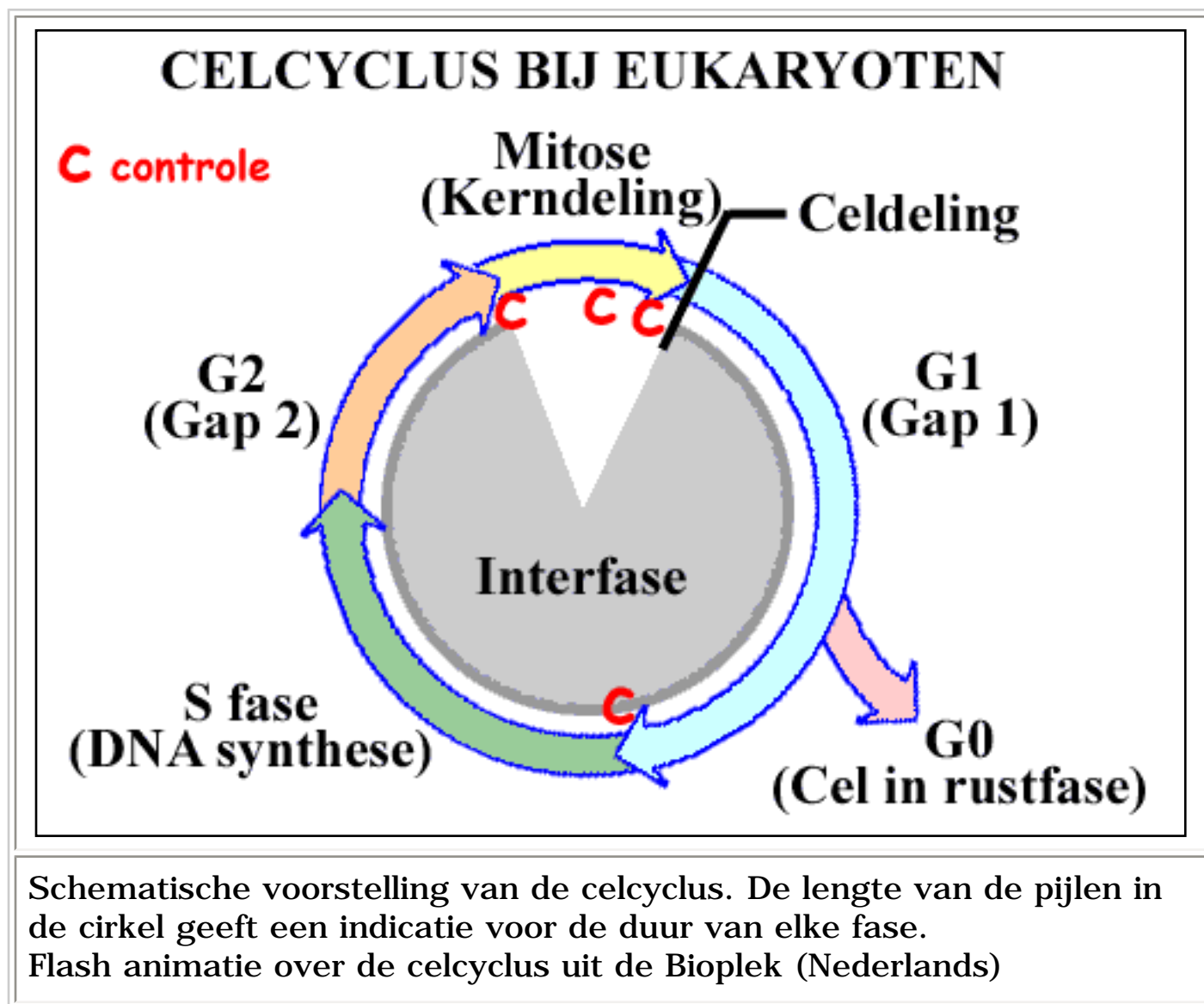


Inleiding over de celcyclus (Universiteit Nijmegen)

De celcyclus berust op een afwisseling van opeenvolgende deling- en groeifasen. Het verloop van de celcyclus kan onderverdeeld worden in een aantal fasen:



Mitotische delingsfase: M- en C-fase

In de eigenlijke delingsfase (**M-fase** van mitose) ontstaat er een dochtercel identiek aan de moedercel. De kernmembraan verdwijnt aan het begin van mitose en het -verdubbeld- erfelijke materiaal wordt gelijk verdeeld over de dochterkernen. De mitotische deling omvat slechts een ronde. Gedurende de cytokinese (**C-fase**) worden het cytosol en de organellen gescheiden over de dochtercellen. De cytokinese wordt soms ook wel beschouwd als onderdeel van de mitose.

