatische zenuwstelsel dat actief wordt als jij dat ook bent. De belangrijkste functies van **adrenaline** zijn:

- Het bevordert in de lever en skeletspieren de omzetting van glycogeen naar glucose
- Het stimuleert de hartactiviteit
- Het doet de pupillen verwijden
- Het stimuleert de bloedvatverwijding
- in andere delen van het lichaam zorgt het juist voor bloedvatvernauwing

Aangezien het hormoon je in een vechtpositie brengt wordt het ook wel **fight-flight-hormone** genoemd (vecht-vluchthormoon). Adrenaline is net als glucagon een antagonist van insuline, het verhoogt de bloedsuikerspiegel, we noemen de werking van adrenaline ook wel een **synergistische werking**.

Het bijnierschors produceert onder invloed van ACTH (bijnierstimulerend hormoon) de twee hormonen, **aldosteron** en **cortisol**. Aldosteron reguleert de kalium/natrium-balans in het bloed. Cortisol, heeft dezelfde werking als adrenaline en glucagon en doet het bloedsuikerspiegel stijgen. Cortisol heeft tevens een remmende invloed op ontstekingsreacties en op de vorming van antistoffen, het zorgt ervoor dat er geen heftige ontstekingsreactie optreedt, bijvoorbeeld een allergie. Ook produceert het schors mannelijke en vrouwelijke geslachtscellen, maar in verhouding met de geslachtsorganen zelf is het amper iets te noemen.

19.11 Suikerziekte

Iemand met suikerziekte het continue teveel suiker in het bloed, het bloed kristalliseert, wat zorgt voor 'scherper' bloed wat vooral in de fijne vaatjes op langer termijn tot schade kan leiden, denk hierbij aan huidvaten en bloedvaten in de ogen, daarom hebben mensen met suikerziekte vaak bloeddorlopen ogen. Als er meer 170mg/ 100ml aan suiker in het bloed zit kunnen de nieren dat niet meer wegwerken, en krijg je een overschot. Iemand met suikerziekte moet dus veel medicijnen slikken en veel insuline krijgen om het bloedsuikerpijl op een gezonde hoogte te houden. Maar ook door teveel insuline inspuiten kan het fout gaan, aangezien er dan te weinig suiker in je bloed aanwezig is, vaak voelen mensen met suikerziekte het aankomen, waardoor ze snel suiker kunnen eten. Er zijn twee typen, **type-1-diabetes**, kan komen door infecties of door de verminderde functie van de alvleesklier waardoor die minder insuline aanmaakt. **Type 2 diabetes**, ook bekend als ouderdomssuikerziekte, kwam vroeger voornamelijk voor bij mensen boven de veertig jaar. Tegenwoordig wordt deze vorm van diabetes steeds vaker bij jongeren vastgesteld, als gevolg van ernstig overgewicht.

20.1 De zintuigen

Notitie: Ik weet niet of dit op SE4 komt, voor de zekerheid wel ingevoegd.

Receptoren in organen, ook wel sensoren genoemd, spelen een cruciale rol bij het waarnemen van de omgeving. Ze vertalen verschillende soorten prikkels, zoals chemische, mechanische of lichtenergie, naar elektrische impulsen die door de hersenen worden verwerkt. Prikkelsterkte beïnvloedt de impulsfrequentie, maar niet de sterkte van de elektrische impuls zelf. Er zijn vier hoofdtypen receptoren:

1. Chemische receptoren: Reageren op veranderingen in de chemische samenstelling en detecteren geur, smaak, zuurstofniveaus, koolstofdioxide en zuren. Voorbeelden zijn smaakzintuigcellen, reukzintuigcellen en chemosensoren.
2. Mechanische receptoren: Worden geprikkeld door vormveranderingen als reactie op mechanische krachten zoals druk, trillingen, trekspanning en bewegingen van vloeistoffen. Pijn-, tast- en drukzintuigen, evenals bloeddruksensoren en rekkingssensoren, behoren tot deze categorie.
3. Temperatuurreceptoren: Registreren temperatuurveranderingen en bevinden zich in de huid en het centrale zenuwstelsel.
4. Lichtreceptoren: Reageren op licht en bevinden zich in de ogen. Ze worden ook wel fotosensoren genoemd.

