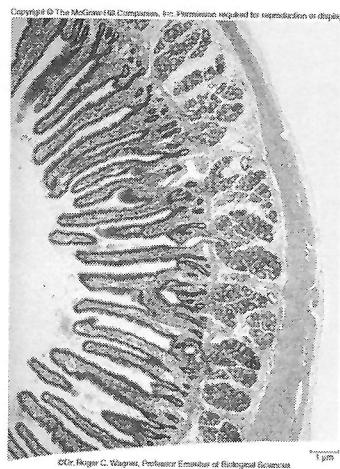


## Hoofdstuk 10: OPBOUW EN REGULATIE VAN HET Lichaam

(hoofdstuk 41 in handboek)



### Organisatie van het vertebratenlichaam

Er zijn 4 niveaus van organisatie:

1. Cellen
2. Weefsels
3. Organen
4. Orgaansystemen

Het lichaam van vertebraten is opgebouwd uit verschillende celtypes (mens: 210)

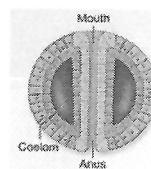
Weefsels: groepen van cellen die gelijkend zijn in structuur en functie

De 3 fundamentele embryonale weefsels of kiemlagen zijn:

endoderm, mesoderm en ectoderm

In adulte vertebraten zijn er 4 primaire weefseltypen:

1. epithelweefsel, 2. steunweefsel, 3. spierweefsel en
4. zenuwweefsel

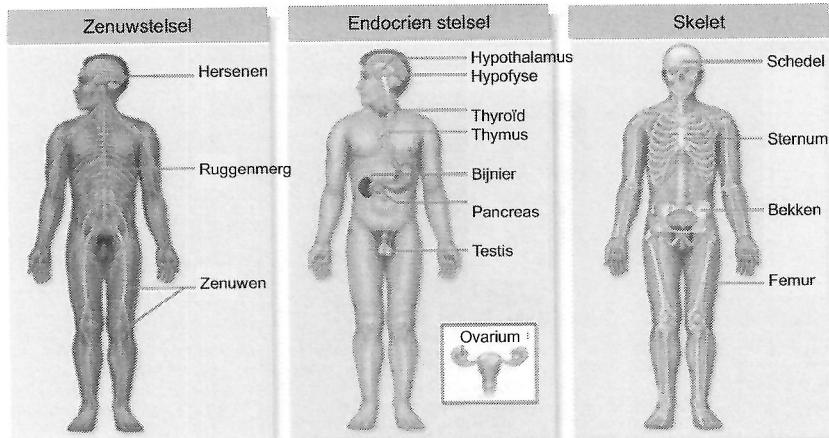


Organen: combinaties van verschillende weefsels die een structurele en functionele eenheid vormen

Orgaansystemen: groepen van organen die samenwerken om de belangrijkste functies in het lichaam uit te voeren

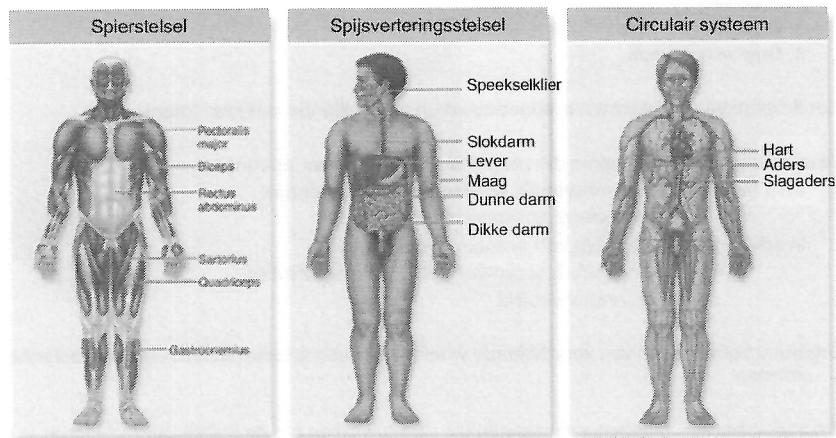
Het lichaam van vertebraten bevat 11 orgaansystemen

## Orgaansystemen



3

## Orgaansystemen



4

## Orgaansystemen

The figure consists of three separate panels, each featuring a human figure with specific organs labeled:

- Ademhalingsstelsel (Respiratory System):** Labels point to the Trachea (windpipe) and Longen (lungs).
- Excretiestelsel (Excretory System):** Labels point to the Nieren (kidneys), Urineleider (ureters), Blaas (bladder), and Urinebus (urethra).
- Integument (Skin):** Labels point to Haar (hair), Huid (skin), and Vingernagels (nails).

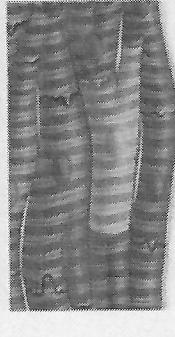
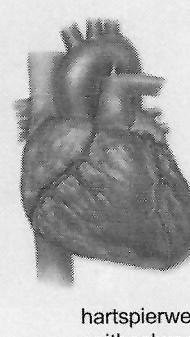
5

## Orgaansystemen

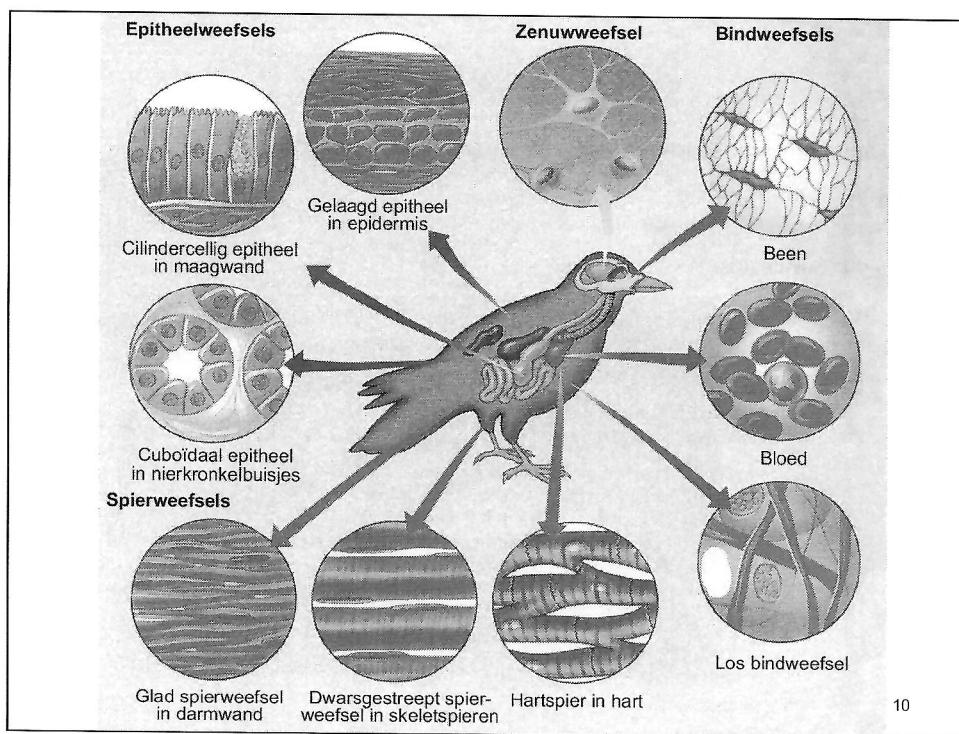
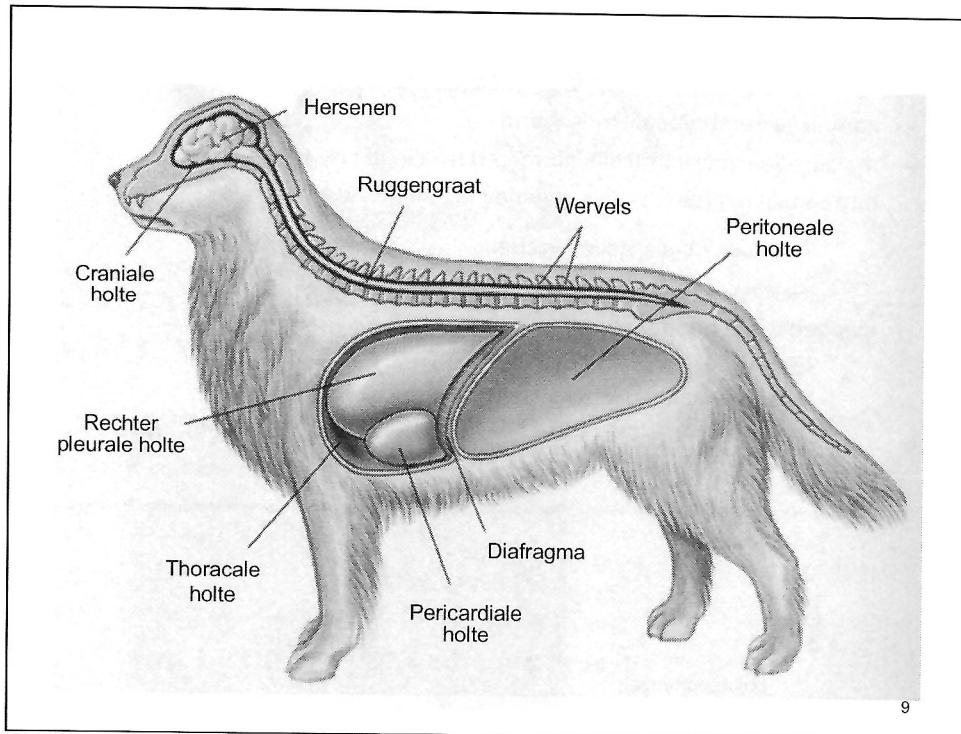
The figure consists of three separate panels, each featuring a human figure with specific organs labeled:

- Lymfe/immuun systeem (Lymphatic/Immune System):** Labels point to Lymfeknopen (lymph nodes), Thymus, Milt (spleen), Beenmerg (marrow), and Lymfevaten (lymph vessels).
- Reproductiestelsel (man) (Male Reproductive System):** Labels point to Zaadleider (vas deferens), Penis, and Testis.
- Reproductiestelsel (vrouw) (Female Reproductive System):** Labels point to Eileider (ovary), Ovarium, Baarmoeder (uterus), and Vagina.

6

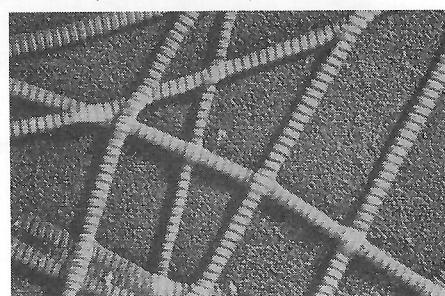
Organisatie van het vertebratenlichaam			
Cel	Weefsel	Orgaan	Orgaansysteem
Hartspiercel	Hartspier	Hart	Bloedsomloop Circular systeem
			 hartspierweefsel epitheelweefsel

Organisatie van het vertebratenlichaam	
Het lichaamsplan van alle vertebraten is eigenlijk een buis in een buis: -	binnenste buis = spijsverteringskanaal
-buitenste buis = vertebratenlichaam, ondersteunt door een skelet	
-buitenste laag = integument of huid en accessoire organen/delen (haar, schubben, zweetklieren)	
<b>Binnen in het lichaam zijn er 2 holtes:</b>	
- Dorsale lichaamsholte: binnen schedel en wervels = craniale en vertebrale holte	
- Ventrale lichaamsholte: gelegen tussen wervelkolom en ventrale buikspieren	
- ingedeeld door het middenrif of diafragma :	
- thoracale holte: hart en longen	
- Pericardiale holte = coeloom	
- Pleurale holte = coeloom	
- abdominale holte: meeste organen	
- Peritoneale holte = coeloom	
(Coeloom=met vloeistof gevulde holte volledig omgeven met mesodermaal weefsel)	
	8



## Steunweefsels

- komen van embryonaal mesoderm
- maken allen veel extracellulair materiaal aan, de matrix
- bestaan uit **proteïne vezels**, ingebed in een grondsubstantie
  - collageen – ondersteunt weefsel
  - elastine – maakt weefsel elastisch
- ingedeeld in 2 hoofdklassen
  - gewoon bindweefsel (los of dens)
  - speciaal bindweefsel (kraakbeen, been en bloed)



collageenvezels

11

## Gewoon bindweefsel

Fibroblasten produceren en secreteren extracellulaire matrix

### Losmazig bindweefsel

- veel grondsubstantie
- minder vezels



12

## Gewoon bindweefsel

Vetcellen komen ook voor in losmazig bindweefsel

- ontwikkelen in grote groepen in bepaalde areas en vormen **vetweefsel**
- delen niet !

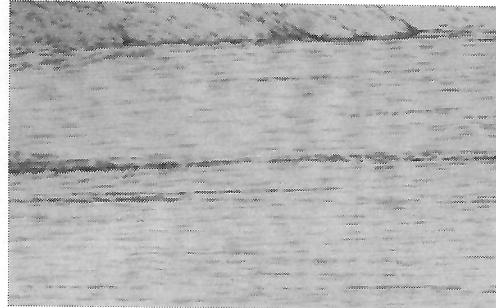


13

## Gewoon bindweefsel

### Compact bindweefsel

- minder grondsubstantie
- meer vezels



### Compact *regelmatig* bindweefsel

- collageen vezels lopen parallel
- vormt pezen en ligamenten

### Compact *onregelmatig* bindweefsel

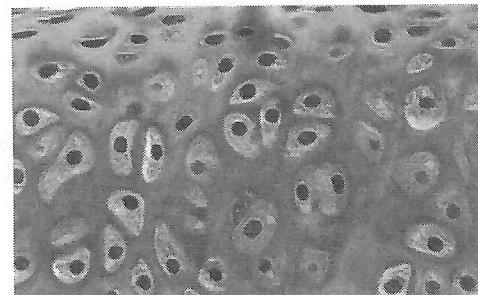
- collageen vezels lopen in verschillende richtingen
- bedekt nieren, spieren, zenuwen en been

14

## Speciaal bindweefsel

### Kraakbeen

- grondsubstantie gemaakt van een karakteristiek glycoproteïne, chondroïtine
- collageenvezels lopen in lange parallelle banen
- flexibel met grote trekkracht, niet rekbaar
- komt voor in gewrichten, ter hoogte van neus, oren, etc...
- chondrocyten (kraakbeencellen) leven in een lacunae (ruimte) in de grondsubstantie
- geen bloedvaten



15

## Speciaal bindweefsel

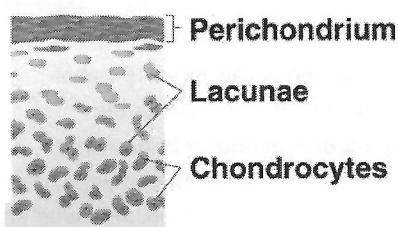
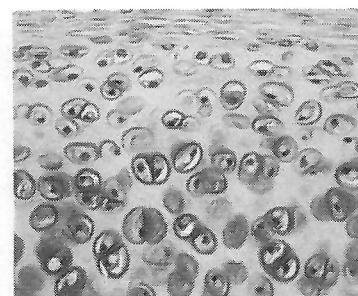
Larynx

Trachea

(a)

(b)

(c)



16

## Speciaal bindweefsel

### Been

- **osteocyten** (beencellen) blijven leven in een verharde matrix van calciumfosfaat
- communiceren via **canalliculi**, cytoplasmatische uitlopers



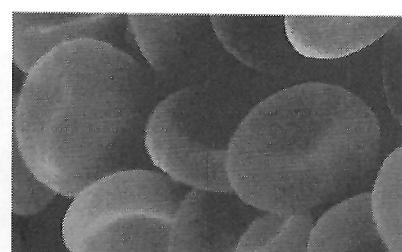
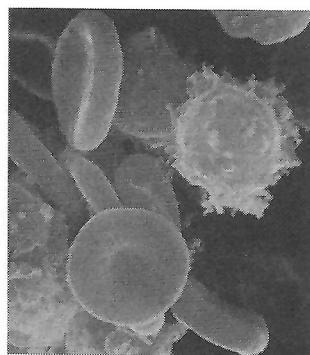
systeem van Haver

17

## Speciaal bindweefsel

### Bloed

- extracellulair materiaal is vloeibaar = plasma
- **erythrocyten** = rode bloedcellen
- **leukocyten** = witte bloedcellen
- **thrombocyten** = bloedplaatjes

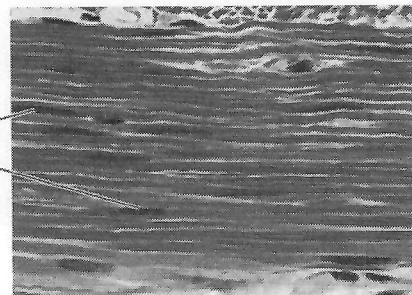


18

## Spierweefsel

**Spieren vormen de motor van het lichaam**

- 3 soorten: glad, skelet- en hartspierweefsel
  - skelet- en hartspieren zijn gestreepte spieren
  - skeletspier staan onder controle van de wil, de andere niet
  - bevatten actine en myosine filamenten die zorgen voor contractie
- Glad spierweefsel**
- komt voor in de bloedvatwand en rond meeste viscerale (inwendige) organen
  - cellen hebben 1 kern

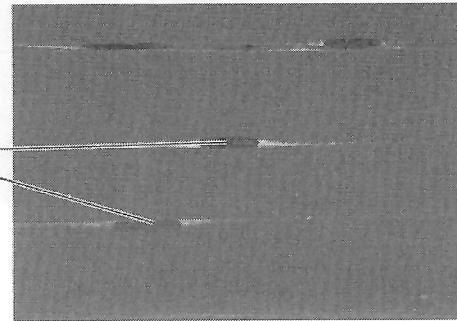


19

## Spierweefsel

**Skeletspieren zijn meestal vastgehecht aan been of pezen, spiercontractie veroorzaakt beweging**

- spiercellen = spiervezels, zijn lang en meerkerig (fusie van vele cellen)
- contractie gebeurt door myofibrillen, die bestaan uit mooi geordende actine & myosine filamenten

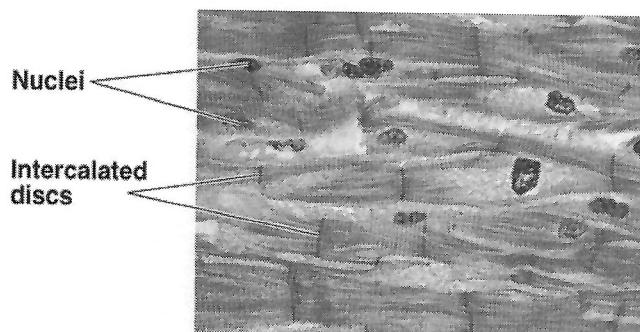


20

## Spierweefsel

Hartspierweefsel bestaat uit kleinere geïnterconnecteerde cellen, elk met eigen kern

- interconnecties verschijnen als donkere lijnen, **geïntercalateerde schijven**, die de hartspieren toelaten als één eenheid te functioneren



21

## Zenuwweefsel

Cellen: neuronen en neuroglia

De meeste neuronen bestaan uit 3 delen:

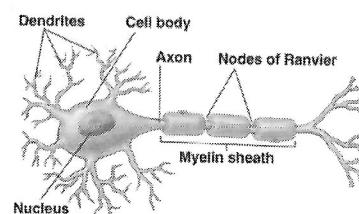
- cellichaam : bevat de nucleus
- dendrieten: sterk vertakte extensies die elektrische signalen naar het cellichaam brengen
- axon: enkele cytoplasmatische extensie die impulsen wegvoert van het cellichaam

Neuroglia geleiden geen elektrische impulsen:

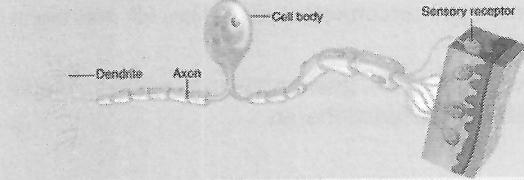
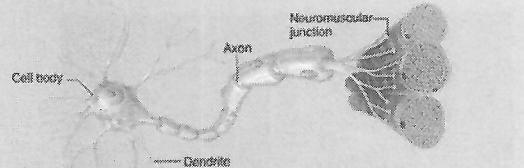
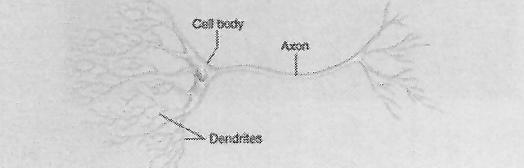
- ondersteunen en voeden neuronen
- elimineren vreemde materialen in en rond neuronen
- associëren met het axon en vormen een omhulsel, de myeline schede
- gaps in schede = knopen van Ranvier

Het zenuwstelsel is onderverdeeld in:

- Centraal zenuwstelsel (CZS)
  - hersenen en ruggenmerg
  - integratie en interpretatie van input
- Perifeer zenuwstelsel (PZS)
  - zenuwen en ganglia (collecties van cellichamen)
  - communicatie van lichaam naar CZS en terug



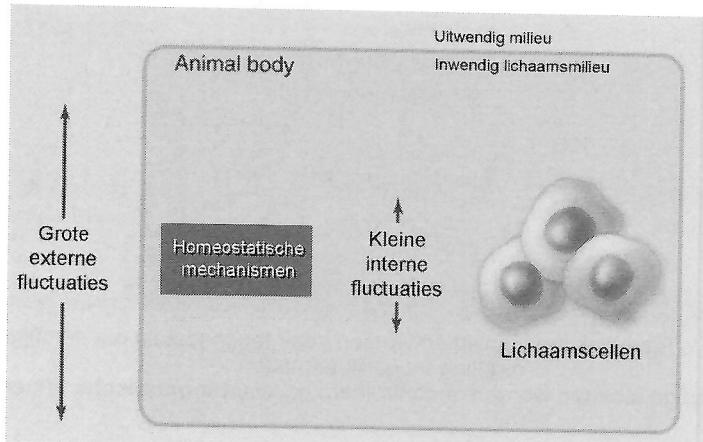
22

TABLE 43.4 Nerve Tissue	
 <p><b>Sensory Neurons</b>  <i>Typical Location:</i> Eyes; ears; surface of skin  <i>Function:</i> Receive information about the body's condition and external environment; send impulses from sensory receptors to central nervous system  <i>Characteristic Cell Type:</i> Rods and cones; muscle stretch receptors</p>	
 <p><b>Motor Neurons</b>  <i>Typical Location:</i> Brain and spinal cord  <i>Function:</i> Stimulate muscles and glands; conduct impulses out of central nervous system toward muscles and glands  <i>Characteristic Cell Type:</i> Motor neurons</p>	
 <p><b>Interneurons</b>  <i>Typical Location:</i> Brain and spinal cord  <i>Function:</i> Integrate information; conduct impulses between neurons within central nervous system  <i>Characteristic Cell Type:</i> Interneurons</p>	23

Orgaansystemen	
<b>Communicatie en integratie</b>	
- Drie orgaansystemen detecteren uitwendige stimuli en coördineren de respons van het lichaam, het zenuw-, sensorisch en endocriën stelsel	
<b>Steun en beweging</b>	
- Het musculoskeletale systeem bestaat uit 2 onderling gerelateerde orgaansystemen	
<b>Regulatie en behoud</b>	
- Vier orgaansystemen reguleren de 'scheikunde' in het lichaam: spijsverterings-, ademhalings-, circulatie en excretiestelsel	
<b>Bescherming</b>	
- Het lichaam beschert zichzelf met 2 systemen: integument en immuun systeem	
<b>Reproductie en ontwikkeling</b>	
- De biologische continuïteit van vertebraten staat onder hoede van het voortplantingstelsel	

## Homeostase

Om cellen efficiënt te laten functioneren en weefsels optimaal te laten interageren moeten de inwendige lichaamscondities relatief constant blijven. Dit dynamisch behoud van de inwendige omgeving noemt men **homeostase** en is essentieel voor leven.



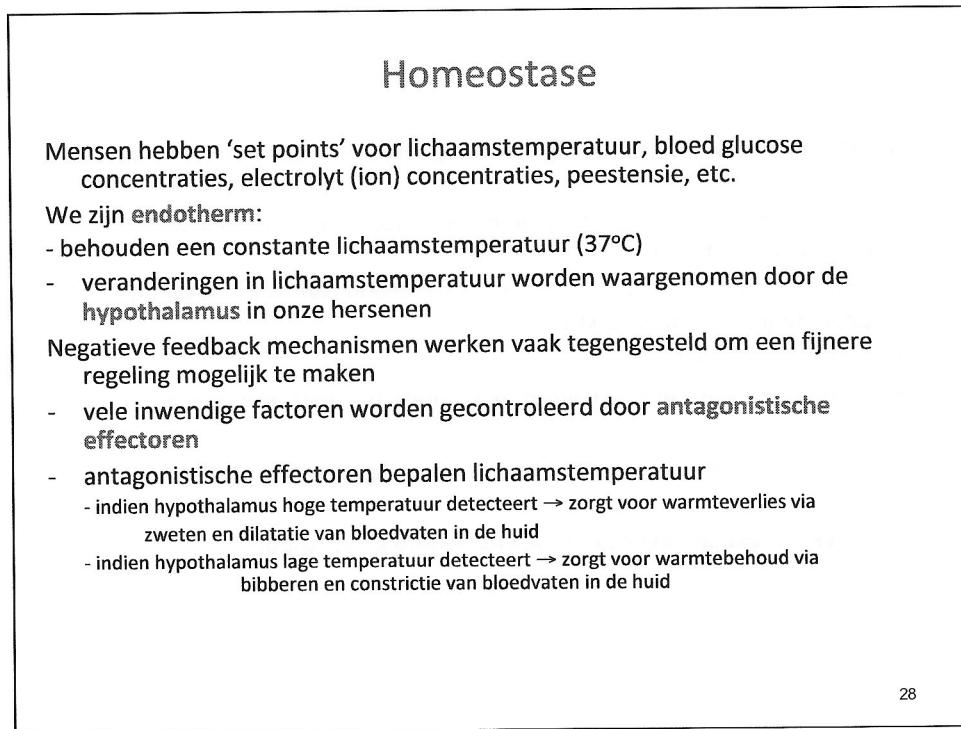
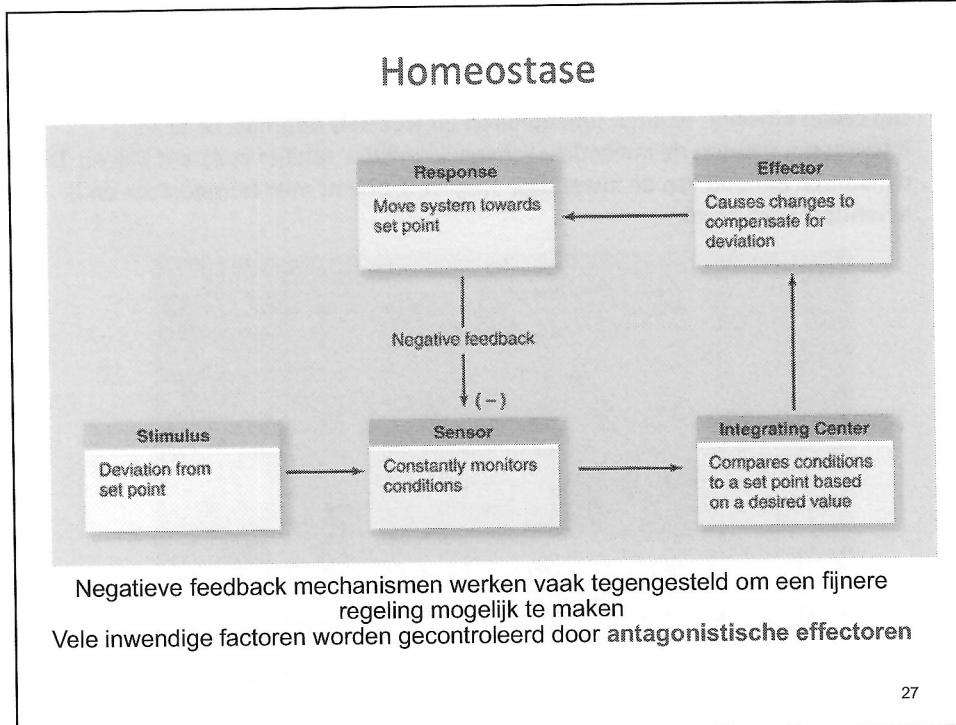
25

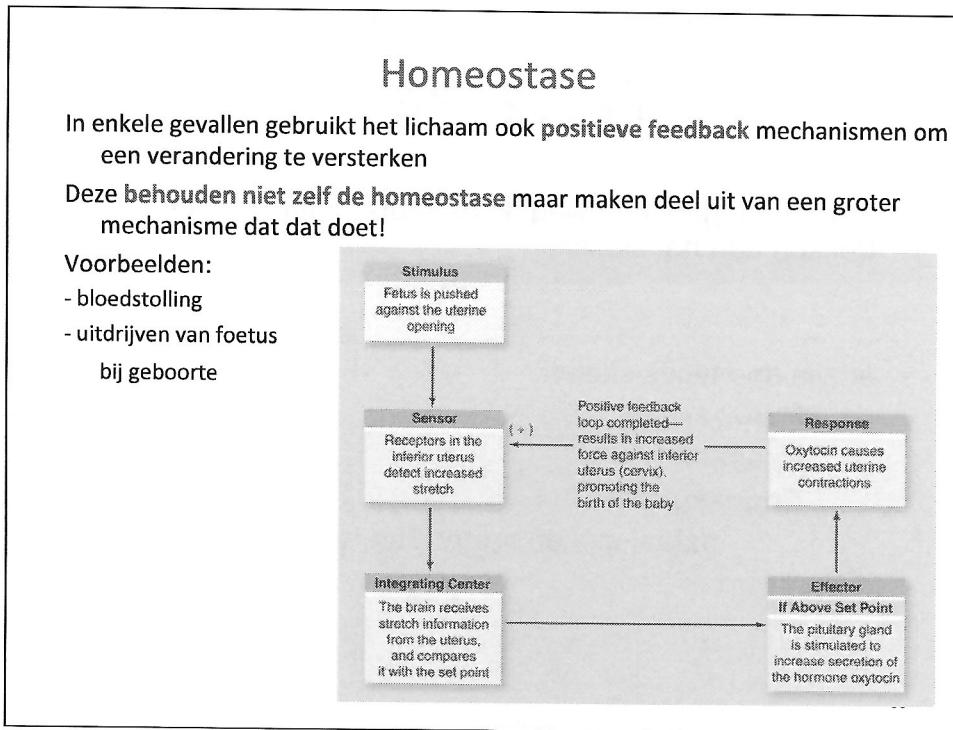
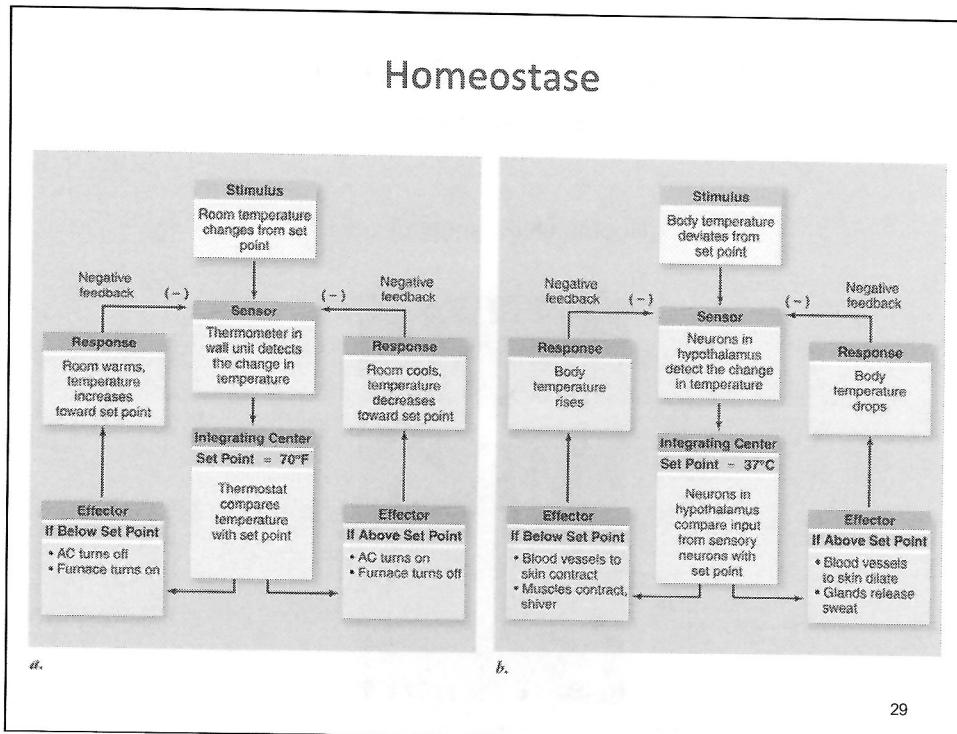
## Homeostase

Om het inwendig milieu constant te houden gebruikt het vertebratenlichaam negatieve feedback mechanismen

- veranderende condities worden gedetecteerd door sensoren (cellen of membraanreceptoren)
- informatie wordt doorgegeven aan een integrerend centrum (hersenen, ruggenmerg of endocriene klier)
- vergelijkt met een 'set point'
- indien afwijking van 'set point' wordt een boodschap gestuurd naar een effector (spier of klier)
- verhogen of verlagen van activiteit brengt inwendige condities terug naar 'set point'
- negatieve terugkoppeling naar de sensor beëindigt de respons

26





# Hoofdstuk 12 Musculo-skeletaal systeem

(Hoofdstuk 45 in handboek)



## Types skelet

- Veranderingen in beweging gebeuren omdat spieren trekken aan het skelet
- er zijn drie types skelet
  - Hydroskelet
  - Exoskelet
  - Endoskelet
    - axiaal skelet, appendiculair skelet**

## Hydroskelet

- Hoofdzakelijk in invertebraten met zachte lichamen, zowel terrestrisch als aquatisch
- Resultaat van de interne druk van de lichaamsvloeistoffen

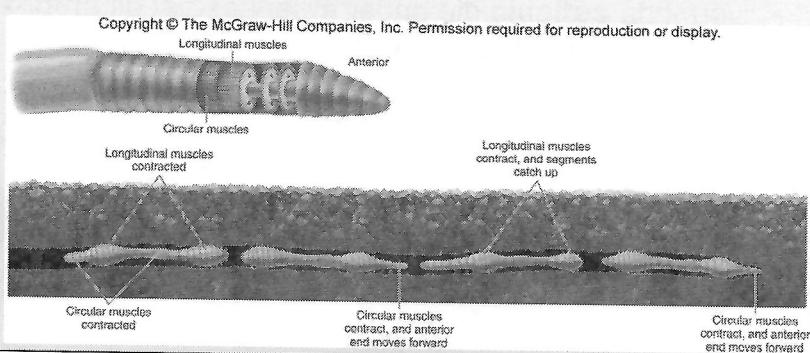


*Aequorea victoria*

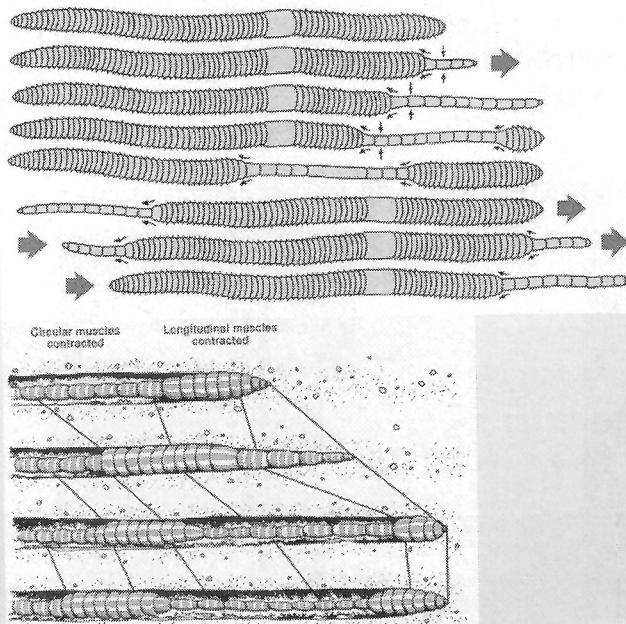
## Hydroskelet

### Musculoskeletale beweging in wormen

- betreft circulaire en longitudinale spieren rond een centrale, met vloeistof gevulde, holte
- een golf van circulaire, gevolgd door longitudinale spiercontracties bewegen de vloeistof in het lichaam (**peristaltische beweging**)
- resulteert in een voorwaartse beweging



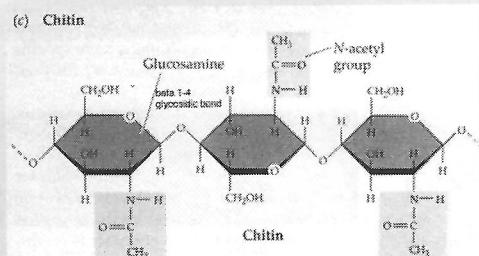
# Hydroskelet



5

# Exoskelet

- vormt een stevige structuur die het lichaam omsluit
  - biedt **bescherming** voor de interne organen en een **aanhechtingsplaats** voor de spieren
  - vormt de **cuticula** die onder meer bestaat uit **chitine** bij Arthropoda (geleedpotigen)



# Exoskelet

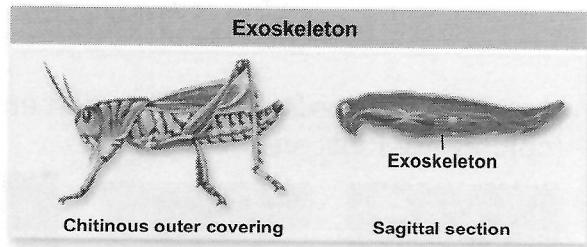
- Vervelling ('ecdysis')
- limiteert lichaamsgrootte



7

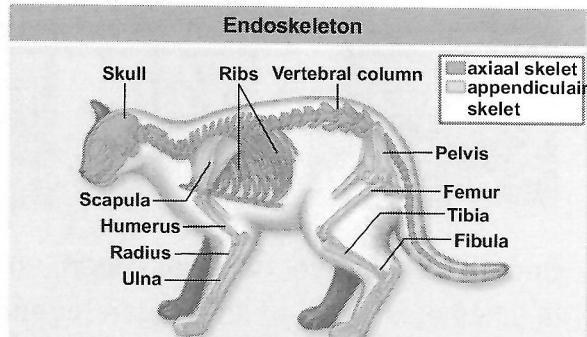
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

**a. Exoskeleton**



Chitinous outer covering      Sagittal section  
Exoskeleton

**b. Endoskeleton**

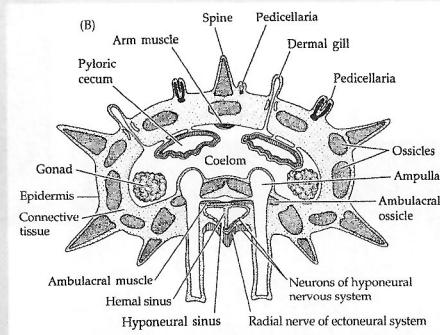
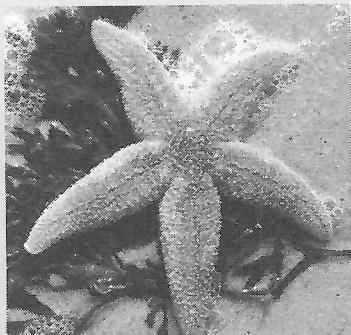