Interfase: G1-, S- en G2-fase

In de interfase vindt de meeste celgroei en kernactiviteit plaats. De interfase bestaat uit de **G1-fase** (G van het Engels gap = kloof), de **S-fase** (S= synthese) en de **G2-fase**.

- De G1-fase is de periode tussen mitose en DNA-replicatie. Gedurende G-1 vindt **cytoplasmagroei** plaats en bereidt de cel zich voor op de volgende stap (synthese) door enzymen aan te maken; hierbij worden de dochtercellen net zo groot als de moedercel. De chromosomen zijn draadvormig en niet zichtbaar. Vooral de G1-fase bepaalt de duur van een celcyclus. Cellen in weefsel dat zich snel ontwikkelt hebben dus een korte G1-fase.
- De S-fase is de periode waarin DNA-replicatie (**synthese**) plaatsvindt en daarmee verdubbeling van het genoom optreedt.
- De G2-fase is de periode tussen DNA-replicatie en mitose. In deze fase vindt snelle **controle** van het gerepliceerde DNA plaats en voorbereiding op de eigenlijke deling.

Uitgangsfasen: G0-fase en meiose

Cellen kunnen de mitotische cyclus vanuit de G1 fase voor de volgende twee toestanden verlaten:

- Op de eerste plaats kunnen ze in een rustfase, de zogenaamde **G0 fase**, terechtkomen, waarbij een variabele mate van differentiatie optreedt. Men kan onderscheid maken tussen voorlopercellen (die op termijn nog wel kunnen delen of verder differentieren) en uitgedifferentieerde cellen (zoals spier- of zenuwcellen).
- Op de tweede plaats kunnen sommige cellen tot **meiose** (= reductiedeling) overgaan waarbij voortplantingscellen (gameten en sporen) gevormd worden en genetische variatie ontstaat over generaties en tussen individuen van een populatie. Deze speciale celdeling komt dan in de plaats van de mitose.

Opdracht: probeer in de doorsnede door een worteltop van de ui, hier rechts afgebeeld (zoom), cellen uit de drie fasen aan te wijzen:

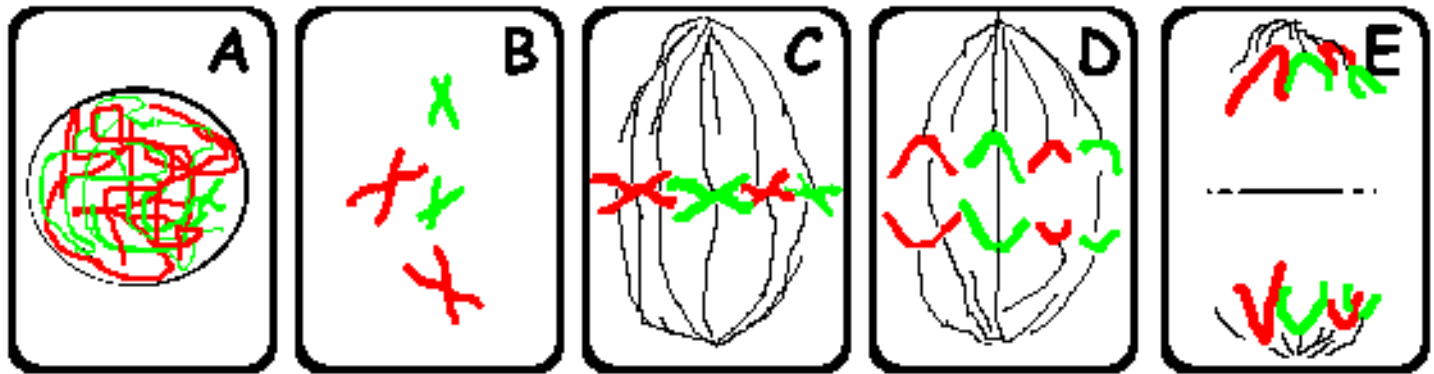
- * delende cellen
- * cellen in interfase
- * gedifferentieerde cellen



Mitose: functie en stadia

Functie van de mitose

De mitose is de celdeling waarmee dochtercellen worden gevormd ten behoeve van groei, regeneratie (herstel) of ongeslachtelijke voortplanting. Na mitose en celdeling bevatten de dochtercellen precies dezelfde informatie voor erfelijke eigenschappen als de moedercel (ze zijn genetisch identiek).



