

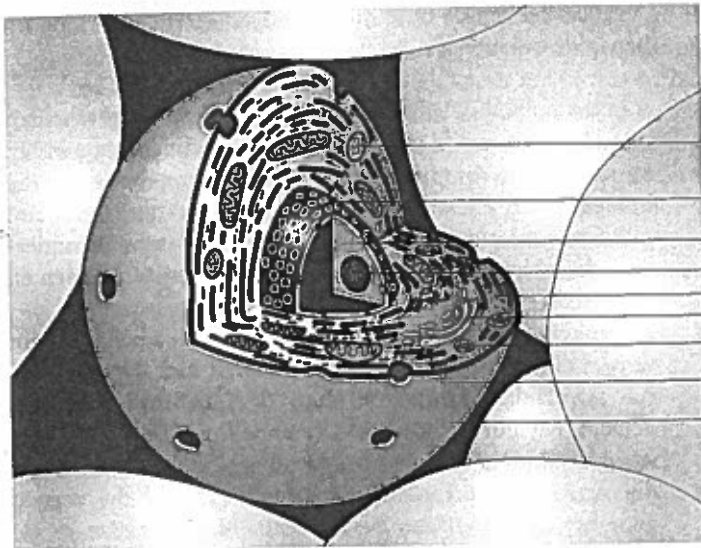
Fysiologie en anatomie
Bastiaansen, C.A.
ISBN/EAN 9789031346844
Hoofdstuk 1.4.

1.4 DE FUNDAMENTELE EENHEID VAN HET LICHAAM: DE CEL

Zoals reeds eerder is vermeld, vormt de cel de kleinste fundamentele eenheid van leven, zowel wat bouw en structuur als wat werking en functie betreft. Het is de kleinste levende bouwsteen van het menselijk lichaam. De leer van de cel wordt *cytologie* genoemd.

1.4.1 Bouw en functie van cellen

Een cel bestaat uit een hoeveelheid stroperige vloeistof: het *protoplasma*, waarin zich de levensprocessen afspelen. Het protoplasma is een halfvloeibare colloïde oplossing die bestaat uit water waarin organische en anorganische stoffen zijn opgelost. Aan de buitenzijde van het protoplasma bevindt zich het celmembraan (plasmamembraan). In de cel bevindt zich meestal een min of meer bolvormige *kern*. Het



Afbeelding 1.2 Schema van een cel (bron: Schellekens, *Bouwstenen van de erfelijkheid*)

mitochondrium
 kernmembraan
 kern
 nucleolus
 ribosomen
 Golgi-systeem
 lysosoom
 endoplasmatisch reticulum
 celmembraan

protoplasma buiten, de kern wordt het *cytoplasma* genoemd. Het bestaat vooral uit water (75%) met daarin opgelost zouten, eiwitten, koolhydraten en vetten. De eiwitten hebben onder andere belangrijke enzymfuncties.

Behalve de reeds genoemde onderdelen bevat de cel een groot aantal bestanddelen, de zogenaamde organellen. *Organellen* zijn celstructuren met een bepaalde functie: werkplaatsen van de cel. Hieronder volgt een bespreking van de bouw en functie van de belangrijkste organellen (afb. 1.2 en 1.3).

- *Celmembraan*; dit is opgebouwd uit eiwitten en lipiden. Het bezit soms uitstulpingen: microvilli (borstelzoo) (afb. 3.22). Het is semipermeabel (half doorlatend), beter gezegd: selectief permeabel, dat wil zeggen voor sommige stoffen niet doorlatend, voor andere wel. Het zorgt voor de regeling van de actieve en passieve opname van stoffen vanuit het milieu van de cel. Het leefmilieu van de cel is het waterige milieu rondom de lichaamscellen met ongeveer constante samenstelling: het weefselvocht (andere benamingen daarvoor zijn interstitieel vocht, intern milieu, weefselvloeistof en intercellulaire vloeistof).
- *Kern* (nucleus); deze is omgeven door het kernmembraan dat het kernplasma (nucleoplasma) omsluit. Het kernmembraan is een dubbelmembraan met poriën, waardoor direct contact mogelijk is tussen de kern en het cytoplasma. In het *kernplasma* (protoplasma van de

kern) bevinden zich het chromatine en één of meer *kernlichaampjes* (*nucleoli*). Het *chromatine*, bestaande uit eiwitten en DNA, is een fijnkorrelige structuur, die zich gemakkelijk laat kleuren. Bij kerndeling ontstaan uit het chromatine de *chromosomen*. De celkern is de drager van de erfelijke potentie: de *genen*. Doordat de genen uiteindelijk bepalen welke eiwitten en dus ook welke enzymen er in het cytoplasma ontstaan, vervult de kern in de cel de functie van regulator van de levensverrichtingen, dat wil zeggen van de stofwisseling in de organellen, bijvoorbeeld de synthese van eiwitten (o.a. enzymen) en de verbranding.