Skull      Ribs      Vertebral column  
Scapula      Humerus      Radius      Ulna  
Pelvis      Femur      Tibia      Fibula  
axiaal skelet  
appendiculair skelet

- Stevig intern skelet dat het lichaamsgeraamte vormt
- Biedt oppervlak voor spieraanhechting

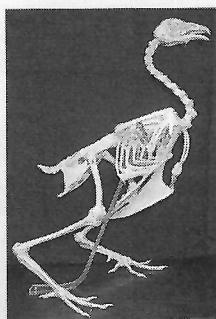
## Endoskelet

- Echinodermata (stekelhuidigen) hebben een calciet skelet: ossicula + stekels uit calciumcarbonaat



## Endoskelet

- Vertebraten (chordaten) hebben een endoskelet uit been (**calciumfosfaat**) en/of kraakbeen



- Been is veel sterker dan kraakbeen, en minder flexibel
- Itt. chitine, is been en kraakbeen **levend** weefsel

10

# Endoskelet

Vertebrate endoskelet

-Axiaal skelet:

vormt de lichaamsas

verstevigd het lichaam en beschermt de inwendige organen

-Appendiculair skelet:

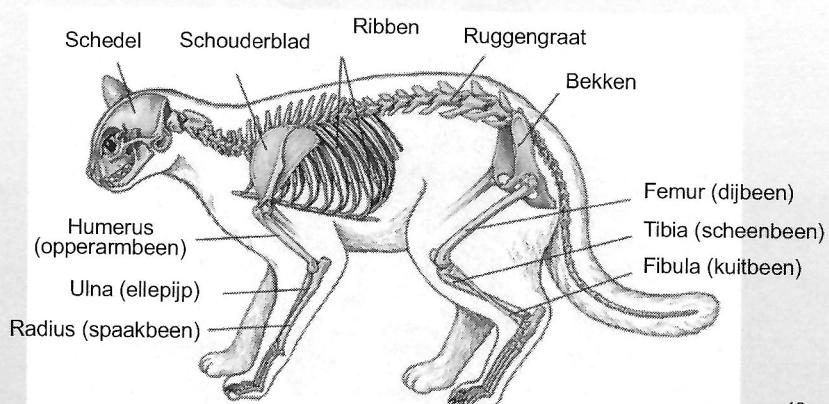
set van ledematen (armen, vleugels, poten) en hun geassocieerde **pectorale** (schouder) **gordel** (voorpoten) of **pelvische** (bekken) **gordel** (achterpoten)

11

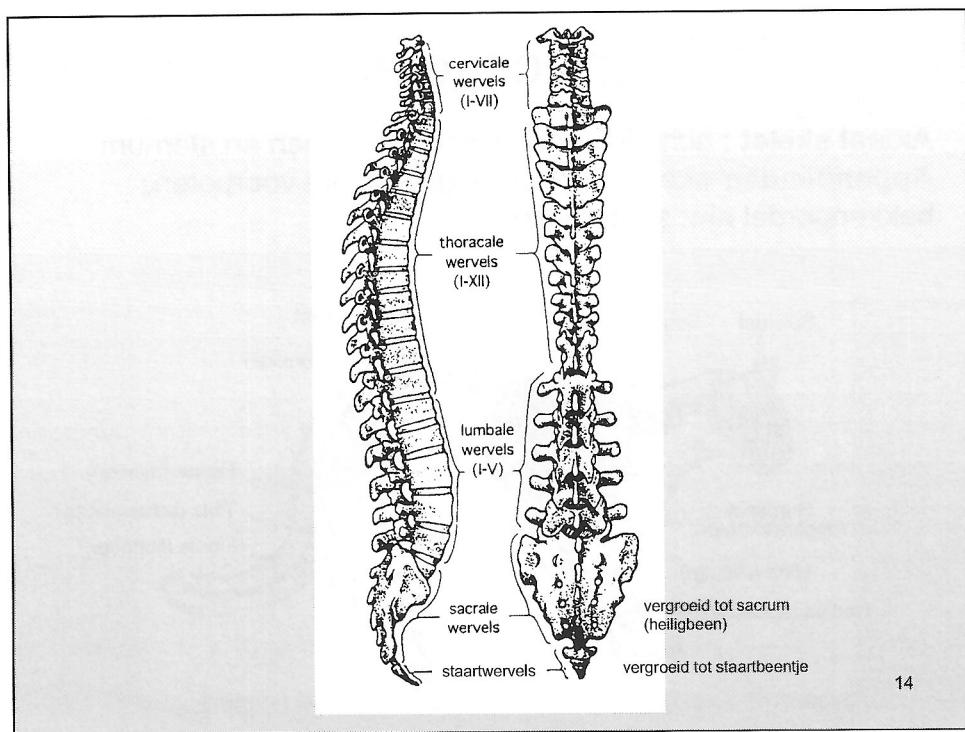
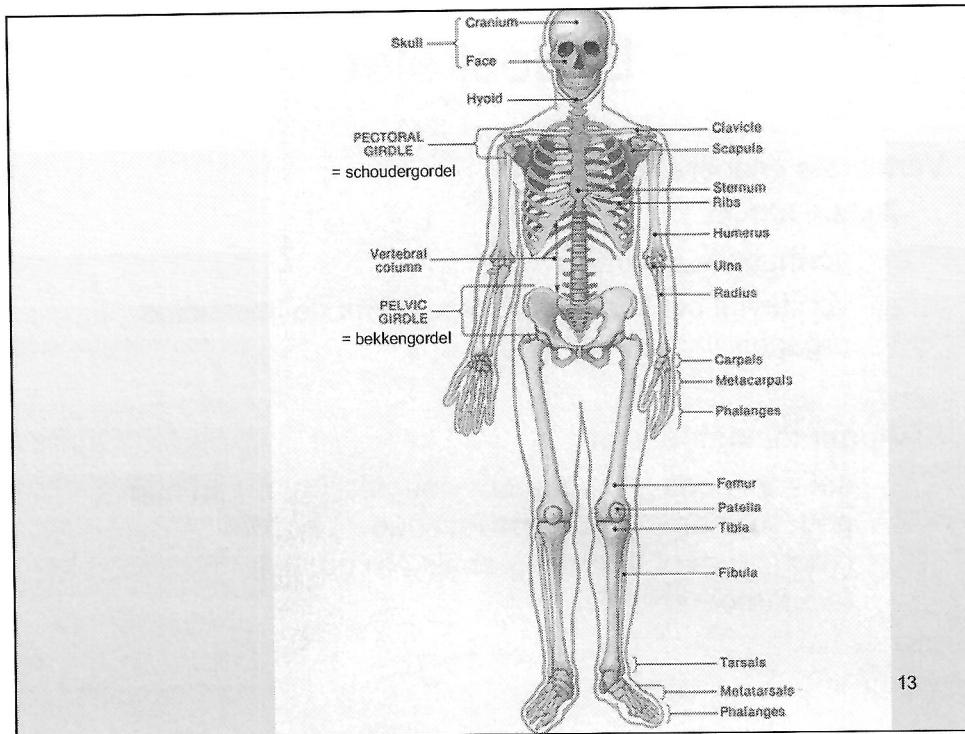
# Endoskelet

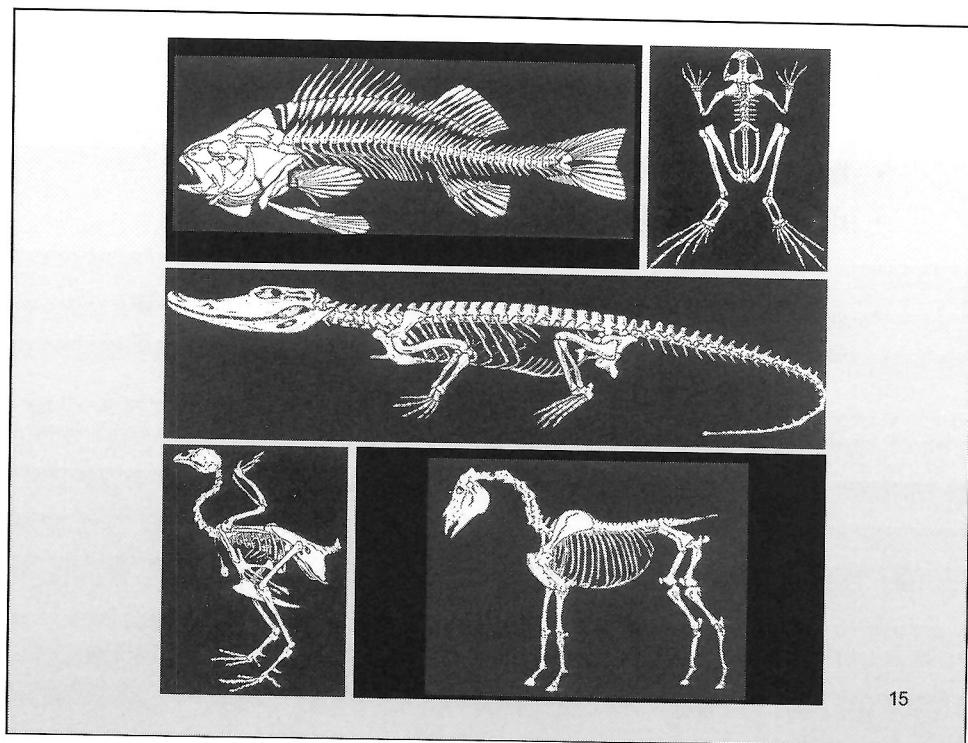
Axiaal skelet : schedel, ruggenwervels, ribben en sternum

Appendiculair skelet : Schoudergordel met voorpoten, bekkengordel met achterpoten

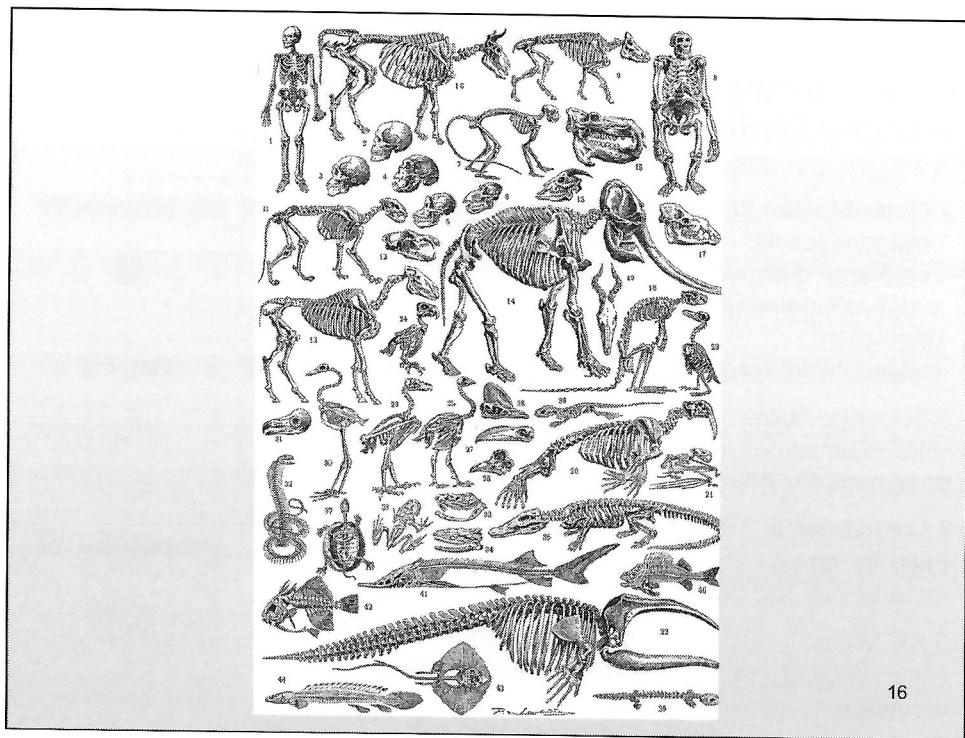


12





15

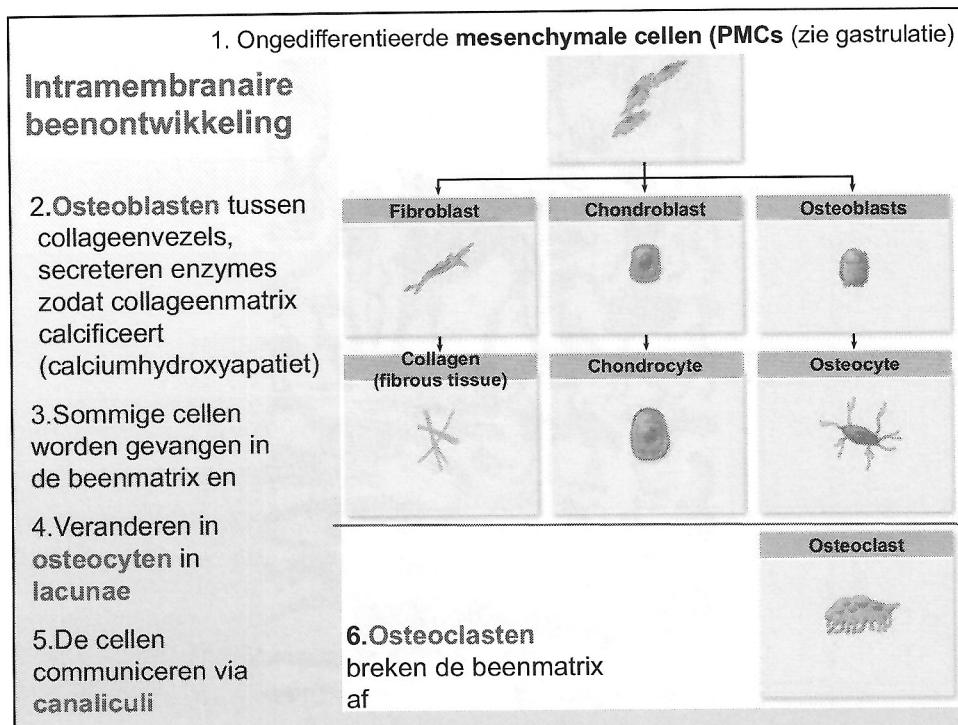


16

# Been

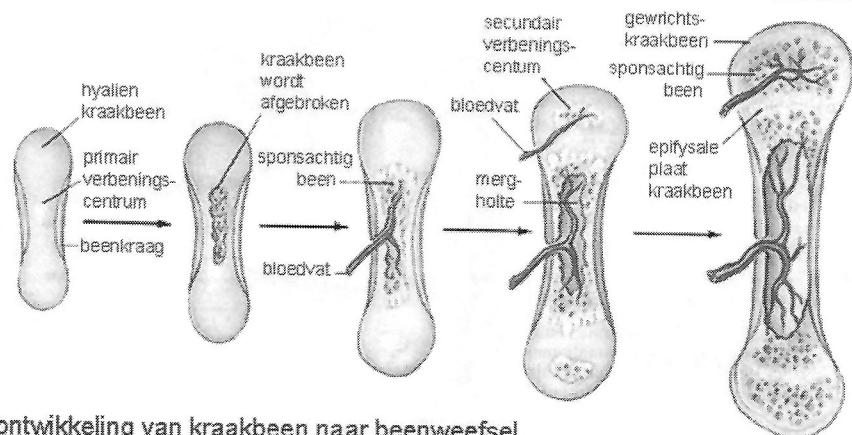
- hard, maar veerkrachtig bindweefsel
- uniek voor vertebraten
- geklasseerd in twee fundamentele manieren van ontwikkeling :
  - Intramembranaire ontwikkeling** (eenvoudig)
    - Bv.: Externe beenderen schedel
  - Endochondrale ontwikkeling** (complex)
    - Bv.: Beenderen die diep in het lichaam liggen (wervels, ribben, beenderen schouders en bekken,...)

17



### Endochondrale beenontwikkeling

- begint als klein kraakbeenmodel
- toevoegen been aan het kraakbeen (beenkraag – later periosteum)
- calcificering in beenkraag, analoog aan intramembranaire ontwikkeling
- vervangen van het inwendig kraakbeen door been (verbeningscentrum)
- bloedvaten komen via het periosteum in het verbeningscentrum dat ook calcificeert



### Endochondrale beenontwikkeling

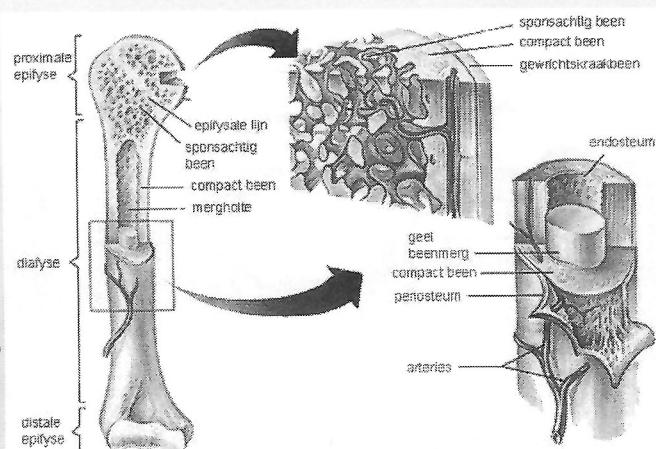
- Kraakbeen na de ontwikkeling van **epifyses** : opvulling tussen beenoppervlakken, gewrichtskraakbeen – epifysale plaat
- Beenderen groeien in de lengte (vanuit **epifysale plaat**)
- Beenderen groeien in de breedte (toevoegen been juist onder het periosteum – osteoclasten uitholling in mergholte)



## Beenstructuur

- Compact been : buitenste dichte laag
- Mergbeen : omgeeft de interne mergholte, bevat beenmeng
- Sponsachtig been : honingraat structuur, vormt de epifyses binnen een dik omhulsel van compact been

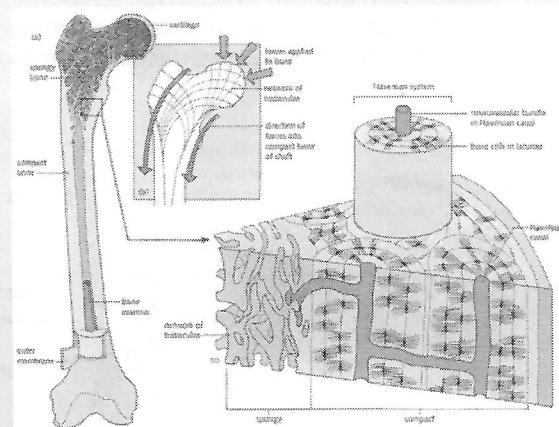
**Endosteum :**  
dun weefsel dat  
mergholte omgeeft  
zonder collagene vezels,  
met mesenchymcellen



## Beenstructuur

In de meeste **zoogdieren** : **vasculaire (endochondrale) beenderen** met  
osteocyten (**cellulaire beenderen**) en **kanalen van Havers**

*filmpje breedtegroei*



In vogels en vissen : **avasculaire beenderen** zonder osteocyten  
(**acellularaire beenderen**)

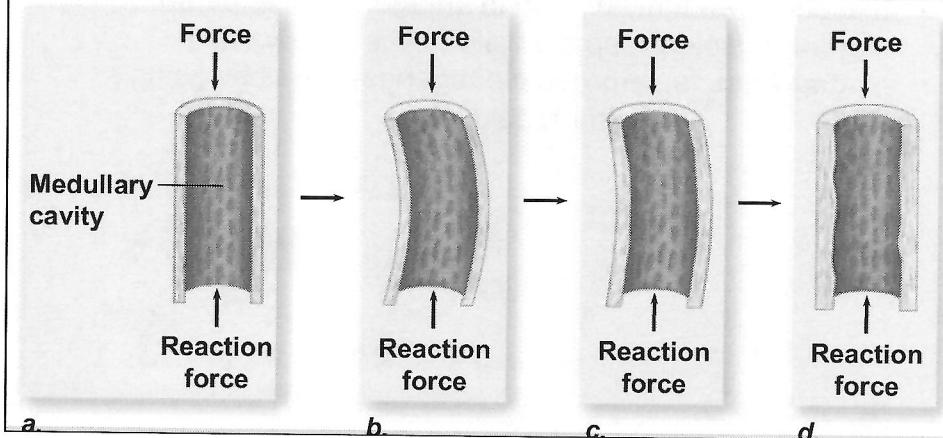
22

## Been ‘hermodelering’

- In alle beenderen
- kleine krachten geen groot effect
- grote, frequente krachten :
  - initiëren hermodelering door osteoblasten
  - hydroxyapatiet matrix deformeren

