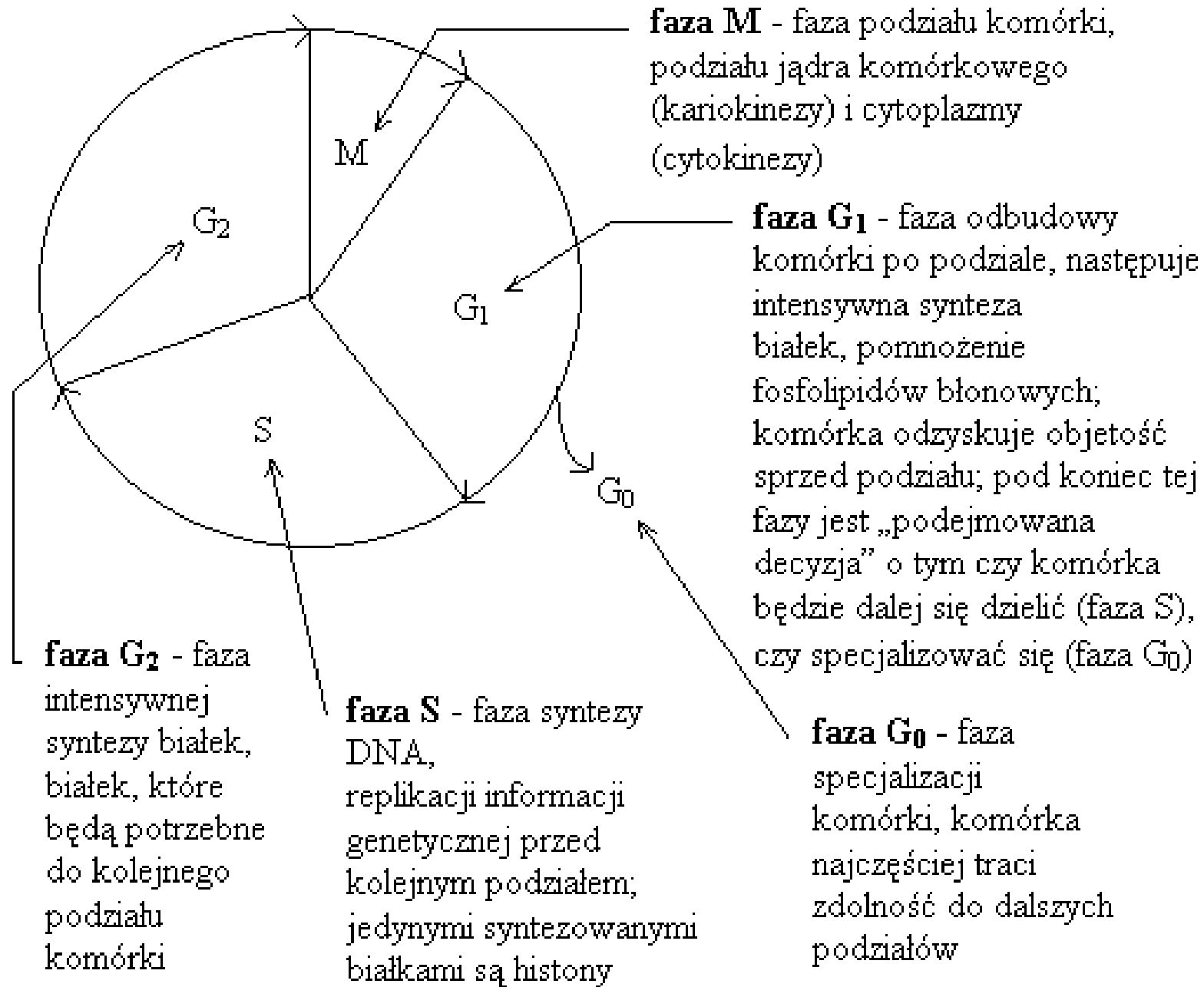


Przebieg cyklu komórkowego.
Mitoza, mejoza i apoptoza –
przebieg i znaczenie

Każda komórka powstaje z już istniejącej komórki. Nowe komórki powstają więc z podziału innych, tzw. komórek macierzystych. Po powstaniu komórki rosną, zwiększając swoją objętość, a po osiągnięciu pewnych rozmiarów... dzielą się, znowu stając się komórkami macierzystymi. W świecie komórkowym jest możliwy jeszcze inny scenariusz. Osiągając pewne rozmiary komórka przestaje rosnąć, przechodzi modyfikacje umożliwiające spełnianie określonych funkcji, czyli różnicuje się. Zdolność do podziałów może utracić bezpowrotnie (np. komórki mięśni szkieletowych czy erytrocyty) lub w miarę potrzeb odzyskiwać ją (np. komórki nabłonków).