Elk type receptor heeft een adequate prikkel, zoals licht voor de ogen en chemische stoffen voor smaakzintuigen. Organen zoals de neus, oren, tong, huid en ogen bevatten gespecialiseerde receptoren die zijn afgestemd op het opvangen van de juiste prikkels voor respectievelijk reuk, gehoor en evenwicht, smaak en tastzin, gevoel, en zicht.

Het reukslijmvlies bevindt zich in de linker- en rechterneusholte en heeft een oppervlakte van ongeveer 2,5 cm². Het bevat ongeveer 100 miljoen reukzintuigcellen, die fungeren als chemische receptoren. Deze cellen hebben uitlopers die zich bundelen en naar de reukzenuw lopen, die zich in de schedelholte bevindt. Wanneer vluchtige stoffen in de ingeademde lucht oplossen in het slijm van het reukslijmvlies, vormen ze een chemische verbinding met de trilharen van de zintuigcellen. Deze gevormde verbinding dient als prikkel en wordt omgezet in impulsen door de zintuigcellen. De impulsen bereiken vervolgens het centrale zenuwstelsel via de reukzenuw.

Het oor bestaat uit drie delen: het buitenoor, het middenoor en het binnenoor. Het buitenoor bestaat uit de oorschelp, de uitwendige gehoorgang en het trommelvlies, en dient als het prikkel opvangende gedeelte van het oor. Het middenoor is het prikkelgeleidende gedeelte en bevat de gehoorbeentjes (hamer, aambeeld en stijgbeugel) die de trillingen van het trommelvlies versterken. De trommelholte, ook wel bekend als de holte van het middenoor, is verbonden met de buitenwereld via de buis van Eustachius, die zorgt voor drukegalisatie. Het binnenoor bevat het slakkenhuis waar de receptoren zich bevinden. Het slakkenhuis is gevuld met vocht dat trillingen naar de zintuigcellen geleidt. De zintuigcellen zetten de trillingen om in impulsen en sturen deze via de gehoorzenuw naar het centrale zenuwstelsel. Daarnaast bevindt het evenwichtszintuig zich ook in het binnenoor, waar receptoren in de halve cirkelvormige kanalen en kristallen (gehoorsteentjes) veranderingen in de stand van het hoofd registreren en informatie leveren voor het bewaren van het evenwicht.

De menselijke tong kan vijf smaken proeven: zout, zoet, bitter, zuur en umami. De smaakpapillen in de mond kunnen alle smaken waarnemen. Proeven wordt echter beïnvloed door combinaties van voedingsstoffen, geur, druk, tast en temperatuur. Het 'mondgevoel' van eten speelt een belangrijke rol bij het bepalen of iets lekker is of niet.

De verschillende huidzintuigen:

1. **Tastzintuigen:** Hiermee kun je lichte aanrakingen waarnemen. Ze bevinden zich voornamelijk in de huid van de vingertoppen en het gezicht. Deze zintuigen spelen een rol bij het 'voelen' van objecten en het ervaren van texturen.
2. **Drukszintuigen:** Deze zintuigen stellen je in staat om het gevoel van duwkracht op de huid waar te nemen. Ze helpen bij het reguleren van de krachten die optreden wanneer je iets vastpakt. Drukszintuigen kunnen ook trillingen en variaties in druk waarnemen.
3. **Temperatuurreceptoren:** Er zijn twee typen temperatuurreceptoren: warmtezintuigen en koude zintuigen. Warmtezintuigen reageren op warmteoverdracht naar de huid, terwijl koude zintuigen reageren op warmteafgifte van de huid. Ze stellen ons in staat om temperatuurveranderingen waar te nemen.
4. **Pijnreceptoren:** Pijnreceptoren zijn gevoelig voor prikkels die schade of dreigende schade aan het weefsel signaleren. Ze kunnen lichte pijnsensaties veroorzaken bij prikkeling en ernstige pijn bij daadwerkelijke beschadiging van de zenuwen.