Filmpje osteoporosis

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



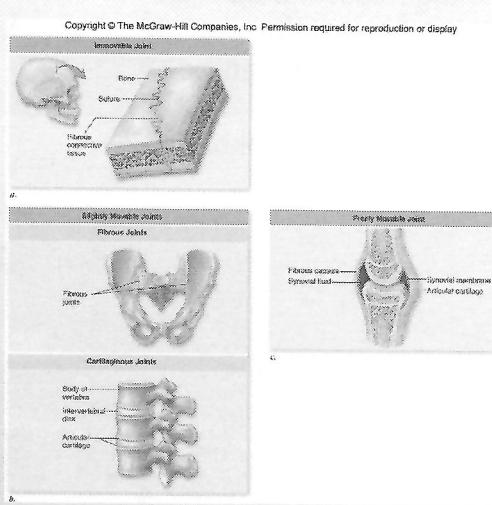
## Gewrichten

‘articulaties’, plaatsen waar beenderen aan elkaar hechten

Onbeweegbare gewrichten  
naden die beenderen schedel verbindt  
(continue gewrichten)

Licht beweegbare gewrichten  
-mbv. bind-, kraakbeenweefsel  
-kraakbeenverbindingen tussen wervels  
-verbinding sacrale wervels en bekkgordel in vertebraten

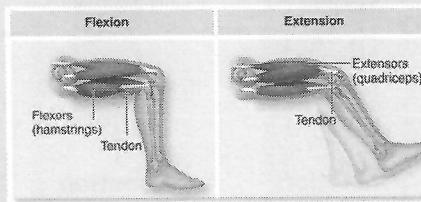
Volledig beweegbare gewrichten  
mbv. vloeistof  
vingergewrichten



24

## Beweging skeletspieren

- Skeletspieren zijn aangehecht aan het periosteum van de beenderen :  
direct of via **pezen** ( ‘tendons’ )
- Skeletspieren functioneren in antagonistische paren:  
-**Agonist** : spiergroep die zelfde actie veroorzaakt  
-**Antagonist** : spiergroep die tegengestelde beweging veroorzaakt

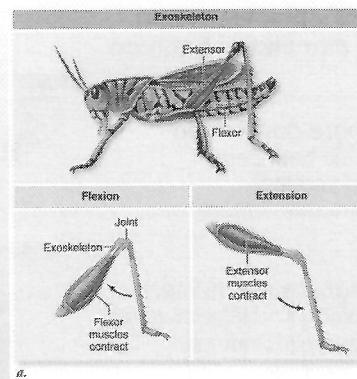


b.

25

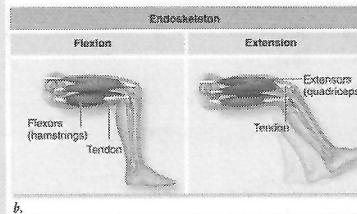
## Beweging skeletspieren

Antagonistische spieren controleren de beweging van dieren met een exoskelet  
bv. springen sprinkhaan



c.

endoskelet

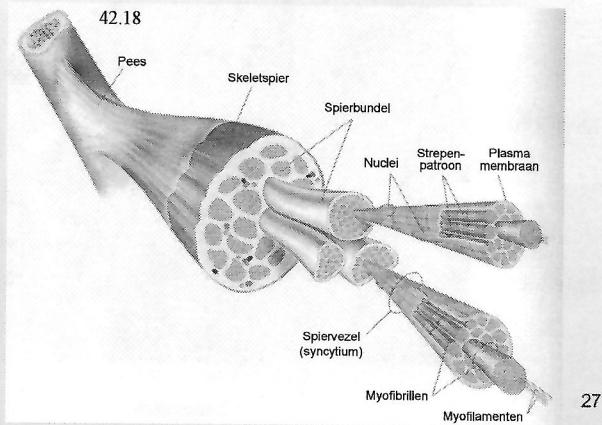


d.

26

## Structuur skeletspier

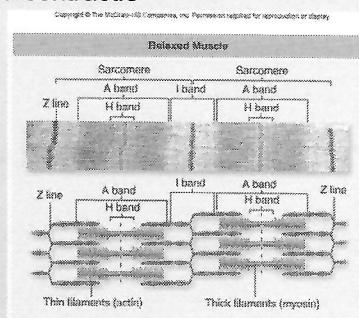
- elke skeletspier bestaat uit verschillende bundels van **spiervezels** (ook bloedvaten en zenuwen)
- spiervezels bestaan uit een bundel van 4 tot 20 **myofibrillen**
- elke myofibril bestaat uit een aantal **myofilamenten (actine-myosine)**
- myofibrillen zo georganiseerd dat dwarsstrekking zichtbaar is onder microscoop



## Structuur skeletspier

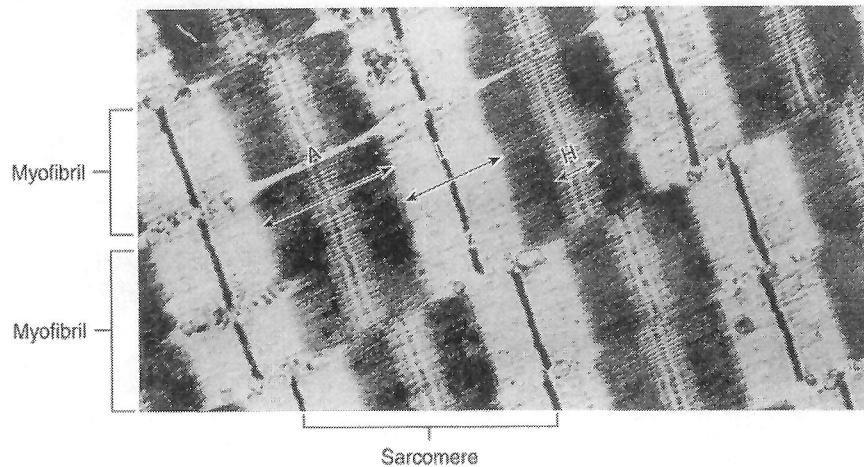
- A band** - opeengestapelde **dunne** en **dikke** myofilamenten  
- donkere banden
- H band** - centrum van de A-band  
- enkel bestaande uit **dikke** myofilamenten
- I band** - bestaat enkel uit **dunne** myofilamenten  
- lichte banden  
- verdeeld in twee helften door een proteïneschijf, de Z-lijn
- Sarcomeer** - afstand tussen twee Z-lijnen  
- kleinste eenheid van spiercontractie

Dunne filamenten = actine  
Dikke filamenten = myosine



## Contractie skeletspier

- myofibrillen contraheren en worden korter
- myofilamenten zelf verkorten niet
- dikke en dunne filamenten glijden over elkaar

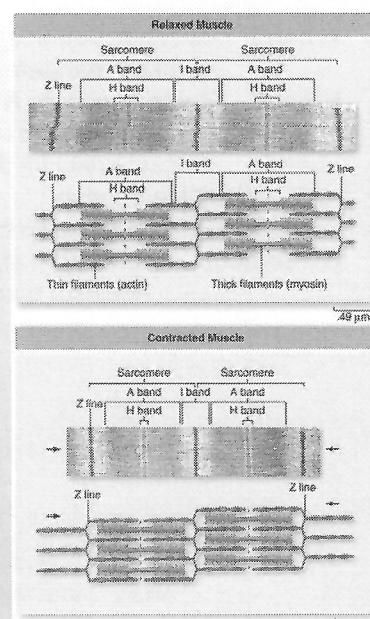


## Contractie skeletspier

### 'Glijdend filament mechanisme'

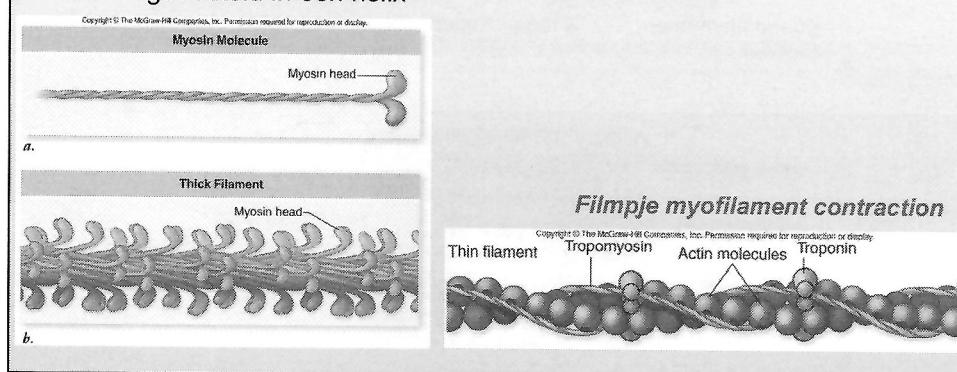
- Z-lijnen komen dichter
- I en H banden worden korter
- A band verandert niet in grootte  
(dikke, myosinefilamenten verschuiven niet)

*Filmpje sarcomere contraction*



# Contractie skeletspier

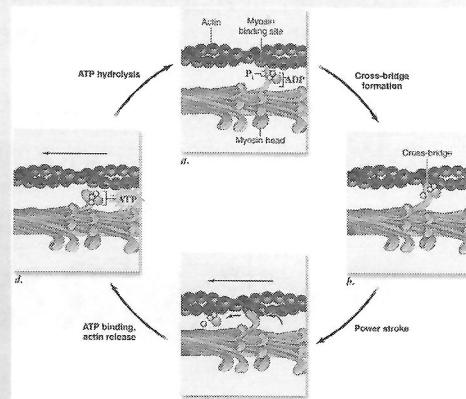
- Een dik filament bestaat uit een opeenstapeling van verschillende **myosine** subunits
  - Myosine bestaat uit twee rond elkaar gewonden polypeptideketens
  - Elke keten eindigt met een bolvormige kop
- Een dun filament bestaat uit twee **actine** proteineketens rond elkaar gewikkeld in een helix



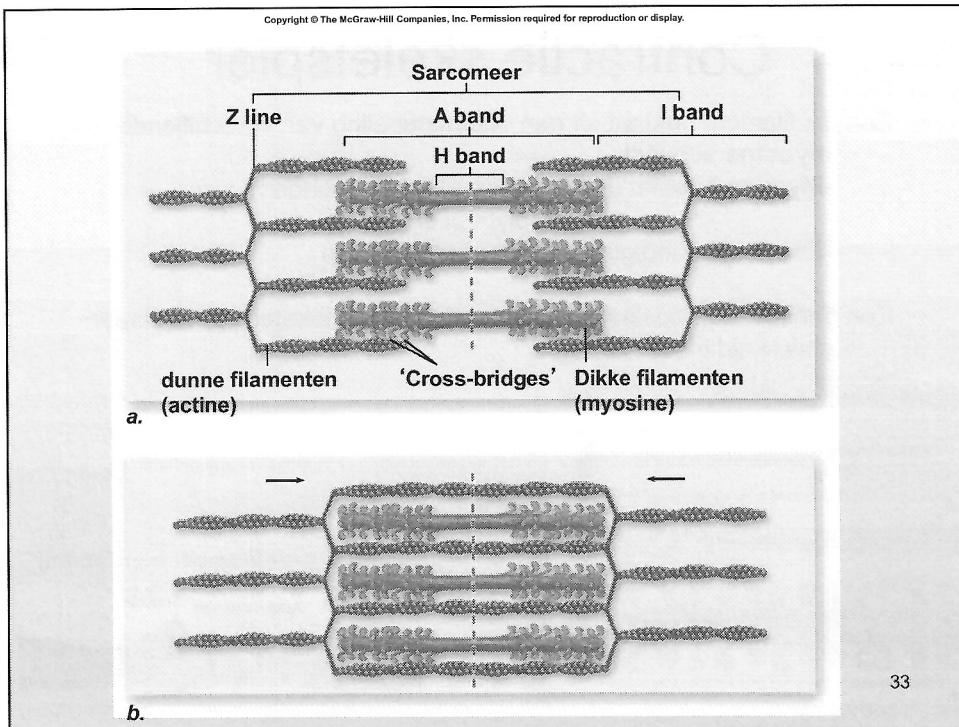
## Contractie-relaxatie cyclus

### Filmpje ATP - crossbridge

- a-**Hydrolyse** van ATP in ADP en Pi door myosine : hoge energie-configuratie myosinekop
- b-ADP en P<sub>i</sub> blijven gebonden aan de myosinekop die bindt met actine 'cross-bridge' formatie
- c-myosine voert een **kracht(inkortings)stoot** uit, waarbij het de ADP en P<sub>i</sub> loslaat en terug in de oorspronkelijke configuratie komt (daardoor trekt het het actinefilament naar het centrum van de sarcomeer)
- d-**ATP bindt** aan de myosinekop zodat het het actine weer loslaat

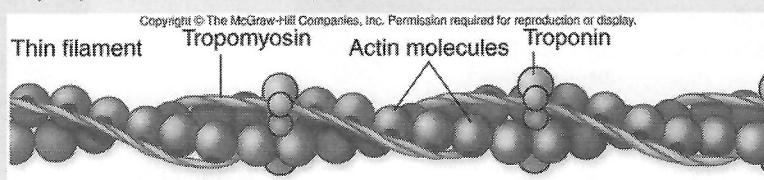


cyclus blijft doorlopen zolang de spier gestimuleerd wordt om te contraheren ('touwtrekbeweging')



## Contractie skeletspier

- Wanneer een spier in rust is, kunnen de myosinekoppen (wel in hoge-energie configuratie) niet binden met de actine, omdat de aanhechtingsplaatsen geblokkeerd zijn door tropomyosine
- Vooraleer een spier kan contraheren, moet de tropomyosine verwijderd worden door troponine
- Dit proces wordt gereguleerd door het  $\text{Ca}^{2+}$  niveau in het cytoplasma van de spiervezels

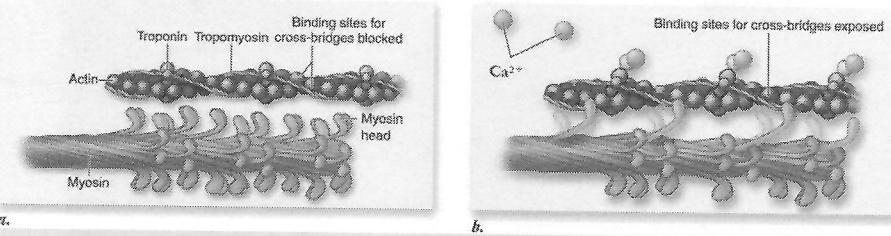


34

## Contractie skeletspier

- a-Bij lage  $\text{Ca}^{2+}$  niveaus, blokkeert tropomyosine de aanhechtingsplaatsen voor myosine (spier in rust)
- b-Bij hoge  $\text{Ca}^{2+}$  niveaus, bindt  $\text{Ca}^{2+}$  aan troponine  
Tropomyosine wordt verplaatst zodat myosine aan actine kan binden

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

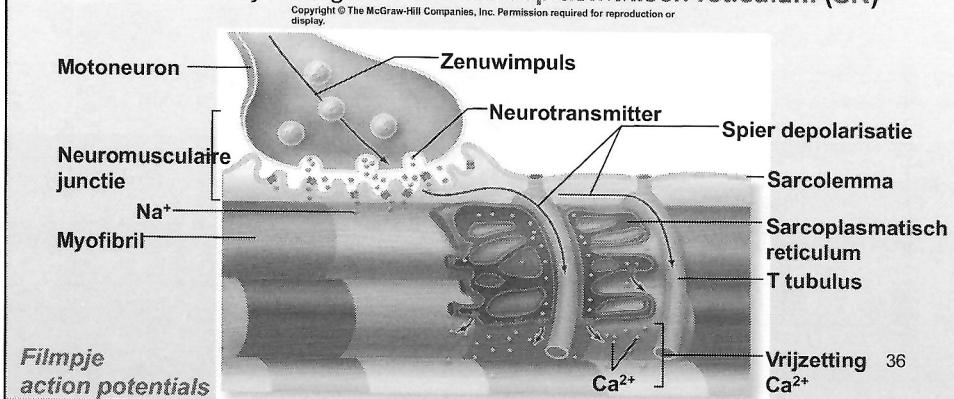


35

## Contractie skeletspier

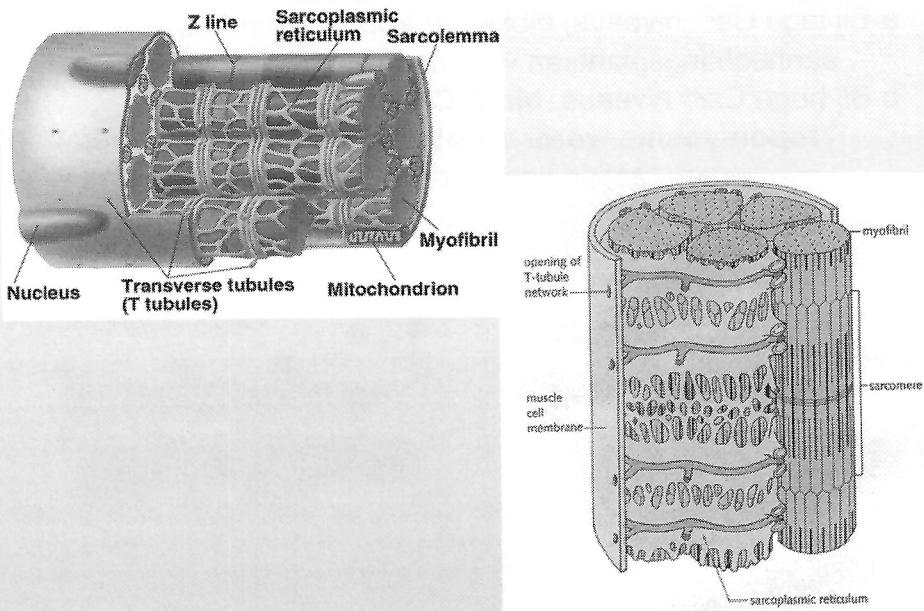
Contractie na stimulatie door motoneuronen:

- acetylcholine in de neuromusculaire junctie - synaps (**motorische eindplaat**)
- spiervezelmembraan (**sarcolemma**) wordt gedepolariseerd
- depolarisatie wordt geleid tot diep binnen in de spiervezel door de **T-tubuli**
- stimuleert vrijzetting  $\text{Ca}^{2+}$  van **sarcoplasmatisch reticulum (SR)**



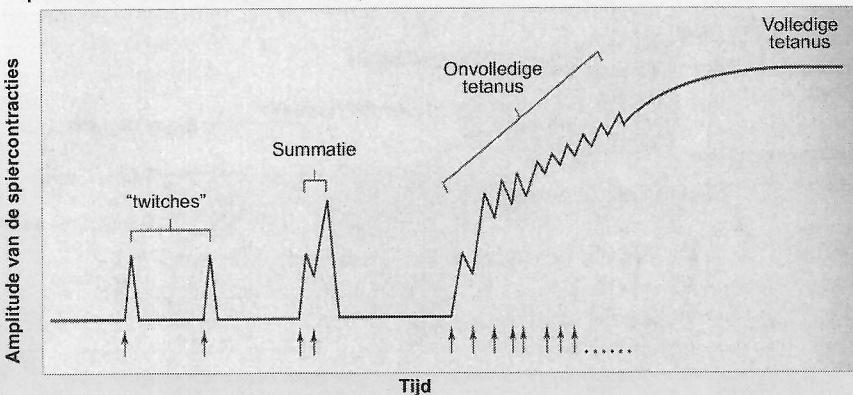
18

## Contractie skeletspier



## Types spiervezels

- Elke zenuwimpuls (elektrische stimulus) geeft aanleiding tot een snelle en korte contractie = 'twitch'
- Summatie is een cumulatieve respons wanneer een tweede 'twitch' kort volgt op de eerste
- Tetanus gebeurt wanneer er geen relaxatie is tussen 'twitches'
- Een volgehouden contractie wordt dan geproduceerd (cfr. normale spiercontractie in het lichaam)