De kern speelt ook een belangrijke rol bij de celdeling, doordat celdeling wordt voorafgegaan door kerndeling.

- *Endoplasmatisch reticulum* (ER); dit is een gesloten netwerk van dubbelmembranen, dat een voortzetting is van het eveneens uit twee lagen bestaande kernmembraan. Wanneer zich aan de buitenzijde van het ER ribosomen bevinden spreekt men van ruw ER. De ribosomen komen ook vrij in het cytoplasma voor. Het zijn bolvormige tot ovaalvormige structuren (diameter 15-20 nm) die betrokken zijn bij de eiwitsynthese. Het inwendige kanaalsysteem van het ER dient voor het transport van eiwitten die op het oppervlak zijn gesynthetiseerd.
- *Golgi-apparaat*; dit is opgebouwd uit een groot aantal door membranen omgeven holten. Het zorgt voor de



Afbeelding 1.3 Een cel, elektronenmicroscopisch (vergroting 20 000 x)

- 1 en 7 celkern
- 2 kernmembraan
- 3 celmembraan
- 4 Golgi-apparaat
- 5 glad endoplasmatisch reticulum (glad ER)
- 6 mitochondriën
- 7 celkern
- 8 lysosoom
- 9 ruw endoplastisch reticulum (ruw ER)

secretie van o.a. eiwitten en slijm.

- **Lysosomen**; dit zijn bolvormige organellen (diameter ongeveer 0,5 µm) ontstaan uit het Golgi-apparaat. Onder normale omstandigheden zorgen ze voor de intracellulaire vertering van stoffen. Ze bezitten een aantal enzymen die in staat zijn om normale celbestanddelen te

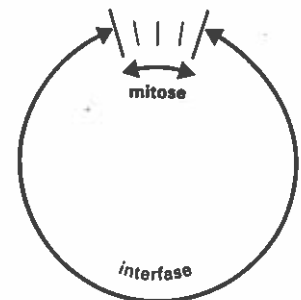
splitsen, waardoor de cel wordt gelyseerd (opgelost). In een levende cel bezitten de lysosomen aan de buitenzijde een beschermend membraan. Wordt dit membraan vernietigd door bijvoorbeeld sterke zuren of gifstoffen, dan treedt onmiddellijk autolyse op, hetgeen neerkomt op zelfvernietiging van de cel. Er is ook een direct verband tussen het verouderingsproces van de cel en het aantal lysosomen. Naarmate de cellen ouder worden, neemt ook het aantal lysosomen toe.