20.2 Zien

Van alle receptoren die in het menselijk lichaam te vinden zijn zit 70% in het netvlies, het oog is een complex orgaan, waarvan de lichtreceptoren achter in de oogbol het middelpunt vormen. Het oog functioneert doormiddel van de omringende spieren, weefsels, oogleden en traanapparaat. Met een oogmeter is de **accommodatie** (stelling van de oogleden op ver of dichtbij, zodat je scherp beeld op de netvliezen krijgt) van het oog te bepalen.

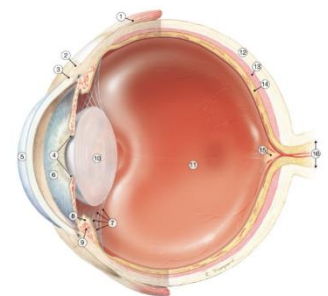
De oogbol heeft een gemiddelde diameter van 24 mm en is bolvormig, behalve aan de voorkant waar het iets naar voren uitpuilt. De optische as is de denkbeeldige middellijn die van voor naar achter door het midden van de oogbol loopt. De oogbol bestaat uit drie lagen: de harde oogrok, het vaatvlies en het netvlies.

Harde oogrok: Dit is een dikke, stevige bindweefsellag met een witte kleur. Het hoornvlies, aan de voorkant van het oog, is een doorzichtig deel van de harde oogrok dat naar voren uitpuilt. Het hoornvlies wordt vochtig gehouden door het knippen van de oogleden.

Vaatvlies: Dit dunne, goed doorbloede vlies bedekt de binnenkant van de harde oogrok. Het voorziet het oog van zuurstof en voedingsstoffen. Het vaatvlies gaat over in het regenboogvlies (iris) bij het hoornvlies, waar de pupil zich bevindt.

Netvlies: Het netvlies bevindt zich aan de binnenkant van het vaatvlies en bestaat uit een pigmentlaag en een zintuiglaag. De zintuiglaag bevat lichtsensoren, zoals staafjes en kegeltjes, die verantwoordelijk zijn voor het waarnemen van licht.

De oogbolruimte achter de lens is opgevuld door een heldere, geleachtige substantie, ook wel het **glasachtig lichaam**. Het zorgt voor druk tegen de 3 bovengenoemde lagen. De **lens** is midden achter het pupil opgehangen aan een groot aantal fijne vezels, ook wel de **lens bandjes**, en zitten vast aan het **straalvorming lichaam**. De lens is aan beide kanten bol, met een iets sterkere bolling aan de achterkant. Door de structuur van de lens neemt deze uit zichzelf een maximale bolling aan.



Figuur 7

De bouw van het oog (verticale doorsnede)

1 = aanhechtingsplaats van een oogspier; 2 = bindvlies; 3 = limbus (overgang tussen harde oogrok en hoornvlies); 4 = pupil; 5 = hoornvlies; 6 = iris; 7 = lensbandjes; 8 = straalvormig lichaam; 9 = accommodatiespier; 10 = ooglenzen; 11 = glasachtig lichaam; 12 = harde oogrok; 13 = vaatvlies; 14 = netvlies; 15 = blinde vlek (uittredeplaats van de oogzenuw); 16 = oogzenuw.

Het netvlies is de binnenste laag van de oogbol en bestaat uit een pigmentlaag en een zintuiglaag. De pigmentlaag, die de hele binnenkant van het vaatvlies bedekt, bevat zwarte pigmentkorrels die licht absorberen. Het pigment voorkomt overmatige blootstelling van de lichtreceptoren aan licht.

De lichtreceptoren in het netvlies zetten lichtenergie om in elektrische impulsen. Deze impulsen worden doorgegeven aan zenuwcellen en vervolgens aan zenuwvezels. De zenuwvezels komen samen op één punt waar ze de oogzenuw vormen. De oogzenuw verlaat de oogbol door een opening en stuurt de verzamelde visuele informatie naar de hersenen. Dit punt waar de zenuwvezels samenkomen en waar geen lichtreceptoren aanwezig zijn, wordt de **blinde vlek** genoemd.