# Types Spiervezels

op basis contractiesnelheid

## -Trage-twitch, Type I-vezels

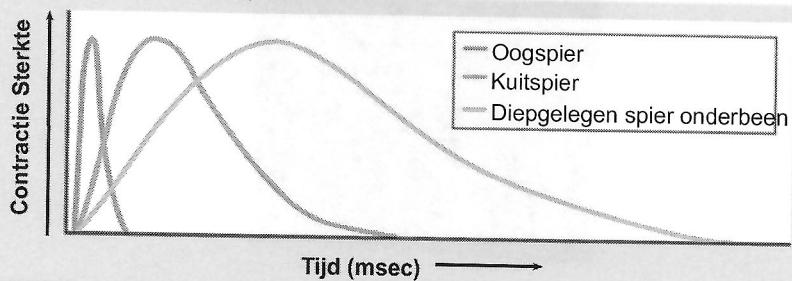
- rijk aan capillairen, mitochondriën en myoglobine pigment  
(**rode vezels**)
- kunnen actie lang volhouden, aerobe ademhaling

## -Snelle-twitch, Type II-vezels

- arm aan capillairen, mitochondriën en myoglobine  
(**witte vezels**)
- aangepast om snel kracht te genereren, anaerobe ademhaling

## -Intermediaire-twitch : relatief snel, oxidatief, relatieve volhouding

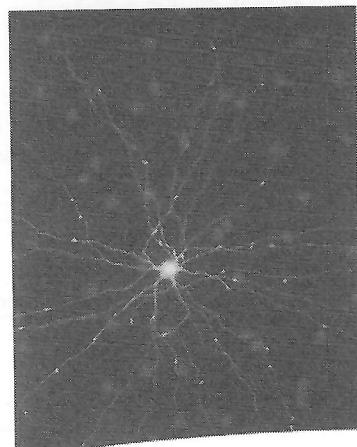
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



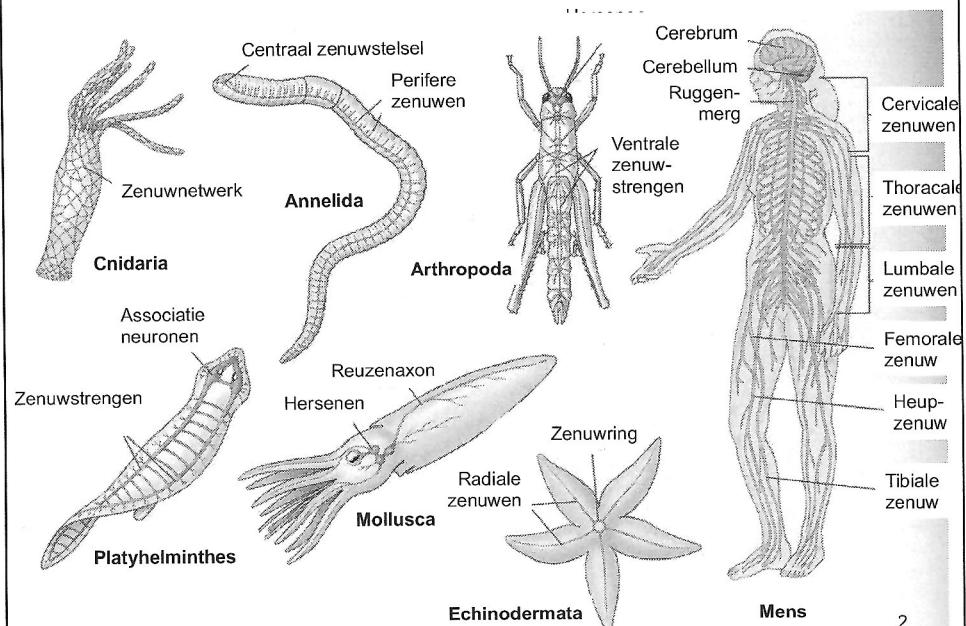
19

# Het Zenuwstelsel

## Hoofdstuk 42



Alle dieren moeten kunnen reageren op inwendige en omgevingsfactoren



## Organisatie van het zenuwstelsel

Alle dieren moeten kunnen reageren op inwendige en omgevingsfactoren

- Informatie verzamelen: signaal via **sensorische neuronen**
- Gegevens verwerken: communicatie/interpretatie via interneuronen
- Op gepaste manier reageren: signaal via **motorische neuronen**

Het zenuwstelsel :

- verbindt sensorische receptoren en motorische effectoren (spieren/klieren)
- bestaat uit neuronen en ondersteunende cellen

3

## Organisatie van het zenuwstelsel

Neuronen: geleiding van de zenuwimpulsen

Vertebraten hebben 3 types neuronen of zenuwcellen:

- **Sensorische neuronen** (afferente neuronen)
  - dragen de impulsen naar het **centraal zenuwstelsel (CNS)**
- **Motorische neuronen** (efferente neuronen)
  - dragen impulsen van **CNS** naar effectoren (spieren, klieren)
- **Interneuronen** (associatieneuronen)
  - voorzien in meer complexe reflexen en associative functies (leren en geheugen); schakelneuron tussen sensorisch en motorisch neuron

(Neuro)glia cellen: structurele en functionele ondersteuning van de neuronen, vele types kleiner dan neuronen maar veel talrijker

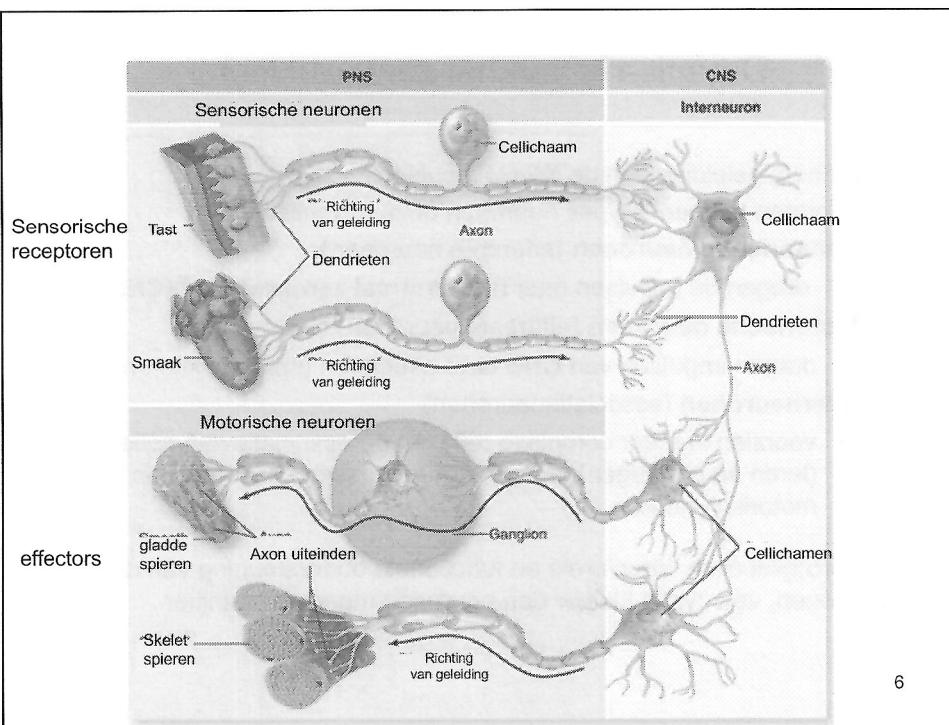
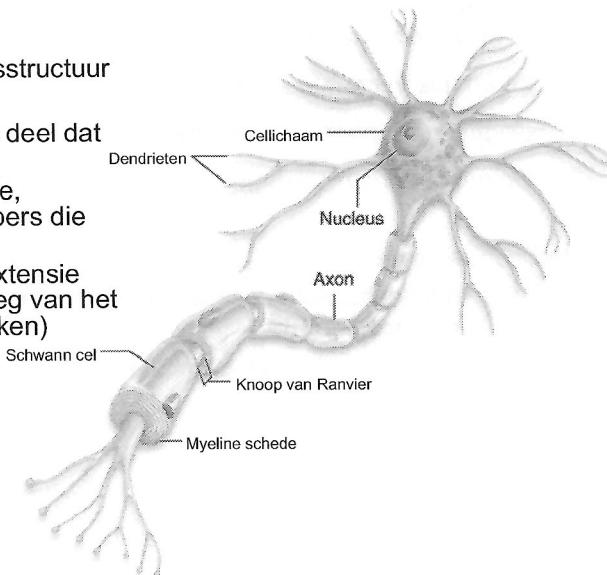
4

2

## Organisatie van het zenuwstelsel

Neuronen hebben een gemeenschappelijke basisstructuur

- **Cellichaam** = vergroot deel dat kern bevat
- **Dendrieten** = meerdere, cytoplasmatische uitlopers die stimuli ontvangen
- **Axon** = enige, lange extensie die impulsen geleidt weg van het cellichaam (kan vertakken)



## Organisatie van het zenuwstelsel

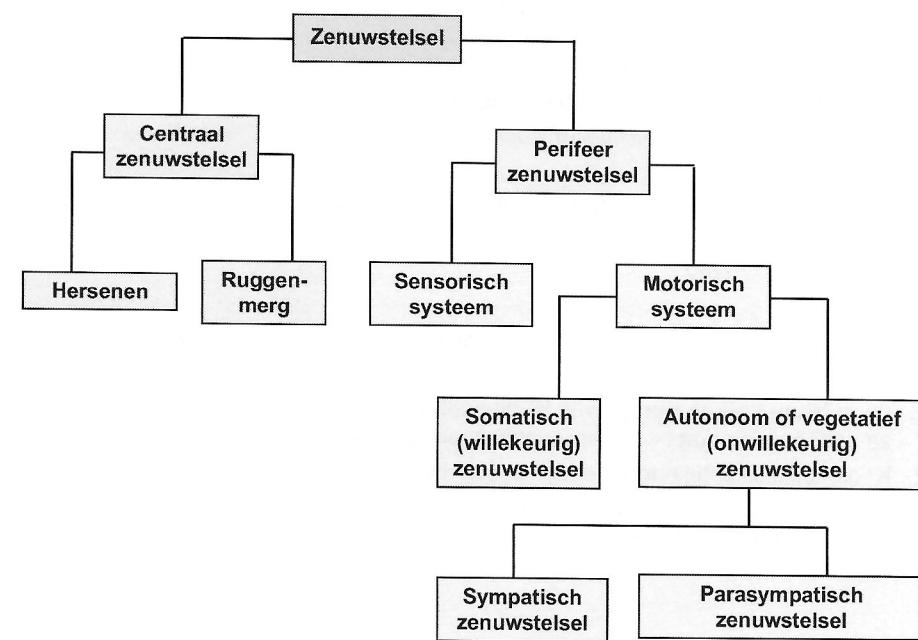
Het centrale zenuwstelsel (**CZS**) omvat de **hersen en het ruggemerg**

Het **perifeer zenuwstelsel (PZS)** bestaat uit sensorische en motorische neuronen

- **het somatisch of willekeurig zenuwstelsel** stimuleert de skeletspieren
- **het autonoom of vegetatief (onwillekeurig) zenuwstelsel** stimuleert gladde spieren en hartspier, en klieren
  - **sympatisch en parasympatisch ZS**  
vecht & vlucht reactie versus rust

7

## Bij vertebraten:

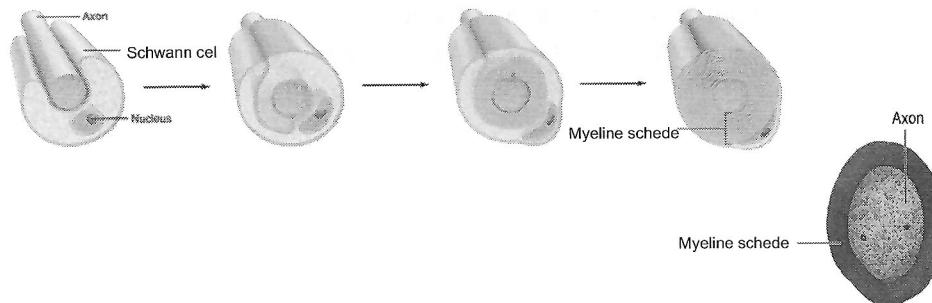


## Organisatie van het zenuwstelsel

Neuronen worden structureel en functioneel ondersteund door gliacellen

- **Schwann cellen** (PZS) en **oligodendrocyten** (CZS) produceren de **myelineschede** rond axonen

- In het CZS vormen de gemyeliniseerde axonen de **witte stof**, de niet-gemyeliniseerde dendrieten/cellichamen vormen de **grijze stof**
- In het PZS worden (gemyeliniseerde) axonen gebundeld tot **zenuwen**



## Mechanisme van de zenuwimpuls

Er bestaat een potentiaalverschil over de plasmamembraan van elke cel

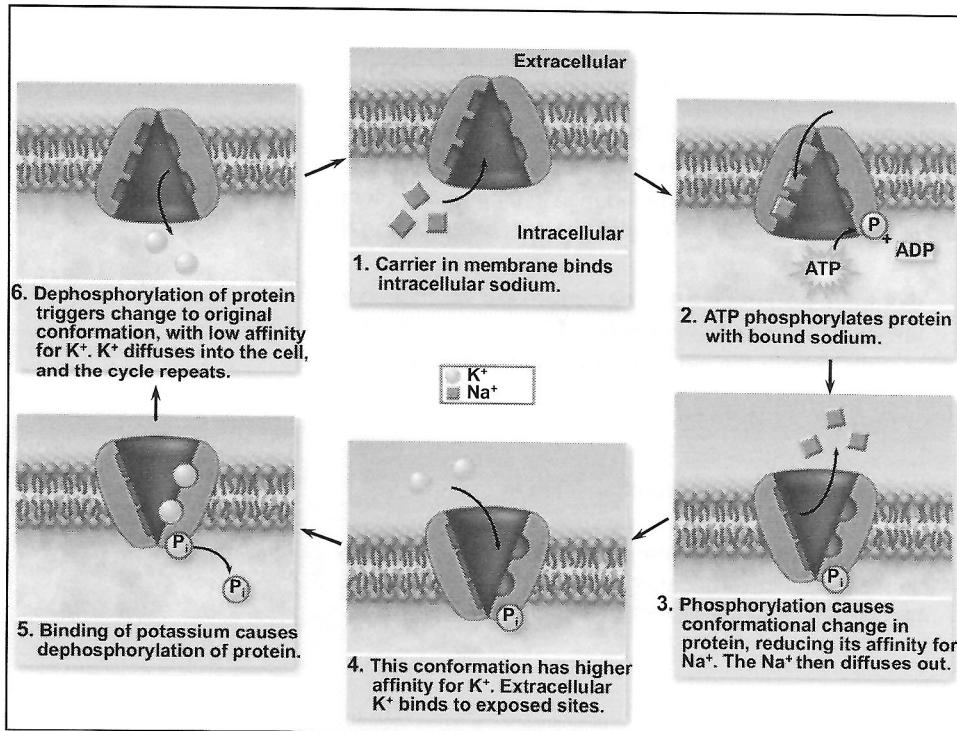
- Negatieve pool = cytoplasmatische zijde
- Positieve pool = extracellulaire vloeistof zijde

Wanneer een neuron niet wordt gestimuleerd, onderhoudt het de **rustpotentiaal**

- varieert tussen -40 to -90 millivolt (mV)
- gemiddeld -70 mV

De binnenzijde van de cel is dus meer negatief geladen dan de buitenzijde omdat:

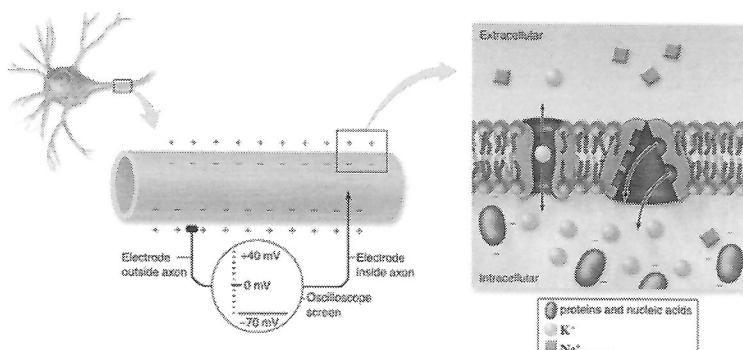
1. de **natrium-kalium pomp** twee  $K^+$  binnennaart in de cel voor elke drie  $Na^+$  die ze naar buiten pompt – onderhoudt concentratiegradient
2.  $K^+$  gemakkelijker lekt door de membraan dan  $Na^+$  via porie-achtige kanalen
3. grote moleculen zoals eiwitten, suikers, nucleinezuren negatief geladen zijn bij fysiologische pH - ze zijn in hogere concentratie aanwezig in de cel dan er buiten



## Mechanisme van de zenuwimpuls

Er is een opbouw van positieve lading aan de buitenzijde en een negatieve lading binnenin de cel

- deze elektrische potentiaal trekt K<sup>+</sup> ionen terug in de cel
- de balans tussen diffusie en elektrische krachten leidt tot de **rustpotentiaal**  
= evenwichtspotentiaal
- op te meten met een voltmeter en twee elektroden



12

## Mechanisme van de zenuwimpuls

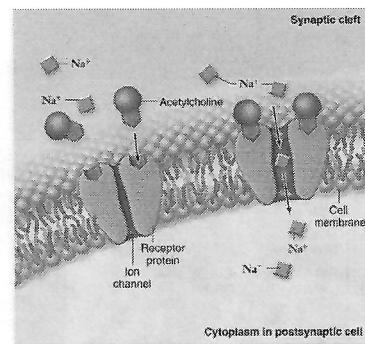
Er zijn 2 types van verandering in membraanpotentiaal:

- Graduele potentialen en actiepotentialen
- te wijten aan veranderingen in membraanpotentiaal tgv de activatie van bepaalde selectieve **ionenkanalen (gated channels)**

Graduele potentialen zijn kleine tijdelijke veranderingen in membraanpotentiaal tgv de activatie van **chemische of ligand-afhankelijke kanalen**

- de meeste zijn gesloten bij de normale rustende cel

Ligand = hormonen of neurotransmitters  
- binding induceert opening en lokt veranderingen in membraanpermeabiliteit uit die resulteren in verandering in membraanpotentiaal (de- en hyperpolarisatie)

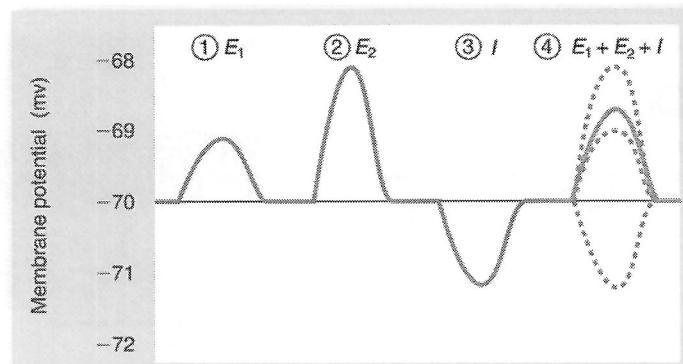


## Mechanisme van de zenuwimpuls

Depolarisatie maakt de membraanpotentiaal meer positief, terwijl hyperpolarisatie leidt tot een meer negatieve membraanpotentiaal

- deze kleine veranderingen leiden tot een graduele potentiaal
- kunnen elkaar versterken of tegenwerken