Cykl życiowy komórki, od podziału do podziału, nazywamy **cyklem komórkowym**. Trwa on, w zależności od typu komórki, od kilku do około 20 godzin. Oczywiście od tej zasady są odstępstwa. Zygoty zwierząt posiadają zdolność szybkich podziałów, mniej więcej co godzinę. Na cykl komórkowy składają się: podział komórki (**kariokineza i cytokineza**) oraz okres międzypodziałowy - **interfaza** (faza G_1 , S i G_2).



Przebieg i znaczenie biologiczne mitozy

<https://www.youtube.com/watch?v=s7iNPdV0uF0>

Mitoza jest podziałem charakterystycznym dla **komórek somatycznych**, tzn. komórek budujących ciało danego organizmu. Polega na podziale komórki macierzystej na dwie komórki potomne o identycznej (pod względem jakości i ilości) informacji genetycznej względem komórki macierzystej.

Znaczenie biologiczne mitozy

Podział komórkowy, w którym powstają komórki identyczne pod względem informacji genetycznej może być wykorzystany:

- w procesie rozmnażania bezpłciowego wegetatywnego, np. podział komórki pierwotniaków
- w fazie wzrostu organizmu, kiedy to w szybkim tempie przybywa nowych komórek
- w procesie regeneracji, gdy organizm uzupełnia ubytki po zniszczonych komórkach komórkami nowymi

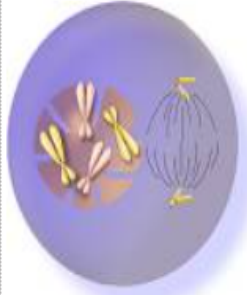
Przebieg mitozy

• **kariokineza** (podział jądra komórkowego) - podzielona (umownie!) na cztery fazy:

- profazę
- metafazę
- anafazę
- telofazę

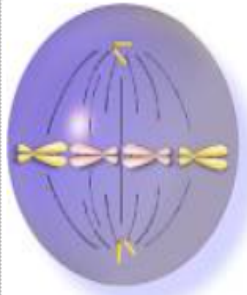
• **cytokineza** (podział cytoplazmy).

kariokineza:



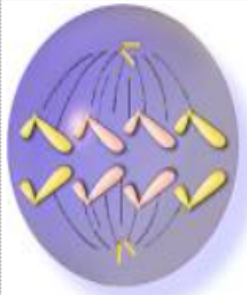
profaza:

- 2.1. stają się widoczne chromosomy, które powstały z silnie skręconej chromatyny
- 2.2. chromosomy składają się z dwóch połówek - chromatyd
- 2.3. zanika jąderko
- 2.4. na terenie cytoplazmy organizuje się wrzeciono podziałowe (w komórkach zwierzęcych uczestniczą w tym centriole)
- 2.5. zanika błona jądrowa



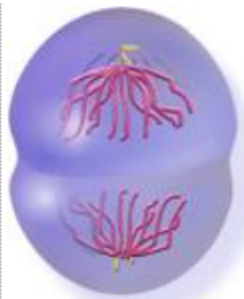
metafaza:

- 2.1. uwolnione z jądra komórkowego chromosomy przemieszczają się w rejon równika wrzeciona podziałowego
- 2.2. centromery leżą w płaszczyźnie równika, a w tym miejscu do chromosomów przyczepione są włókna wrzeciona
- 2.3. centromery pękają



anafaza:

- 2.1. włókna wrzeciona kurczą się
- 2.2. chromatydy, czyli od tego momentu chromosomy potomne, wędrują ku biegunom wrzeciona



telofaza:

- 2.1. chromosomy potomne rozkręcają się tworząc znów chromatynę
- 2.2. odtwarzają się jąderka
- 2.3. wokół każdego ze skupień chromatyny odtwarza się błona jądrowa

cytokineza:



podział cytoplazmy, który prowadzi do powstania dwóch komórek potomnych, zaczyna się już pod koniec telofazy; przebiega odmiennie w komórkach roślinnych i zwierzęcych