De blinde vlek bevindt zich aan de kant van de neus in elk oog. Omdat de blinde vlekken in beide ogen niet op spiegelbeeldige posities liggen, ontstaat er geen zwart gat in het gezichtsveld wanneer je met beide ogen kijkt. Wanneer je met één oog kijkt, merk je de blinde vlek niet op omdat je hersenen dit compenseren door het ontbrekende beeld aan te vullen. De **gele vlek**, plek waar alleen kegeltjes liggen, ligt precies in het verlengde van de optische as. Hier is de zintuiglaag heel dun en liggen de lichtreceptoren oppervlakkig. De **kegeltjes** zijn gevoelig voor gekleurd licht.

De iris en pupil beschermen het oog tegen overvloedig licht, doormiddel van groter of kleiner worden komt er meer of minder licht binnen, groot bij donker || klein bij licht, alleen als de lichtstralen direct op het netvlies terecht komen zie je scherp. De ooglenzen kan hierop aangepast worden zodat het licht beter in het netvlies valt, zoals een bolle lens die meer licht afkijft dan een platte. Dit proces van scherp stellen noemen we ook wel **accommoderen**, wat ook een reflex is, het **accommodatiereflex**. Twee factoren zijn hierbij van invloed, de lens zelf, elastisch en wil altijd naar de bolle vorm en ten tweede de kringpier in het straalvormig lichaam, die helpt bij het afplaten van de lens, ook de accommodatiespier. Het hoornvlies, de lens en het glasachtig lichaam in het oog vormen samen een sterk vergrootglas dat de lichtstralen afbuigt. Hierdoor ontstaat een omgekeerd en verkleind beeld op het netvlies.

Staaftjes zijn gevoelig voor licht en nemen lichtcontrasten waar, maar geen kleurverschillen. Ze zijn vooral actief in de schemering en hebben een lage prikkeldrempel. Er zijn veel staaftjes in het netvlies, behalve in het centrum (gele vlek).

Kegeltjes zitten in het centrum van het netvlies, in de gele vlek, en zijn gevoelig voor gekleurd licht. Er zijn drie typen kegeltjes met verschillende kleurgevoeligheden: blauw/violet, groen en geel/rood. Kegeltjes hebben een hogere prikkeldrempel en werken alleen goed bij voldoende licht. Het samenspel van deze kegeltjes zorgt ervoor dat we kleuren kunnen waarnemen, inclusief wit licht wanneer alle typen kegeltjes worden geprikkeld. Er zijn 5 miljoen kegeltjes.

De impulsen die in het netvlies worden opgewekt, worden via de oogzenuw naar de hersenen vervoerd. Bij het optisch chiasma kruisen delen van beide oogzenuwen elkaar, waardoor beelden die zich aan de linkerkant van het gezichtsveld bevinden in de rechter hersenhelft worden verwerkt, en vice versa. Dit zorgt ervoor dat we met beide ogen één beeld vormen en dat zelfs met één oog het gezichtsveld bijna net zo groot kan zijn als met twee ogen.

Na een tijdje in het donker te zijn geweest, pas je je aan de duisternis aan door donkerte-adaptatie. Dit proces omvat twee aspecten. Ten eerste kan rodopsine, het pigment in de staaftjes, snel worden aangemaakt in reactie op het donkere milieu, waardoor de lichtgevoeligheid toeneemt. Ten tweede trekken de pigmentkorrels in de pigmentlaag zich terug, waardoor een maximaal aantal staaftjes geprikkeld kan worden en je beter kunt zien in het donker.

Als je plotseling in een fel verlichte ruimte komt en aanvankelijk 'verblind' bent, past je ogen zich aan het overmatige licht aan via lichtadaptatie. Dit proces wordt gemedieerd door de kegeltjes. Wanneer je uit het donker in het felle licht stapt, worden te veel kegeltjes tegelijkertijd geprikkeld, wat resulteert in een tijdelijk verlies van zicht. Naarmate een groot aantal fotopigmenten wordt verbruikt en de pigmentkorrels in de pigmentlaag een maximale absorptie vormen, begint je zicht te herstellen en kun je beter zien in het felle licht.