**Summatie** is de mogelijkheid om graduele potentialen op te tellen



14

## Mechanisme van de zenuwimpuls

- Actiepotentialen ontstaan als de depolarisatie een drempelpotentiaal bereikt
- worden veroorzaakt door **voltage- of spanningsafhankelijke ionenkanalen**
  - 2 verschillende kanalen worden gebruikt:
    - **spanningsafhankelijke Na<sup>+</sup> kanalen** : activatie en inactivatie *gate*
    - **spanningsafhankelijke K<sup>+</sup> kanalen** : inactivatie *gate*

Als de drempelwaarde wordt bereikt, openen Na<sup>+</sup> kanalen snel

- transiente influx van Na<sup>+</sup> leidt tot membraandepolarisatie

Daarentegen, K<sup>+</sup> kanalen openen traag

- efflux van K<sup>+</sup> repolariseert de membraan

De actiepotentiaal omvat 3 fasen: de **stijgende, dalende en undershoot fase**

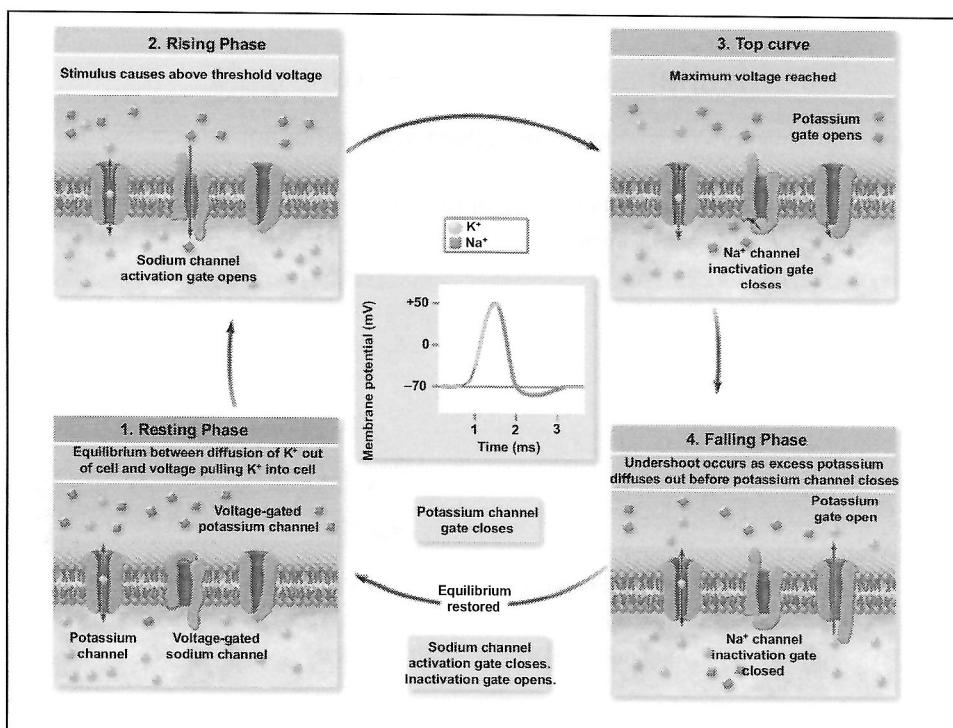
Actiepotentialen zijn altijd aparte, alles-of-niets responsen van dezelfde amplitude

- versterken elkaar niet en interfereren niet met elkaar

De intensiteit van de stimulus is gecodeerd door de frequentie, niet de amplitude,

van de actiepotentiaal

15

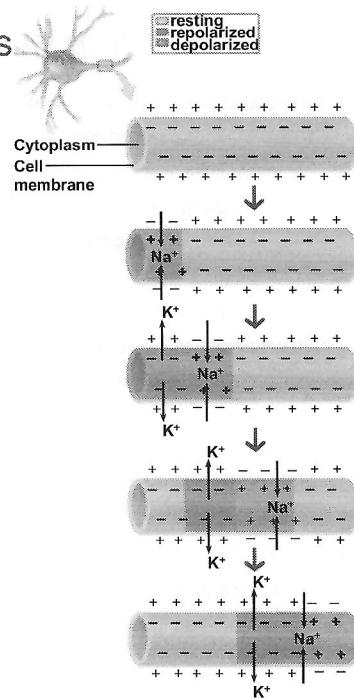


## Mechanisme van de zenuwimpuls

Een actiepotentiaal onstaat aan de basis van het axon en wordt dan overeen axonale delen gecreëerd

Elke actiepotentiaal reflecteert in zijn stijgende fase, een omkering van de membraanpolariteit

- Positieve ladingen tgv influx van  $\text{Na}^+$  depolarizeren de naastliggende regio tot de drempelwaarde
- Zo kan de volgende regio in het axon zijn eigen actiepotentiaal genereren
- Ondertussen repolariseert de voorgaande regio terug tot de rustpotentiaal: Na kanalen zijn hier tijdelijk ongevoelig tot de inactivatie gate is hergeopend

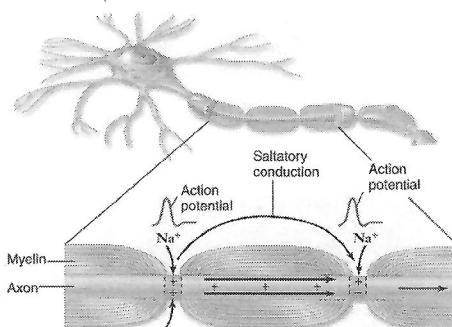


## Mechanisme van de zenuwimpuls

Twee manieren om de snelheid van geleiding te verhogen:

### 1. Axon diameter vergroten

- minder elektrische weerstand tegen stroom
- komt vooral voor bij invertebraten



### 2. Axon wordt gemyeliniseerd:

- actiepotentiaal wordt alleen geproduceerd thv de knopen van Ranvier
- komt voor bij vertebraten
- impuls springt van knoop tot knoop = saltatorische geleiding

Conduction Velocities of Some Axons			
	Axon Diameter (μm)	Myelin	Conduction Velocity (m/s)
Squid giant axon	500	No	25
Large motor axon to human leg muscle	20	Yes	120
Axon from human skin pressure receptor	10	Yes	50
Axon from human skin temperature receptor	5	Yes	20
Motor axon to human internal organ	1	No	2

19

## Signaaltransductie in synapsen

Een actiepotentiaal eindigt in axonterminalen en geeft signaal door aan andere zenuwcel, spier of kliercel via synapsen.

**Synapsen** zijn intercellulaire juncies

- **presynaptische cel** verzendt AP
- **postsynaptische cel** ontvangt AP

Twee basistypes: **elektrische** en **chemische**

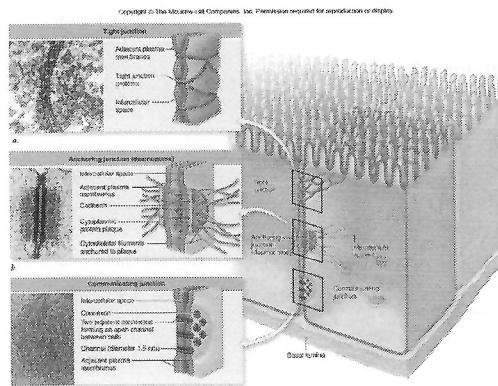
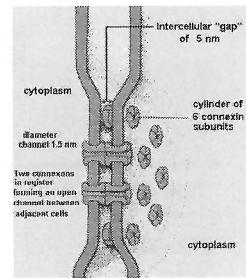
**Elektrische synapsen** vereisen directe cytoplasmatische connecties tussen de 2 cellen:

- gevormd door gap junctions
- snel, maar geen regulatie mogelijk
- komen relatief weinig voor in zenuwstelsel bij vertebraten, meer bij invertebraten

20

### Gap junction:

- communicatiekanalen tussen cellen; opgebouwd uit connexine eiwit
- via connexon kan water, ionen, AZ, suikers uitgewisseld worden, ook hormonen, cAMP, cGMP ivm prikkeloverdracht en gecoördineerde respons
- snel te bouwen en af te breken

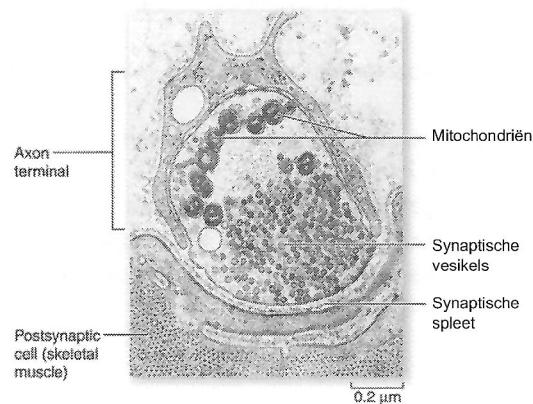


21

## Signaaltransductie in synapsen

**Chemische synapsen** hebben een **synaptische spleet** tussen de 2 cellen

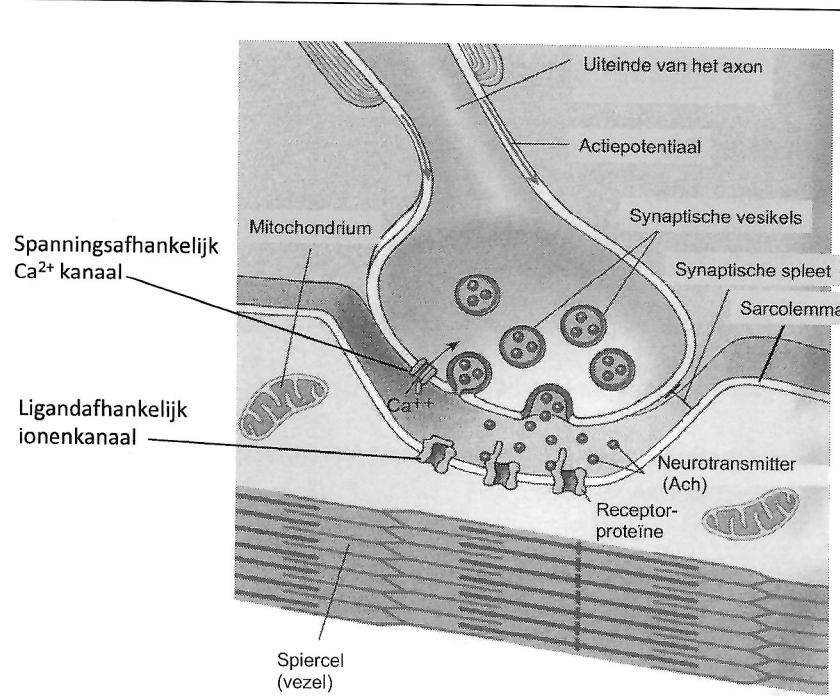
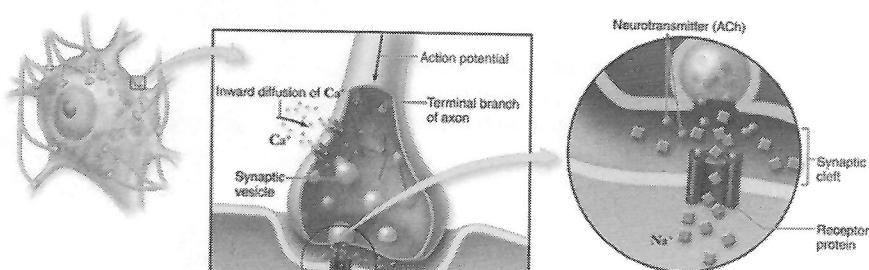
- regulatie mogelijk via neurotransmitters
- gevulde einde van presynaptische cel bevat **synaptische vesikels** gevuld met **neurotransmitters**



## Signaaltransductie in synapsen

Actiepotentiaal in axonterminaal triggert influx van  $\text{Ca}^{2+}$  over voltage-afhankelijke  $\text{Ca}^{2+}$  kanalen

- Synaptische vesikels fuseren met celmembraan
- Neurotransmitter wordt vrijgesteld door **exocytose**
- Neurotransmitter diffundeert naar andere zijde van de spleet en bindt aan chemische of ligand-afhankelijke **receptorproteïnen**
- Neurotransmitteractie wordt afgebroken door enzymatische klieving of cellulaire heropname (door neuronen en gliacellen) of diffusie weg van de synaptische spleet



## Signaaltransductie in synapsen

### Neurotransmitters

- diverse groep
- indeling volgens chemische gelijkenissen

#### Acetylcholine (ACh)

- vrijgesteld door een motoneuron,  
steekt over naar spiervezel
- = **neuromusculaire junctie**

noot: ACh is een veelgebruikte NT, is bvb ook de NT van het parasympatisch zenuwstelsel en doet daar de hartslag dalen



## Signaaltransductie in synapsen

### Neurotransmitters

#### Acetylcholine (ACh)

- bindt aan ligand-afhankelijke receptor in de postsynaptische membraan (nicotine R of muscarine R)

- veroorzaakt depolarisatie, namelijk **excitatorische postsynaptische potentiaal (EPSP)**
  - stimuleert spiercontractie

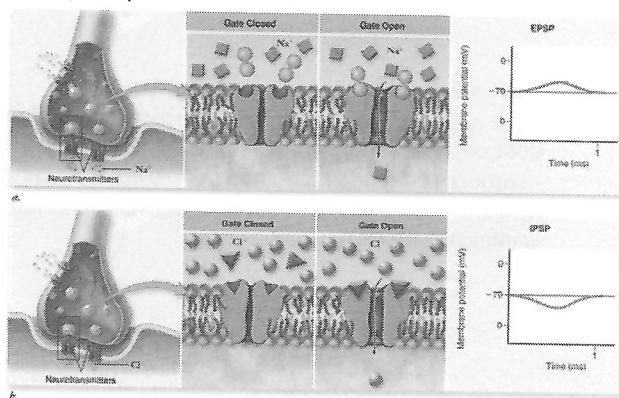
- **Acetylcholinesterase (AChE)** degradeert Ach (hydrolyse, acetaat, choline)
  - leidt tot spierrelaxatie

## Signaaltransductie in synapsen

### Neurotransmitters

#### Aminozuren

- **Glutamaat** is de belangrijkste excitatorische neurotransmitter in het CNS
- **Glycine en GABA** ( $\gamma$ -aminoboterzuur) zijn inhibitorische neurotransmitters
  - openen ligand-afhankelijke kanalen voor  $\text{Cl}^-$ ; influx van  $\text{Cl}^-$
  - produceren een hyperpolarisatie, de **inhibitorische postsynaptische potentiaal (IPSP)**



## Signaaltransductie in synapsen

### Neurotransmitters

#### Biogene amines

- **Epinephrine** (adrenaline) and **norepinephrine** (noradrenaline) zijn belangrijk bij de "vecht of vlucht" respons (sympatisch ZS)
- **Dopamine** wordt ingezet in sommige hersengebieden die lichaamsbeweging controleren
  - cfr Parkinson: verstoorde beweging door verlies van dopaminerke neuronen in de substantia nigra (L-dopa behandeling)
  - schizofrenie: excessieve dopamine productie (DA antagonist)
- **Serotonine** is betrokken bij de regulatie van slaap, rol bij emoties
  - cfr tekort leidt tot depressie (Prozac - selectieve serotonine reuptake blokker: antidepressivum)

## Signaaltransductie in synapsen

### Neurotransmitters

#### Neuropeptiden

- Substance P wordt vrijgesteld door sensorische neuronen geactiveerd door pijnlijke stimuli
- intensiteit van pijnpercepcie hangt af van **enkefalines** en **endorfines** (opium en derivaten werken pijnstillend)

#### Stikstof oxide (NO)

- gas geproduceerd uit arginine op moment dat het nodig is, diffundeert door celmembraan, dus niet opgeslagen in vesikels
- veroorzaakt gladde spierrelaxatie in spijsverteringskanaal, penis, etc. (erectie – spierrelaxatie laat bloedtoevoer in penis toe - Viagra: verhoogt vrijstelling van NO)

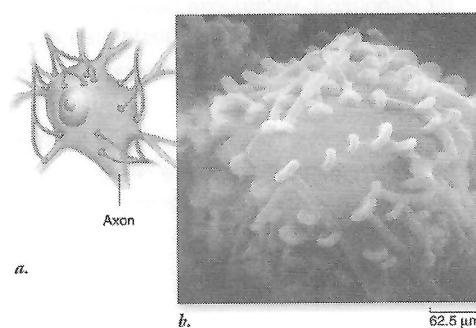
29

## Signaaltransductie in synapsen

### Synaptische integratie

Integratie van EPSPs (depolarisatie) en IPSPs (hyperpolarisatie) treedt op thv het neuronaal cellichaam van postsynaptisch neuron

- kleine EPSPs sommeren en brengen de membraanpotentiaal dichter bij de drempelwaarde
- IPSPs worden afgetrokken van het depolariserend effect van EPSPs



30

## Signaaltransductie in synapsen

### Synaptische integratie

Twee manieren om drempelwaarde te bereiken voor actiepotentiaal in axon van postsynaptisch neuron:

- **Spatiale summatie**
  - verschillende synapsen/dendrieten produceren EPSPs
- **Temporele summatie**
  - één synaps/dendriet produceert herhaalde EPSPs

### Habituatie

Een aangehouden blootstelling aan een stimulus kan leiden tot het verlies van de capaciteit van de cel om er op te antwoorden

- = **habituatie**
  - de cel vermindert het aantal receptoren omdat er een overmaat aan neurotransmitter vorhanden is
  - belangrijk bij behandeling met geneesmiddelen

31

## Signaaltransductie in synapsen

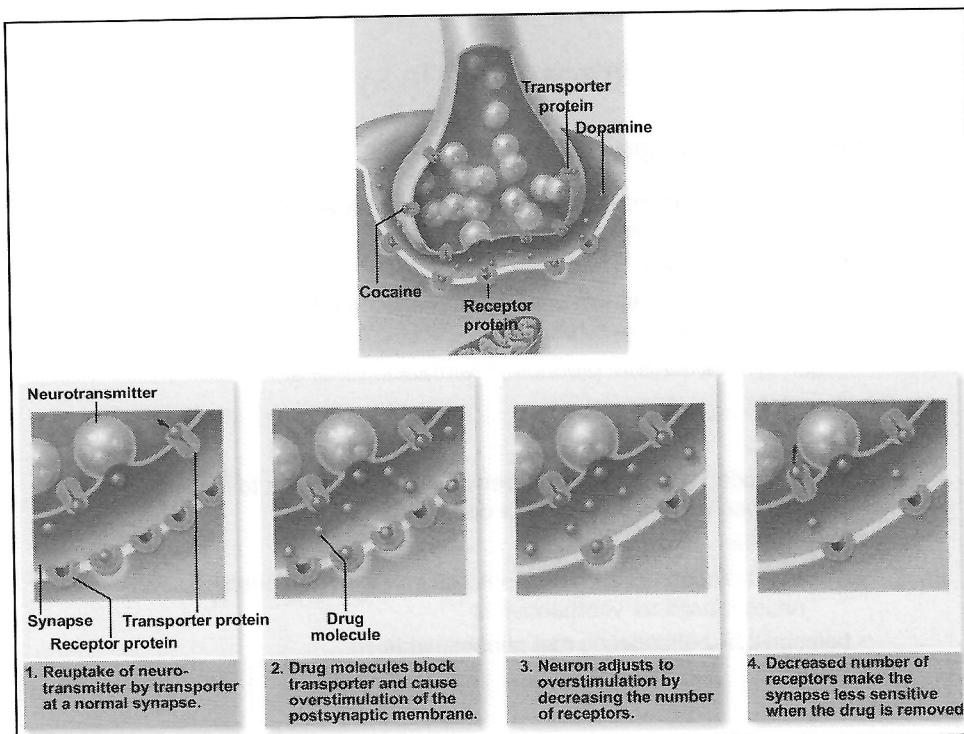
### Drugverslaving

Cocaine beïnvloedt neuronen in de "euforie regio" van de hersenen

= **limbisch systeem**

- bindt aan dopamine transporters en verhindert de heropname van dopamine
- dopamine komt langer voor in de synaps en de 'pleasure pathways' in het limbisch systeem vuren meer en meer
- aangehouden blootstelling triggert limbisch systeem neuronen tot reductie van het aantal receptoren
- de cocaine gebruiker is nu verslaafd: cocaine is nodig om een normale activiteit te bekomen binnen het limbisch systeem
- stop gebruik: zware depressie – geen enkel positief gevoel mogelijk – volhouden is daardoor extreem moeilijk