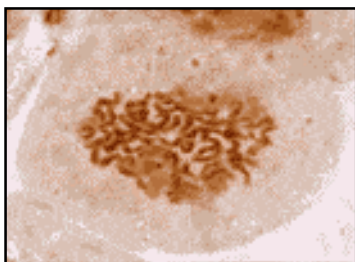
Schematisch: voor een diploide moedercel (bijv. lichaamscellen van de mens)

$$2n \longrightarrow 2n + 2n$$

of, als de moedercel haploid was

$$n \longrightarrow n + n$$

Mitose binnen de celcyclus



Binnen de celcyclus volgt de mitose op de G2-fase van de interfase. Het DNA is dan gedupliceerd en gecontroleerd. Aan het begin van de mitose verdwijnt de kernmembraan en condenserende de chromosomen sterk door zich meermaals spiraalsgewijs op te rollen rond vele eiwitmoleculen. Door hun compacte configuratie zijn de chromosomen makkelijker over de dochterkernen te verdelen dan wanneer ze ongespiraliseerd zouden blijven. (Afzonderlijke gecondenseerde chromosomen kunnen goed zichtbaar gemaakt worden onder de microscoop. Foto's van mitose in een *Solanacea* uit de uitgebreide collectie van de Botanische Tuin van de Universiteit Nijmegen; onderzoek van Dilixiati Hasimu).

Stadia van de mitose

De mitose is een continu proces dat meestal een aantal uren in beslag neemt. Desalniettemin kunnen een aantal stappen onderscheiden worden. De meest belangrijke stadia van mitotische kerndeling en cytokinese zijn:

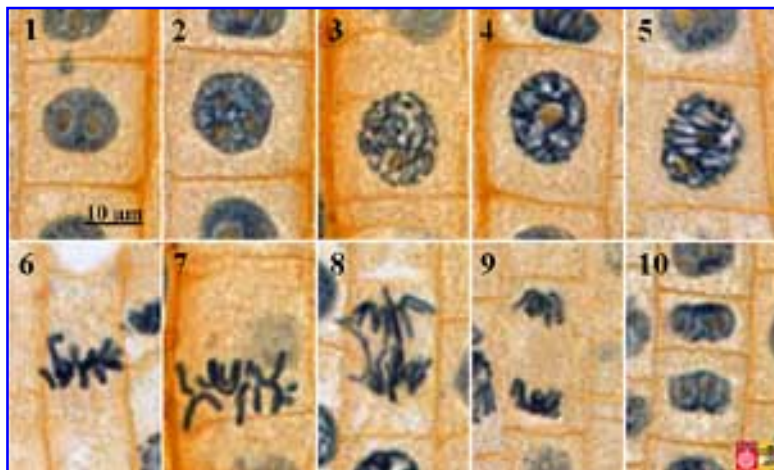


Fig. 1. Mitose en celdeling in worteltopcellen van een ui. (Klik op plaatje voor een zoom)

Voorbeelden van stadia: 1. interfase. 2 interfase / beginnende profase. 3 vroege profase. 4 profase midden. 5 late profase. 6 metafase. 7 vroege anafase. 8 anafase. 9 vroege telofase. 10 late telofase / cytokinese