Spróbuj wyobrazić sobie magazyn, który ma za zadanie zaopatrzyć dwa sklepy w różnych częściach miasta. Właśnie przyszła nowa dostawa towaru (to replikacja - towar to oczywiście DNA). Towar jest pakowany (profaza - tworzą się chromosomy), porządkowany - gdzie dana partia powędruje (metafaza - chromosomy porządkowane są na równiku wrzeciona podziałowego), transportowany w dwie różne strony miasta (anafaza - transport chromosomów potomnych ku biegunom wrzeciona) i rozpakowywany w każdym z obu sklepów (telofaza - despiralizacja chromosomów w jądrach komórek potomnych).

No cóż, dodajmy, że w świecie komórkowym po tej operacji "magazyn" przestaje istnieć.

Mejoza jako redukcyjny podział jądra komórkowego

<https://www.youtube.com/watch?v=a3akV1PWL8I>

Mejoza jest podziałem prowadzącym do redukcji materiału genetycznego w jądrach komórkowych czterech komórek potomnych. Podział ten poprzedza powstawanie gamet (u zwierząt) lub powstawanie zarodników (u roślin, większości glonów i grzybów). W trakcie mejozy **diploidalne** - **2n** - komórki macierzyste ulegają podziałowi na **haploidalne** - **1n** - komórki potomne, gdzie **n** oznacza liczbę chromosomów.

2n	->	1n
komórki macierzyste gamet (komórki pregeneratywne)	->	gamety (komórki generatywne)
komórki macierzyste zarodników (komórki archeosporialne)	->	zarodniki (spory)

Znaczenie mejozy

Mejoza zapewnia stałą liczbę chromosomów w kolejnych pokoleniach organizmów, które rozmnażają się płciowo. Choć jej miejsce w cyklach życiowych różnych grup organizmów jest odmienne, zapobiega podwajaniu informacji genetycznej w czasie łączenia komórek biorących udział w procesie płciowym.

Gdyby nie następował ten typ podziału przed powstaniem gamet, kolejne pokolenia miałyby zawsze dwa razy więcej chromosomów niż pokolenie rodzicielskie. Człowiek jest organizmem diploidalnym, tzn. że każda komórka somatyczna zawiera po dwa chromosomy danego typu, tzw. **chromosomy homologiczne**. Takich chromosomów mamy w naszych komórkach 23 pary, czyli w każdej komórce somatycznej jest 46 chromosomów.

Wyobraź sobie teraz, że przy powstawaniu gamet nie zaszła mejoza. W czasie zapłodnienia łączyłyby się komórki zawierające po 23 pary chromosomów - powstałaby zygota mająca 46 par chromosomów, a z niej organizm, który w każdej komórce miałby właśnie 46 par chromosomów. W następnym pokoleniu znów nastąpiłoby podwojenie informacji genetycznej - nowopowstały organizm miałby już 92 pary chromosomów, następny - 184 itd. Dlatego powstawanie gamet poprzedza redukcja informacji genetycznej i nasze gamety zawierają tylko po jednym chromosomie z danej pary, czyli 23 chromosomy, a nie jak w komórkach somatycznych 46.

Mejoza prowadzi do **zrekombinowania** (przemieszania informacji genetycznej) dzięki procesowi **crossing - over** i losowemu rozejściu się chromosomów w czasie podziału.

Przebieg mejozy

Mejoza składa się z dwóch podziałów.

I podział - redukcyjny (= mejoza I, = podział heterotypowy)

kariokineza (poprzedzona replikacją podczas interfazy w fazie S):

- profaza I
- metafaza I
- anafaza I
- telofaza I

• **cytokineza** - nie zawsze zachodzi pomiędzy podziałami

•

II podział - typu mitotycznego (= mejoza II, = podział homotypowy)

kariokineza (nie poprzedza jej replikacja informacji genetycznej):

- profaza II
- metafaza II
- anafaza II
- telofaza II

• **cytokineza** - prowadzi do powstania czterech odrębnych komórek.