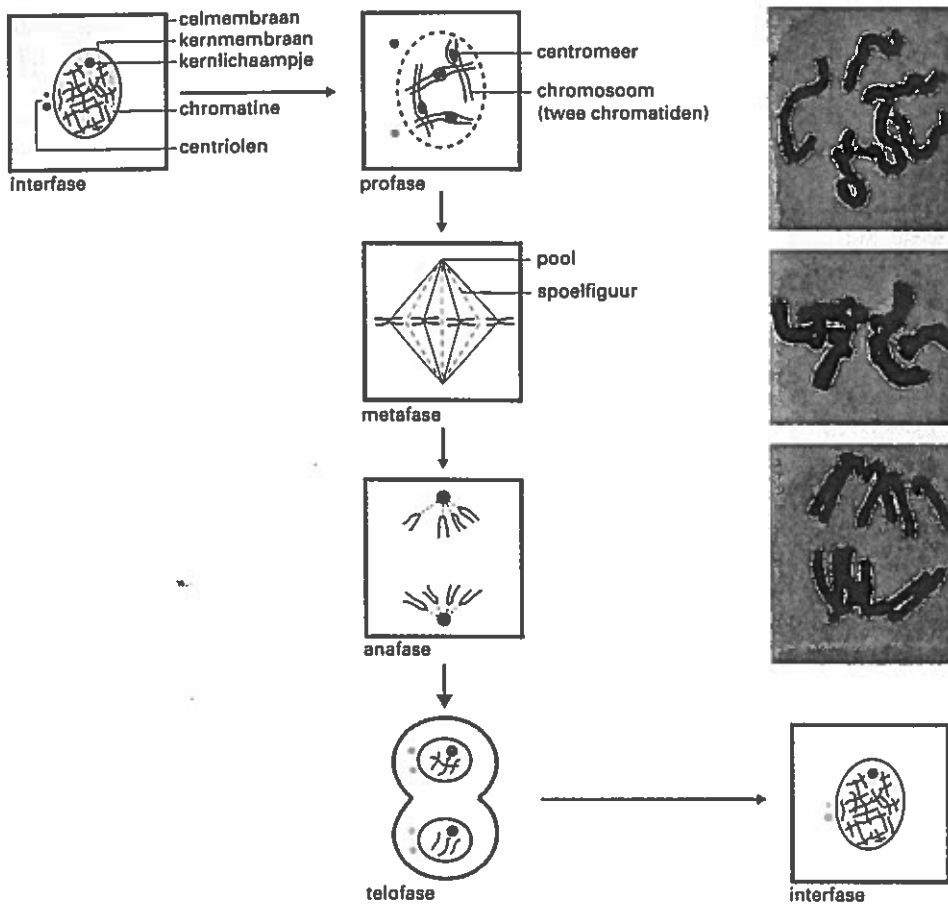
- **Pinocytoseblaasjes**; dit zijn instulpingen van het celmembraan; ze worden ook wel celmondjes genoemd omdat ze zorgen voor de opname van vloeistoffen.
- **Mitochondriën**; het zijn bolvormige tot langgerekte organellen, opgebouwd uit een dubbelmembraan waarvan het binnenste vele plooien (cristae) bezit. Hierin spelen zich de oxidatieprocessen af; ze kunnen daarom beschouwd worden als de energiecentrales van de cel.
- **Centrosoom**; dit organel speelt een belangrijke rol bij de celdeling, doordat het de 'polen' vormt. Een centrosoom is opgebouwd uit twee *centriolen*.
- **Ciliën en flagellen**; dit zijn celaanhangsels die bij vele cellen voorkomen, bijvoorbeeld de ciliën (trilhaartjes) van de epiteelcellen in de luchtpijp die zorgen voor het transport van slijm en de flagellen (zweepdraden) van zaadcellen die zorgen voor de voortbeweging van deze cellen.

1.4.2 Celdeling

Het menselijk lichaam ontwikkelt zich door deling en groei vanuit de *bevruchte eicel* (zygote). Bij deling van een cel ontstaan dochtercellen die vrijwel identiek zijn aan de moedercel. Iedere celdeling wordt voorafgegaan door een kerndeling. Bij zich delende cellen kan men een celcyclus onderscheiden die in twee stadia kan worden onderverdeeld, namelijk de interfase en de mitose (afb. 1.4).

Afbeelding 1.4
Schema van de celcyclus





Afbeelding 1.5 Schema van de mitose en microfoto's van profase, metafase en anafase

Onder *mitose* verstaat men de celdeling waarbij uit één cel twee genetisch identieke dochtercellen ontstaan die hetzelfde aantal chromosomen bezitten als de moedercel. De mitose, ook wel somatische celdeling of 'gewone' celdeling genoemd, duurt afhankelijk van het celtype en milieuomstandigheden 1-2 uur.

De *interfase* is het stadium tussen twee op elkaar volgende mitosen. De chromosomen zijn dan gedespiraaliseerd tot lange dunne draden: het chromatine. De duur van de interfase is erg variabel, afhankelijk van het celtype en de milieuomstandigheden. Hij duurt in ieder geval vele malen langer dan de mitose zelf, bijvoorbeeld 30 uur.

Tijdens de interfase vinden achtereenvolgens plaats: celdeling, verdubbeling van de chromosomen (replicatie, afb. 1.10) en een directe voorbereiding op de mitose. Tijdens de interfase zijn de chromosomen microscopisch niet waarneembaar.

Mitose

De mitose kan men globaal verdelen in vier fasen (afb. 1.5).

- *Profase*; de chromosomen worden zichtbaar doordat de draden van het chromatine zich sterk spiralisieren (condenseren); ieder chromosoom is reeds 'verdubbeld' (tijdens de interfase) en bestaat uit twee *chromatiden*

(*dochterchromosomen*). De beide centrosomen (centriolen) komen verder van elkaar te liggen en begeven zich naar de polen. Het kernmembraan en de kernlichaampjes, die tijdens de interfase nog wel zichtbaar zijn, verdwijnen.