32



## Signaaltransductie in synapsen

### Drugverslaving

Nicotine bindt direct aan een specifieke receptor op postsynaptische neuronen in de hersenen

- hersenen passen zich aan aan aangehouden blootstelling op twee manieren:

1. maken minder nicotine-receptoren
2. veranderen het activatiepatroon van de nicotine-receptoren

Nicotine R binden normaal Ach

- nicotine verandert de vrijstelling van verschillende NT (Ach, dopamine, serotonine)
- ook gevoeligheid en hoeveelheid R verandert

Bij volledige afwezigheid van nicotine herstelt het ZS en herneemt zijn normale functie

34

## Het centraal zenuwstelsel

Sponzen: enige phylum zonder 'zenuwen'

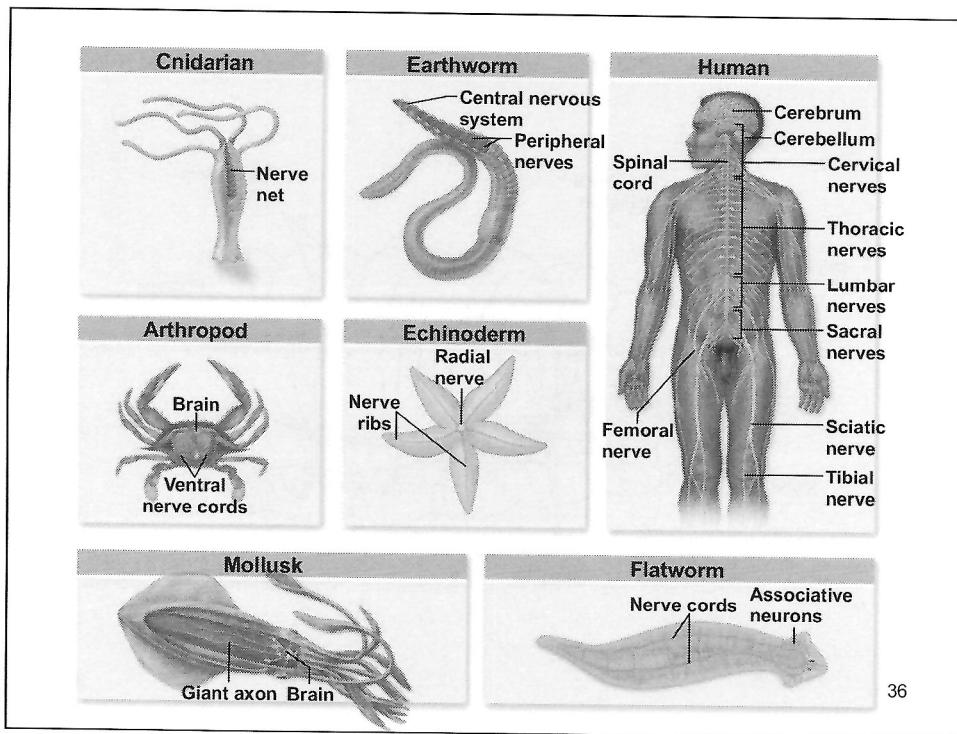
Cnidaria: simpelste zenuwstelsel:

- neuronen zijn verbonden tot een zenuwweb
- geen associatieve activiteit, geen controle over complexe acties of coördinatie

Vrijlevende platwormen (phylum Platyhelminthes) zijn simpelste dieren met associatieve activiteit:

- 2 zenuwstrengen doorheen het lichaam
  - laten complexe spiercontrole toe
  - vooraan gegroepeerde zenuwen, interneuronen/synapsen

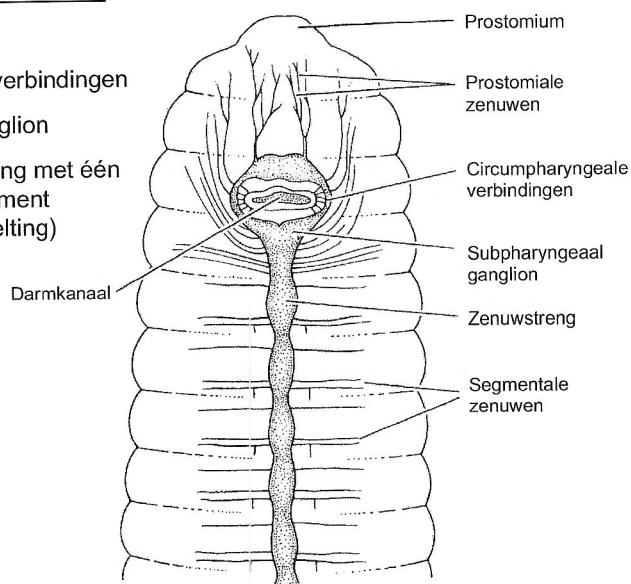
35



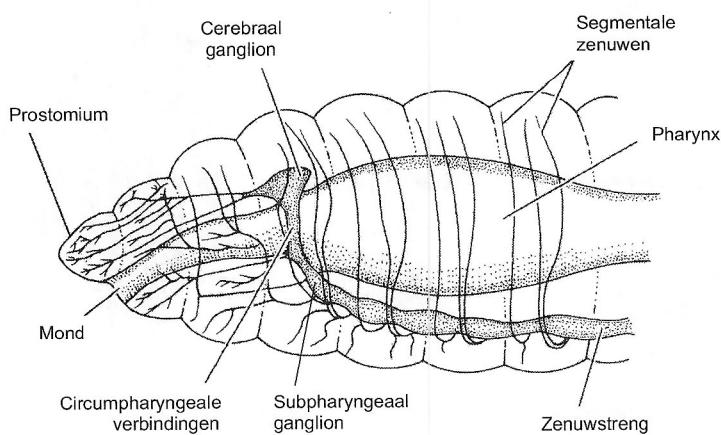
36

### Zenuwstelsel bij gelede wormen

- Cerebraal ganglion
- Circumpharyngeale verbindingen
- Subpharyngeaal ganglion
- Gepaarde zenuwstreng met één paar ganglia per segment (toenemende versmelting)
- Laterale zenuwen



37

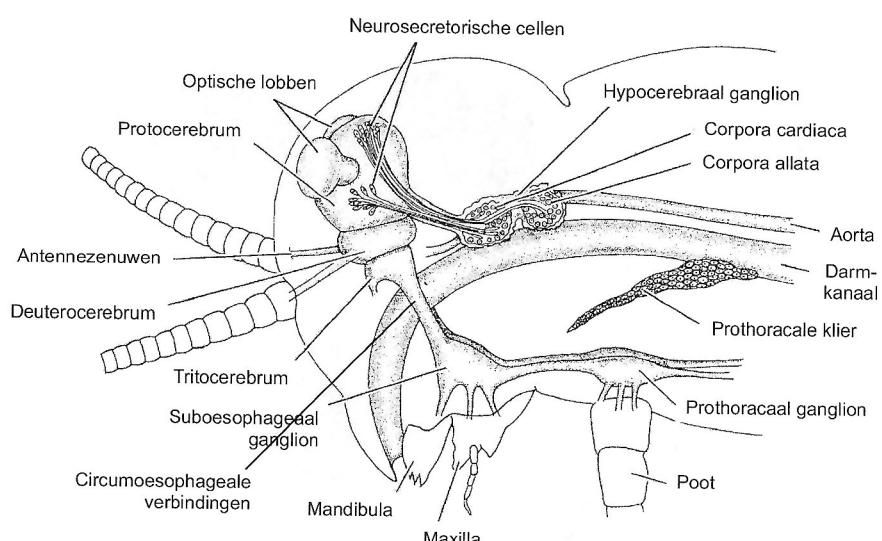


38

### Zenuwstelsel bij insecten

- Cerebraal ganglion (cerebrum): proto-, deutero- en tritocerebrum
- Circumoesophageale verbindingen
- Suboesophageaal ganglion
- Hypocerebraal ganglion
- Gepaarde zenuwstreng met één paar ganglia per segment (toenemende versmelting)
- Laterale zenuwen

39

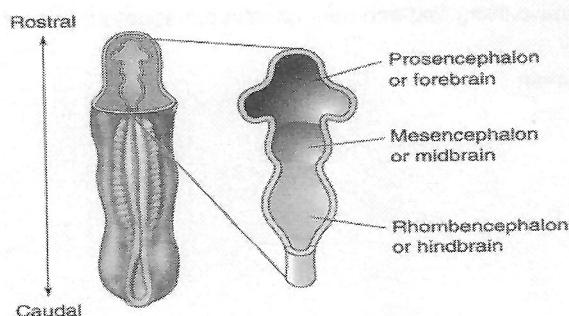


40

## Basisplan van de vertebraten hersenen

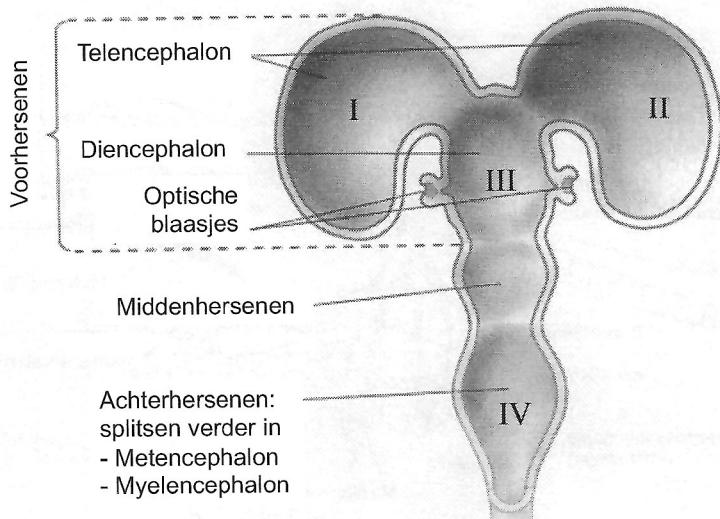
Alle vertebraten hersenen zijn opgebouwd uit 3 basisdivisies:

- **achterhersenen** of rhombencephalon
- **middenhersenen** of mesencephalon
- **voorhersenen** of prosencephalon



41

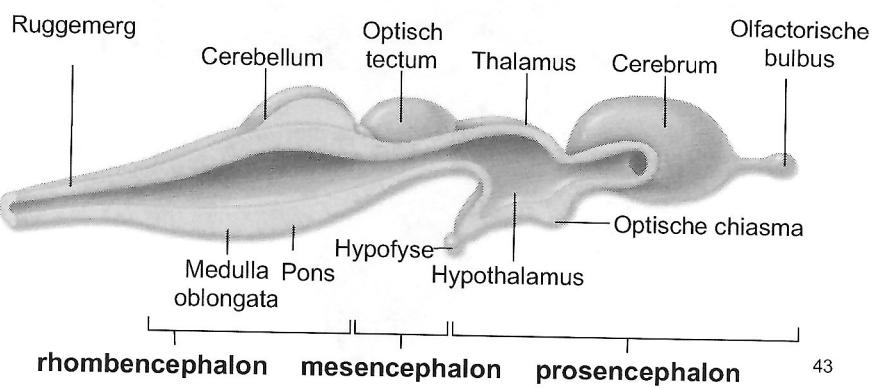
## Basisplan van de vertebraten hersenen



42

## Basisplan van de vertebraten hersenen

Basisorganisatie van hersenen – idem aan hersenen van primitieve vissen:  
- achterhersenen = grootste deel  
- middenhersenen = verwerken visuele informatie  
- voorhersenen = staan in voor reuk

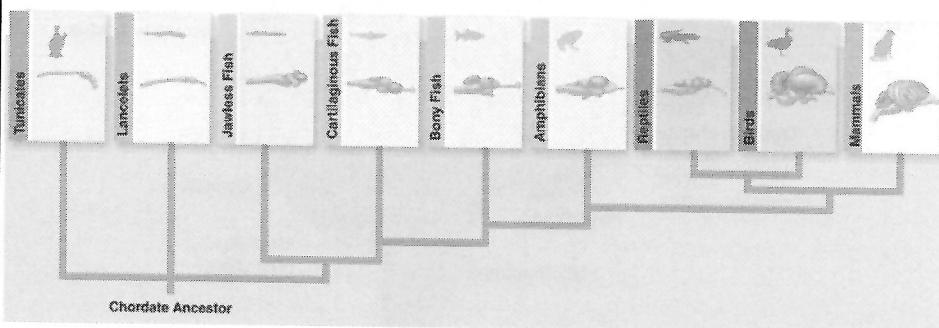


43

## Stijgende dominatie van de voorhersenen

De relatieve grootte van verschillende hersengebieden verandert naargelang de evolutie van de vertebraten

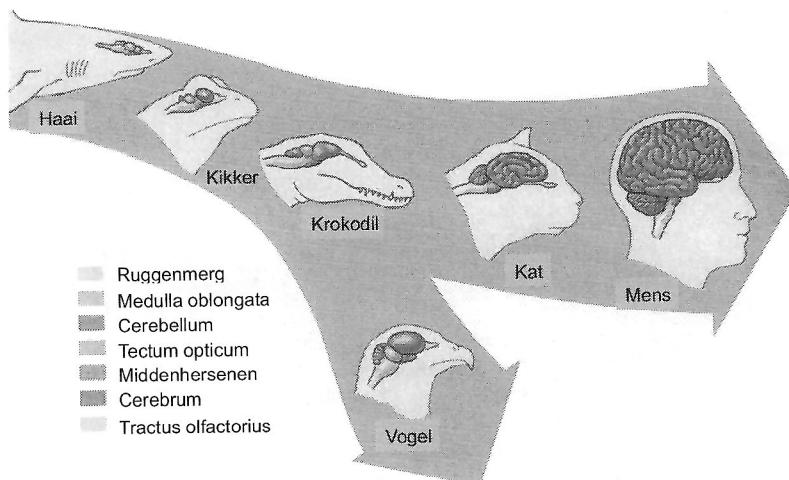
- uitbreiding van voorhersenen die instaan voor verwerken van sensorische informatie



44

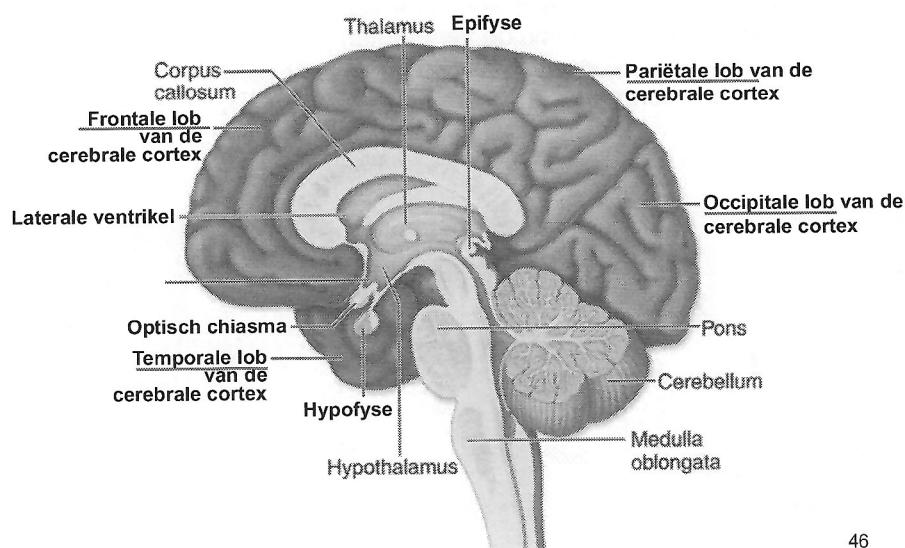
## Stijgende dominatie van de voorhersenen

De relatieve grootte van verschillende hersengebieden verandert naargelang de evolutie van de vertebraten



45

## Stijgende dominatie van de voorhersenen



46

## Stijgende dominatie van de voorhersenen

Voorhersenen worden opgebouwd uit:

- **Telencephalon** (eindhersenen)
  - toegewijd aan associatieve activiteit
  - belangrijk voor correlatie en leren
  - **cerebrum** in zoogdieren
- **Diencephalon** (tussenhersenen)
  - **Thalamus**: integratie en schakelcentrum: sensorische info komt binnen via thalamus en wordt langs daar doorgeschakeld naar andere delen van het cerebrum
  - **Hypothalamus**: participeert in emoties en controleert de hypofyse, regelt verschillende lichaamsfuncties: honger, dorst, temperatuur enz.

47

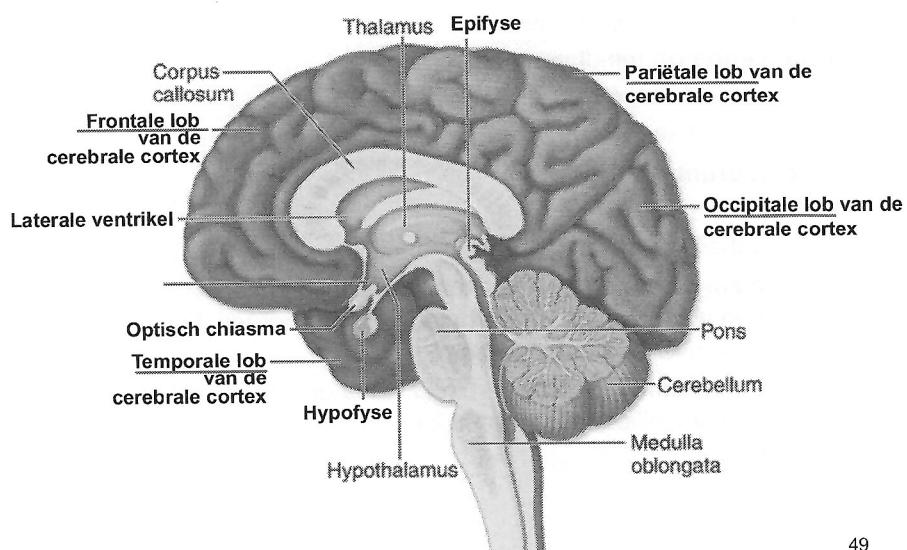
## Het cerebrum bij de mens

Toename in grootte van hersenen in zoogdieren reflecteert de grote toename van het cerebrum

- opgedeeld in rechter en linker **cerebrale hemisfeer**, verbonden met elkaar over het **corpus callosum**
- hemisferen worden opgedeeld in lobben: **frontale**, **pariëtale**, **temporale** en **occipitale** lobben, elk met eigen functie
- elke hemisfeer ontvangt sensorische input van de tegenovergestelde (= contralaterale) zijde van het lichaam en stuurt ook daar spiercontracties en dus motorische beweging