1. **Profase** (pro = voor): de voorbereidingsfase. De chromosomen beginnen te spiraliseren en de kernmembraan en de kernlichaampjes (nucleoli = plek in de kern actief in de synthese van ribosomen) verdwijnen. De centrosomen (kernlichaampjes bestaande elk uit een paar centriolen; komen alleen voor in dierlijke cellen) die in de G₂-fase verdubbeld zijn gaan uiteen. Alle chromosomen worden zichtbaar en bestaan nu uit twee chromatiden die op het centromeer nog aan elkaar vastzitten. (Microfoto van de vroege profase, mid profase en late profase in *Bellevalia*)
2. **Metafase** (meta = midden): de middenfase. In de metafase zijn de chromosomen volledig gespiraliseerd en komen in een vlak in het midden van de cel (equatoriaalvlak; zie foto in boven- en zijaanzicht bij een nachtschadige) te liggen. Er ontstaat een spoelfiguur van microtubuli (draadvormige structuren bestaande uit tubuline polymeren) van pool tot pool (vanuit de centriolen bij diieren) en van pool tot centromeer. (Microfoto van de prometafase, metafase en late metafase in *Bellevalia*)
3. **Anafase** (ana = opwaarts): de verdelingsfase. Van elk chromosoom worden de twee chromatiden die via de kinetochoor (= een gespecialiseerd gebied in het centromeer) aan de microtubuli gehecht zijn uit elkaar getrokken richting tegenoverliggende polen. Elk losse chromatide wordt vanaf nu weer als chromosoom beschouwd. (Microfoto van de vroege anafase en mid anafase in *Bellevalia*)
4. **Telofase** (telos = eind): de eindfase. Dit is de afrondingsfase van de kerndeling. De spoelfiguur verdwijnt, de chromosomen despiraliseren, er ontstaat een nieuw kernmembraan en de nieuwe kernlichaampjes (nucleoli) worden zichtbaar (Microfoto van de vroege telofase en telofase in *Bellevalia*)
5. **Cytokinese** (kytos = leeg vat = cell + kinesis = beweging): de verzelfstandiging van de twee dochtercellen. Gedurende de cytokinese (voorbeeld in *Bellavia*), die op de eigenlijke mitose aansluit wordt het cytoplasma van de twee dochtercellen via een tussenmembraan (en in planten ook een tussen wand) gescheiden. De scheiding van de twee nieuwe cellen gebeurt door insnoering van de celmembraan (bij dieren) of door vorming en groei van een celplaat (voorbeeld in *Solanum* sp.) vanuit de ruimte tussen de twee kernen naar de celrand toe (bij planten). Een restant van de spoelfiguur (fragmoplast) is soms betrokken bij de aanhechting van deze nieuwe celwand.

Filmpjes en animaties over mitotische deling

Flash animatie van mitose op de Bioplek (nederlandstalig).

Shockwave animatie van mitose in een dierlijke cel (Mc Graw-Hill Higher Education).

IWF filmpje over mitose en cytokinese in een dierlijke cel; microscopische opnamen van een niercel van de rat kangoeroe

IWF filmpje over mitose en cytokinese in een plantencel; microscopische opnamen van een meeldraadhaar van *Tradescantia*

Filmpjes, 3D-aanzichten, kleuringen over mitose en cytoskelet-spoeldraden van het Salmon Lab (Mitosis World)

Fase contrast microscopie film van mitose en celplaatvorming in endosperm cellen van *Haemanthus katherinae* (Inoue and colleagues) (7,5 MB)

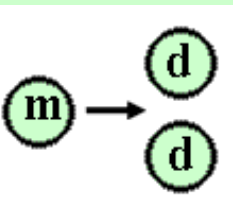
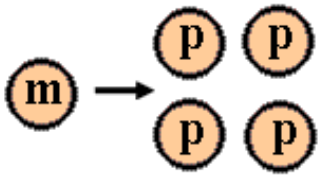
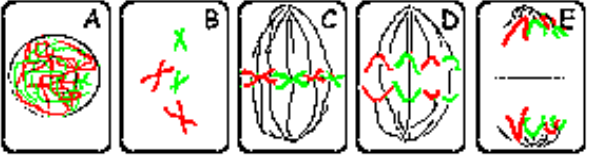
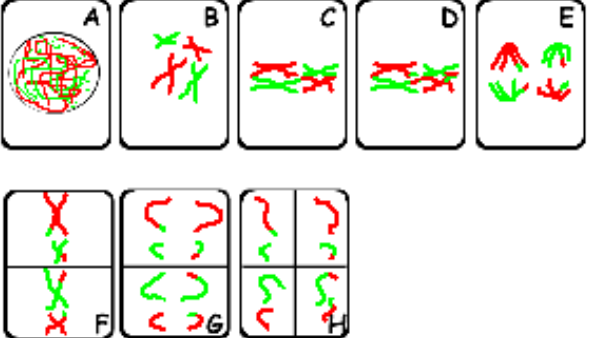
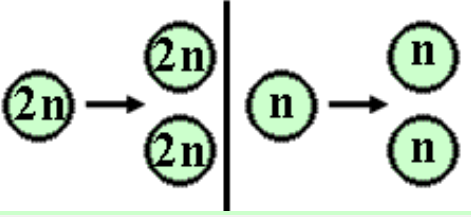
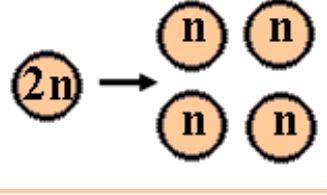
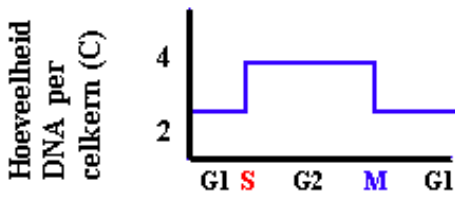
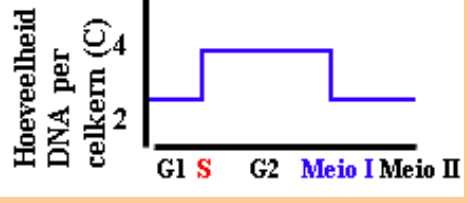