Przebieg mejozy

I podział

kariokineza:



profaza I (jest bardzo długa i dzieli się na pięć stadiów):

2.1. chromosomy spiralizują z chromatyny, mają postać długich cienkich nici

2.2. chromosomy homologiczne (zawierające informację na ten sam temat, ale niekoniecznie tę samą) łączą się w pary, jest to koniugacja chromosomów; tworzy się biwalent, czyli zespół dwóch chromosomów homologicznych

2.3. chromosomy dalej spiralizują, są teraz grube i wyraźnie widać w każdym z nich chromatydę,

- tworzy się tetrada, czyli zespół czterech chromatyd, czyli dwa podwojone chromosomy

- chromatydy zaplatają się

- w miejscu "styku" chromatydy mogą pękać i następuje wtedy wymiana homologicznych odcinków DNA - proces

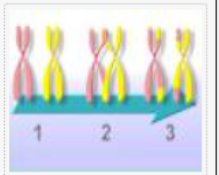


crossing - over

który jest absolutnie losowym zdarzeniem, nie zachodzi we wszystkich chromosomach i nigdy nie wiadomo, w którym miejscu chromosomu nastąpi

2.4. zmienione chromosomy rozsuwają się

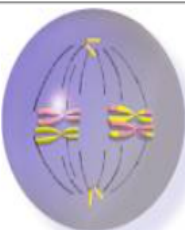
2.5. następuje krótkotrwały spoczynek jądra





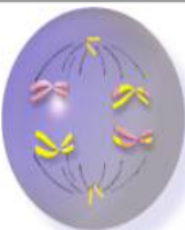
w trakcie profazy I:

- 2.1. na terenie cytoplazmy tworzy się wrzeciono podziałowe
- 2.2. zanika jąderko
- 2.3. zanika błona jądrowa



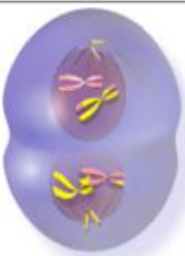
metafaza I:

- 2.1. pary chromosomów homologicznych (tetrazy) układają się na równiku wrzeciona podziałowego
- 2.2. ponieważ włókna wrzeciona podziałowego przyłączone są tylko do jednej z chromatyd w każdym chromosomie, centromery **nie pękają** podczas kurczenia się włókien wrzeciona



anafaza I:

- 2.1. ku biegunom wrzeciona wędrują całe chromosomy (zbudowane z dwóch chromatyd) - po jednym z pary homologicznej



telofaza I:

- 2.1. odtwarzają się dwa jądra potomne: powstają jąderka i błona jądrowa, natomiast chromosomy nie rozkręcają się
- 2.2. nowopowstałe jądra komórkowe zawierają połowę chromosomów, ale są one podwojone - składają się z dwóch chromatyd każdy

cytokineza: podział cytoplazmy jest możliwy, nastąpiłby wtedy podział na dwie komórki, ale nie zawsze zachodzi

II podział	
kariokineza (zachodzi równolegle w dwóch komórkach):	profaza II: 2.1. chromosomy grubieją 2.2. zanika błona jądrowa i jąderko 2.3. na terenie cytoplazmy tworzy się wrzeciono podziałowe
	metafaza II: 2.1. na równiku wrzeciona układają się chromosomy 2.2. włókna wrzeciona przyczepiają się do centromerów każdej chromatydy w chromosomie 2.3. centromery pękają na skutek kurczenia się włókien wrzeciona
	anafaza II: 2.1. chromatydy, czyli chromosomy potomne wędrują ku biegunom wrzeciona
	telofaza II: 2.1. odtwarzane są cztery jądra potomne: chromosomy rozkręcają się do postaci chromatyny, pojawiają się jąderka i błony jądrowe 2.2. nowe jądra komórkowe zawierają teraz połowę pojedynczych chromosomów
cytokineza:	podział cytoplazmy zajdzie teraz na pewno