48

## Stijgende dominatie van de voorhersenen



## Het cerebrum bij de mens

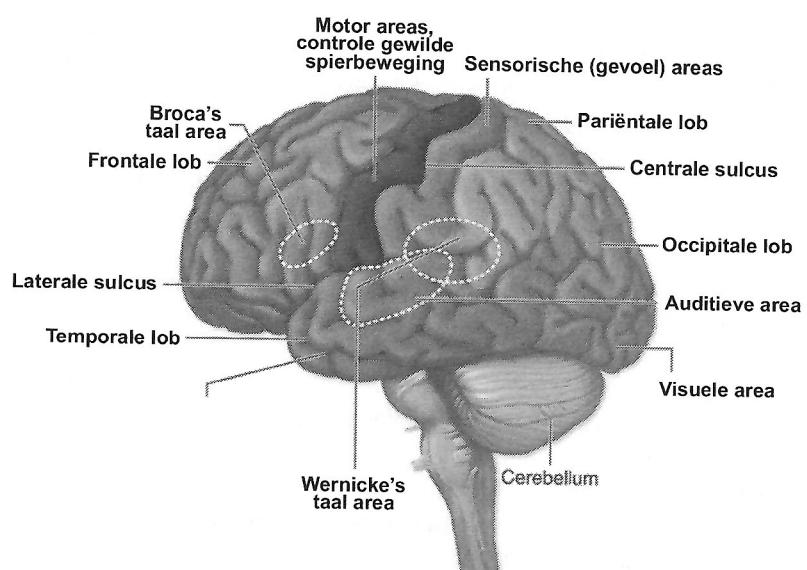
### De cerebrale cortex

- buitenste laag van het cerebrum (grijze stof)
- bevat ongeveer 10% van alle neuronen in de hersenen
- sterk geplooid bij hogere zoogdieren, inclusief de mens
  - doet oppervlak verdrievoudigen in mens
- opgedeeld in drie regio's elk met een specifieke functie
  - **Primaire motorcortex:** controle van beweging
  - **Primaire sensorische cortex:** sensorische controle (horen, zien, voelen)
  - **Associatieve cortex:** hogere geestelijke functies (plannen, leren, taal)

50

## Het cerebrum bij de mens

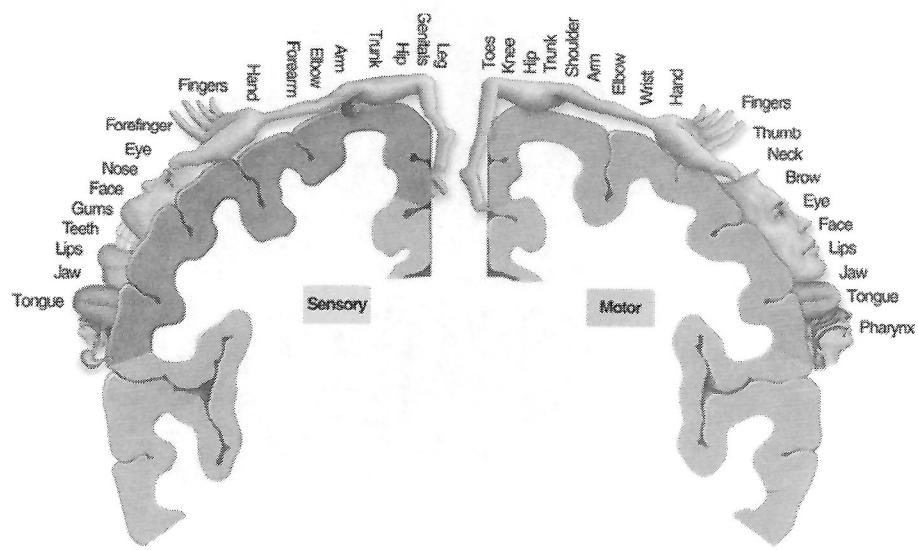
### De cerebrale cortex



51

## Het cerebrum bij de mens

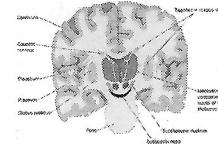
### De cerebrale cortex



## Het cerebrum bij de mens

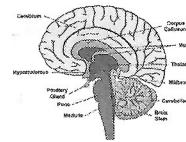
### Basale ganglia

- groepjes van neuronale cellichamen
- eilandjes van grijze stof in de witte stof van het cerebrum
- spelen rol in beweging
- zitten in motor loop: sensorische cortex – basale ganglia – thalamus – motorcortex – ruggenmerg – spiercontractie



### Thalamus

- integreert visuele, auditieve en somatosensorische informatie en stuurt die door naar cortex



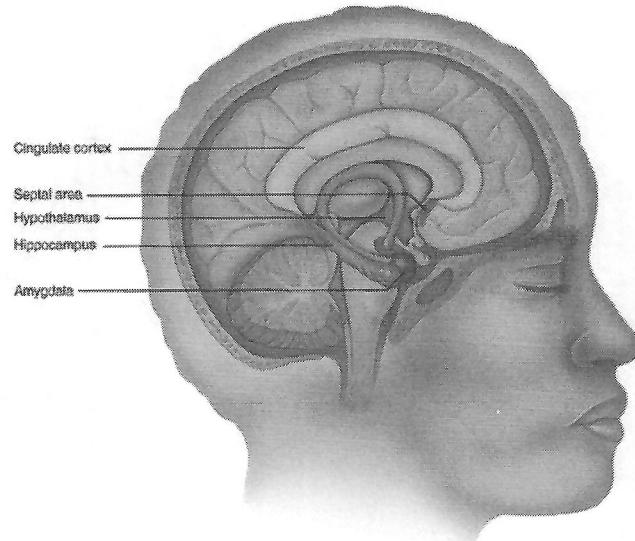
### Hypothalamus

- integreert viscerale activiteit (lichaamstemp, bloeddruk, honger, dorst, ...)
- controleert de hypofyse
- vormt **limbisch systeem**, met **hippocampus** en **amygdala**
  - verantwoordelijk voor emoties

53

## Het cerebrum bij de mens

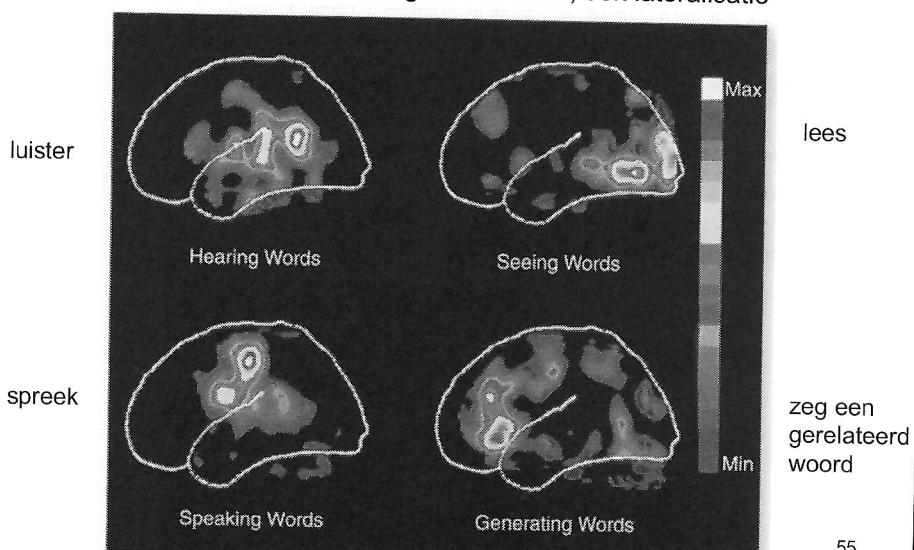
### Het limbisch systeem



54

## Complexe functies van de hersenen

Duidelijke regionalisering van functies, ook lateralisatie



## Complexe functies van de hersenen

**Taal :** linker hemisfeer is "dominant" - goed in sequentieel redeneren bvb formuleren van een zin

**Ruimtelijke herkenning :** rechter hemisfeer is goed in ruimtelijk redeneren bvb puzzels of tekeningen maken, 3D, - ook belangrijk in de context van musicale capaciteiten

### Geheugen

- zit verdeeld over de hersenen
- korte-termijn geheugen wordt opgeslagen onder de vorm van tijdelijke neuronale excitatie
- lange-termijn geheugen omvat structurele veranderingen in neurale connecties

**Ziekte van Alzheimer:** conditie waarin geheugen en denken disfunctioneel worden

- twee mogelijk oorzaken worden vooropgesteld
- 1. neuronen worden gedood 'from the outside in'
  - externe proteinen:  $\beta$ -amyloid - plaques
- 2. neuronen worden gedood 'from the inside out'
  - interne proteinen: tau ( $\tau$ )

56

## Het ruggenmerg bij de mens

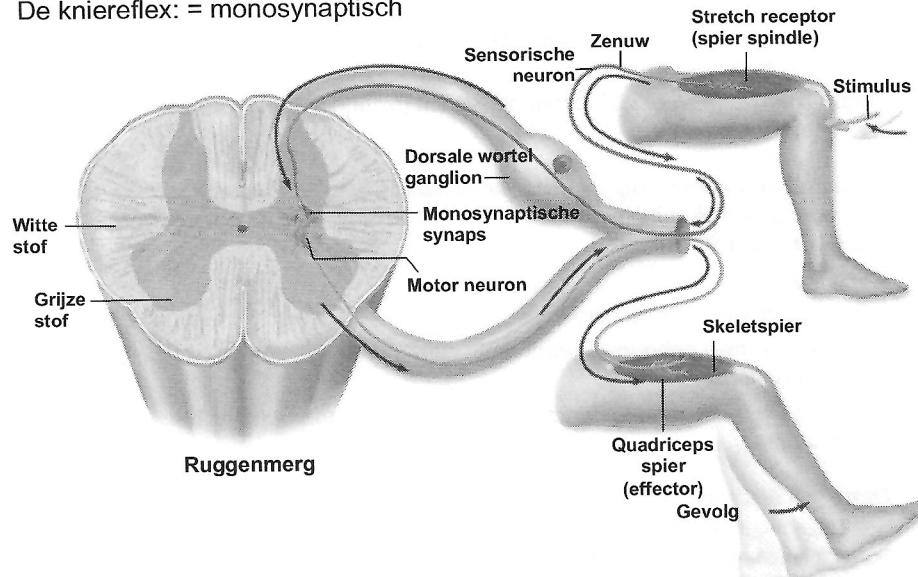
Het ruggenmerg is de kabel van neuronen vertrekkend van de hersenen en lopend doorheen de hele wervelkolom (= ruggengraat)

- ingesloten en beschermd door de wervels en de hersenvliezen (meninges)
- bestaat uit grijze stof (cellichamen, dendrieten, glia) en witte stof (sensorische en motorische axonen)
- is informatiesnelweg tussen hersenen en rest van lichaam
- zelfstandige rol in reflexen (reactie op stimulus zonder tussenkomst van hersenen)
  - bvb de kniereflex, is monosynaptisch
  - bvb de pijnreflex, via 1 interneuron



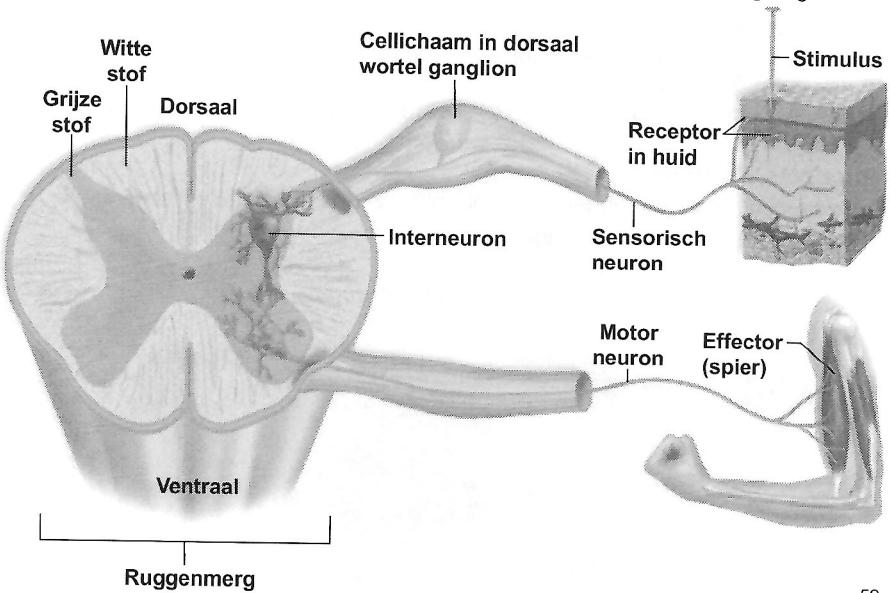
57

### De kniereflex: = monosynaptisch



58

Pijnreflex = via interneuron  
Bvb verbrande hand al wegtrekken nog voor de hersenen de pijn hebben geregistreerd

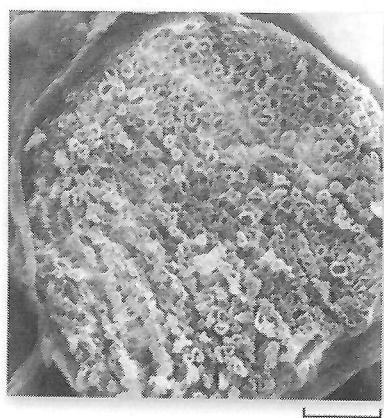


59

## Het perifeer zenuwstelsel

Het PZS omvat zenuwen en ganglia

- zenuwen zijn bundels van axonen ingebed in bindweefsel
- ganglia zijn groepjes van cellichamen van neuronen



60

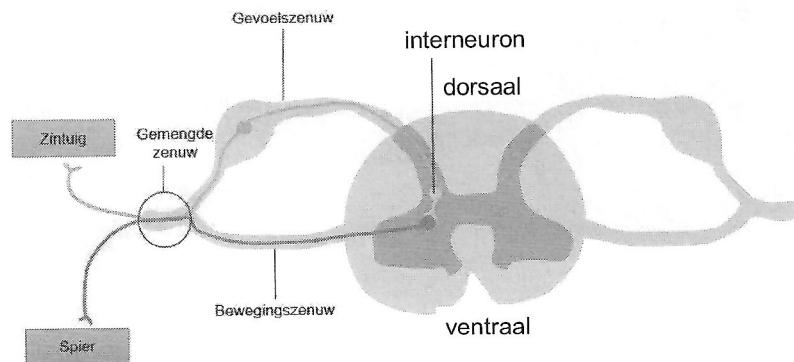
## Het perifeer zenuwstelsel

### Sensorische neuronen:

- axonen treden binnen via de dorsale hoorn en vormen zo de dorsale wortel van het ruggemerg
- cellichamen zijn gegroepeerd buiten het ruggemerg in **de dorsale wortel ganglia**

### Motorische neuronen:

- axonen verlaten het ruggemerg ventraal en vormen zo **de ventrale wortel**
- cellichamen liggen in het ruggemerg



## Het perifeer zenuwstelsel

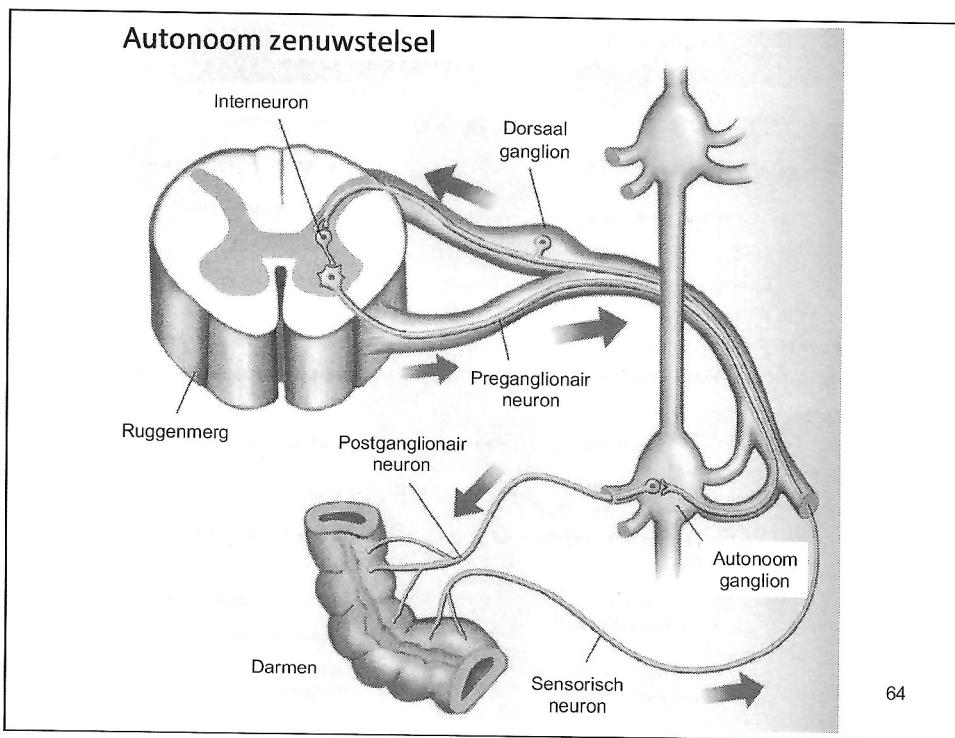
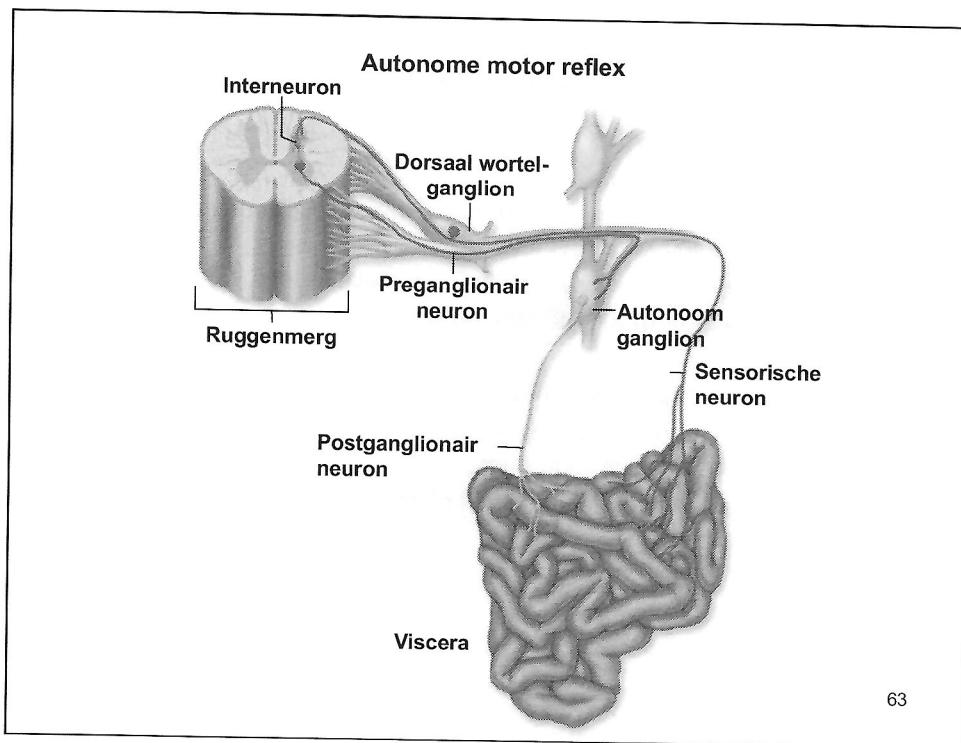
### Somatisch zenuwstelsel:

- onder controle van onze wil
- innervatie skeletspieren

– Noot: verschillende spieren werken soms agonistisch, soms antagonistisch: de antagonist van de spier wordt geinhibeerd door hyperpolarisatie (IPSPs) van spinale motoneuronen

### Vegetatief of autonoom zenuwstelsel:

- niet onder controle van onze wil
- innervatie gladde spieren, hartspier, klieren
- in te delen in sympathisch (fight or flight) en parasympatisch (rust) ZS
  - in beide bestaat de efferente motorbaan uit 2 neuronen:
    - een **preganglionair neuron**: vertrekt in het CZS en maakt synaps in een autonoom ganglion
    - een **postganglionair neuron**: verlaat het ganglion en reguleert viscerale effectoren = gladde of hartspier of klieren



## Het autonoom zenuwstelsel

### Sympatisch zenuwstelsel

- cellichamen van preganglionaire neuronen liggen in de thoracale en lumbale regio van het ruggemerg
- meeste axonen maken synaps in 2 parallelle ketens van ganglia net buiten het ruggemerg (de spinale ganglia)

### Parasympathetisch zenuwstelsel

- cellichamen van preganglionaire neuronen liggen in de hersenen en de sacrale regio van het ruggemerg
- axonen eindigen in ganglia dichtbij of zelfs in de interne organen

65