<http://www-vcbio.sci.kun.nl/virtuallessons/mitostage/>

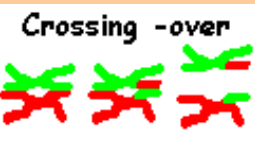
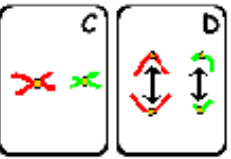
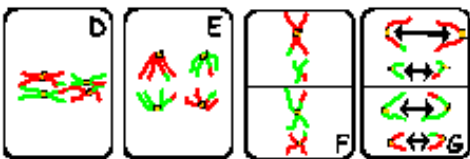
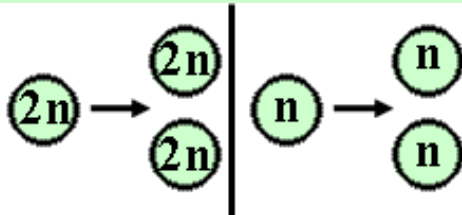
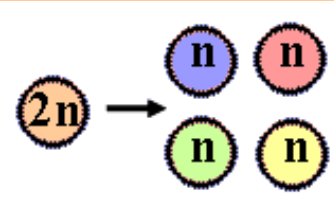
latest update: 04 Sep 2003

Normal version

Verschillen tussen mitose en meiose

Bekijk animaties en filmpjes over -het verschil tussen- mitose en meiose.

MITOSE		MEIOSE	
In lichaamscellen		In geslachtscellen	
Een enkele deling (hieronder A-E) van de moedercel (m) resulteert in twee dochtercellen (d)		Twee delingen (hieronder: meiose I in A-E en meiose II in F-H) van de moedercel (meiocyot; m) resulteren in vier meiose producten (p)	
			
Een mitotische moedercel kan of haploid of diploid zijn		Een meiotische moedercel (meiocyot) is altijd diploid	
Het aantal chromosomen per kern blijft gehandhaafd na deling	Diploid (= 2n) blijft 2n Haploid (= 1n) blijft 1 n	De meioseproducten, itt de 2 n moedercel, bevatten het haploid (n) chromosomenaantal	Van 2n naar n
Aan elke celdeling gaat een S-fase vooraf waarin de hoeveelheid DNA verdubbelt	Voorbeeld voor een diploide moedercel: 	Alleen aan meiose I gaat een S-fase vooraf	
Normaal geen paring van homologe chromosomen	x	Volledige paring van alle homologe chromosomen tijdens profase I	

<p>Normaal <i>geen</i> uitwisseling van DNA (crossing-over) tussen de chromosomen</p>	<p>x</p>	<p>Minstens een crossing-over per homolog chromosomenpaar</p>	<p>Crossing -over</p> 
<p>De centromeren worden tijdens de mitotische anafase (in D) gesplitst</p>		<p>De centromeren worden <i>niet</i> tijdens anafase I (in E), maar <i>wel</i> tijdens anafase II gesplitst (in G)</p>	
<p>Conservatief proces: het genotype van de dochtercellen is <i>identiek</i> aan die van de moedercellen</p>		<p>Meioseproducten verschillen genotypisch van de moedercel (bevordering van variatie in het nageslacht)</p>	

Het belangrijkste verschil tussen mitose en meiose is wel dat de producten van de mitose genetisch identiek zijn aan de moedercel, terwijl de producten van meiose ten opzichte van hun ouders en ook onderling genetisch verschillen! Bij de mitotische metafase, anders dan bij de metafase I van de meiose, treedt geen paring van de homologe chromosomen op, aangezien dit voor de mitose overbodig en ook niet wenselijk is (waarom?). Verder gaan bij de anafase van de mitose de chromatiden uit elkaar, terwijl bij de anafase I van de meiose I de homologe chromosomen van elkaar gescheiden worden. In de metafase II gaan vervolgens de chromatiden wel uit elkaar.

<http://www.sci.kun.nl//virtuallessons/cellcycle/mitomeio/>

latest update: 03 Sep 2003

Normal version