- *Metafase*; de chromosomen zijn inmiddels nog korter en dikker geworden. In het cytoplasma is een spoelvormige figuur van fijne draden ontstaan, de zogenaamde *kernspoel*. De chromosomen zijn inmiddels in het midden van de cel, het *equatorvlak*, aangekomen. De beide chromatiden van een chromosoom zitten nog aan elkaar vast door middel van het centromeer, een klein, niet kleurbaar en nog ongedeeld lichaampje. Een gedeelte van de spoeldraden (de trekdraden) is er aan bevestigd.
- *Anafase*; de centromeren delen zich en de twee chromatiden van ieder chromosoom worden door de trekdraden naar de *polen (centrosomen)* getrokken. De zelfstandige chromatiden worden vanaf dit moment weer chromosomen genoemd.
- *Telofase*; wanneer de chromosomen bij de polen zijn aangekomen, gaan ze zich despiraliseren, waarbij ze weer lang, dun en steeds minder duidelijk worden. Er wordt een kernmembraan gevormd en de kernlichaampjes worden weer zichtbaar. Er volgt dan een insnoering op de plaats waar zich het equatorvlak bevindt.

Na de telofase gaan vele cellen zich specialiseren waardoor ze nooit meer aan een volgende celdeling toekomen.

Bij witte bloedcellen is een celdeling waargenomen waarbij het cytoplasma en de kern snel in tweeën worden gedeeld zonder dat er chromosomen zichtbaar worden. De cel strekt zich hierbij uit tot een halter die in het midden slijt. Men spreekt dan van *amitose*. Ook degenererende of abnormale weefselcellen (tumorcellen) kunnen zich soms amitotisch delen. Bij de amitose treedt waarschijnlijk geen splitsing van chromosomen op.

Meiose of reductiedeling

In de meeste cellen van het menselijk lichaam komen 23 paar chromosomen voor; men noemt zulke cellen diploïd. Dit is ook het geval bij de cellen waaruit de voortplantingscellen (gameten) ontstaan. De celdeling bij de vorming van deze gameten geschiedt anders dan bij de mitose. Hij wordt

meiose of reductiedeling genoemd omdat bij deze celdeling het aantal chromosomen per nieuw gevormde kern met de helft wordt verminderd. De gameten hebben van ieder chromosomenpaar slechts de helft. Men noemt deze cellen *haploïd*, hetgeen wordt aangeduid met de letter n ($= 23$). Wanneer de mannelijke en de vrouwelijke gameet met elkaar versmelten, zal de kern van de bevruchte eicel (zygote) weer het normale aantal chromosomen bevatten: diploïd ($2n$) = 23 paar. Door de meiose blijft derhalve het aantal chromosomen bij de geslachtelijke voortplanting constant.

De meiose omvat twee delingsprocessen, kortweg meiose I en meiose II genoemd (afb. 1.6).

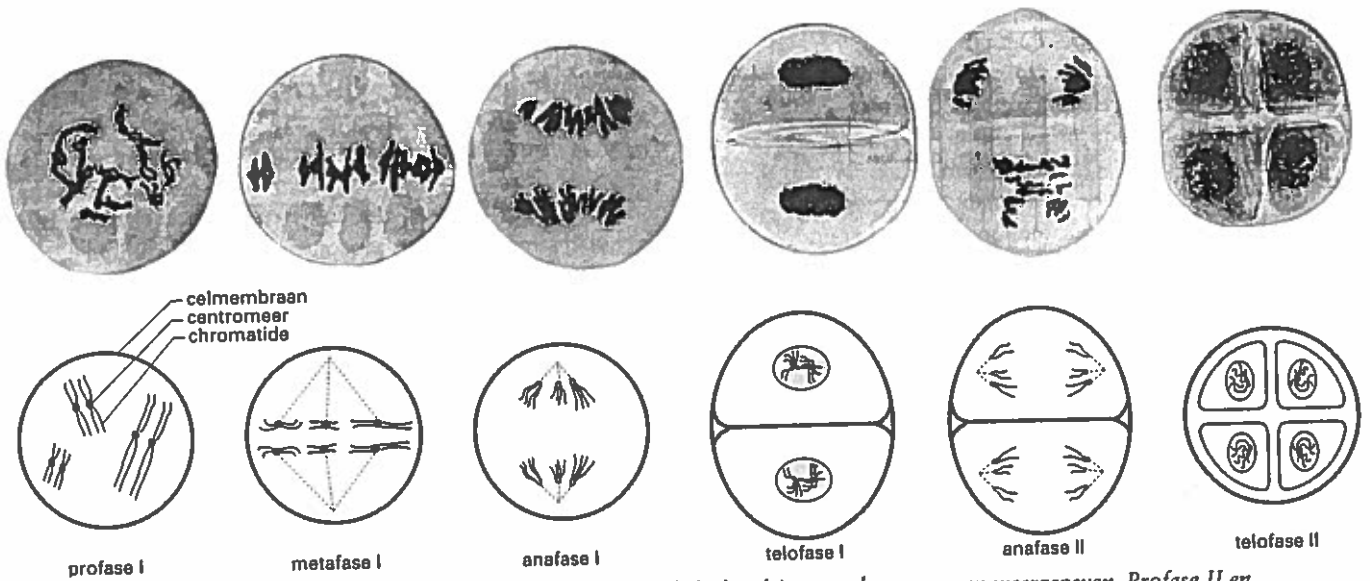
Meiose I

Hierbij onderscheidt men de volgende fasen:

- *profase I*; deze duurt veel langer dan de profase in de mitose. De chromosomen bestaan aanvankelijk ieder nog uit twee chromatiden zoals bij de mitose. De *homologe chromosomen* (de twee op elkaar gelijkende chromosomen van één paar) gaan naar elkaar toe en gaan 'paren', waarbij ze korter en dikker worden. Daarna beginnen de homologe chromosomen elkaar af te stoten; op bepaalde plaatsen blijven ze echter nog bij elkaar: de chiasmata. De chromosomen worden nog korter; kernmembraan en kernlichaampjes verdwijnen en de kernspoel wordt zichtbaar;
- *metafase I*; de chromosomen rangschikken zich in het equatorvlak; de centromeren delen zich niet;
- *anafase I*; de scheiding van de homologe chromosomen wordt nu voltooid; de chromosomen, ieder bestaande uit twee chromatiden, begeven zich naar de polen;
- *telofase I*; de chromosomen komen bij de polen. Er wordt een kernmembraan gevormd en tevens een celmembraan, waardoor er twee cellen zijn ontstaan. De kernen hebben dus ieder slechts de helft van het aantal chromosomen van de moedercel waaruit ze zijn ontstaan. In de meiose I vindt derhalve de reductie plaats.

Meiose II

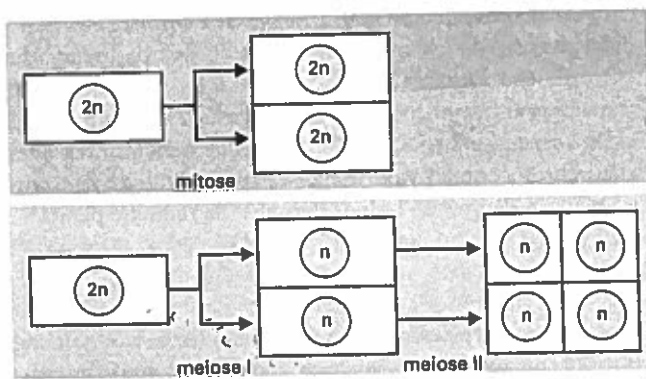
Deze deling kan beschouwd worden als een gewone deling (mitose). Er wordt een nieuwe spoelfiguur gevormd die loodrecht op de eerste staat. De centromeren delen zich nu,



Afbeelding 1.6 Meiose. In de afbeeldingen zijn voor de duidelijkheid slechts drie paar chromosomen weergegeven. Profase II en Metafase II zijn niet afgebeeld

waardoor de chromatiden, die nu weer chromosomen genoemd worden, zich naar de polen begeven. Er zijn ten slotte vier kernen ontstaan, de zogenaamde *tetradefiguur*. Iedere kern is haploïd. Als het cytoplasma zich heeft gedeeld zijn er, na differentiatie, vier individuele gameten ontstaan. Bij de *spermatogenese* (vorming van zaadcellen) levert iedere moedercel vier functionele zaadcellen. Bij de *oögenese* (vorming van eicellen) blijft er echter slechts één functionele

eicel over die zeer veel cytoplasma (reservevoedsel) bevat. Gedurende de meiose I krijgt één van de dochterkernen vrijwel al het cytoplasma, terwijl de andere kern als zogenaamd *poollichaampje* degenereert. Gedurende de meiose II wordt opnieuw een poollichaampje gevormd, waardoor uiteindelijk één grote eicel overblijft (afb. 12.3). In afb. 1.7 is een schematisch overzicht van de mitose en de meiose weergegeven.



Afbeelding 1.7 Schematisch overzicht van mitose en meiose