Porównanie mitozy i mejozy

mitoza

zachodzi w komórkach somatycznych

powstają dwie komórki

komórki potomne nie różnią się informacją genetyczną od siebie i od komórki macierzystej

zachodzi podczas rozmnażania bezpłciowego, wzrostu i regeneracji organizmu

jeden podział

każdy podział przebiega według tego samego "scenariusza" - kariokineza dzieli się na cztery fazy, potem zwykle następuje cytokineza

mejoza

zachodzi w komórkach macierzystych gamet lub zarodników

powstają cztery komórki

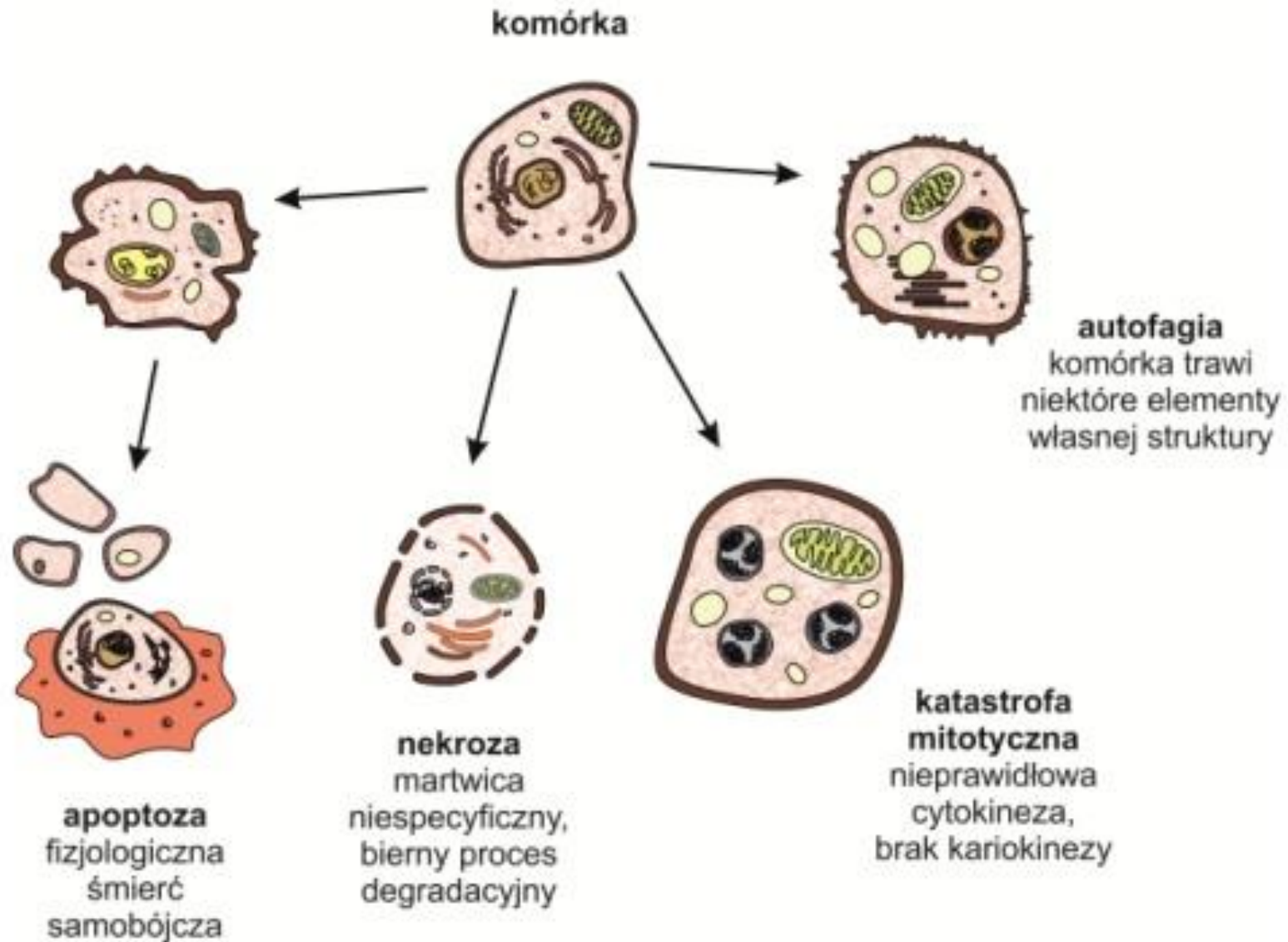
komórki potomne mają o połowę mniej informacji genetycznej, może ona być różna pod względem jakości (crossing - over)

zachodzi podczas rozmnażania płciowego - powstają gamety lub bezpłciowego - powstają zarodniki

dwa podziały

	różnice w przebiegu poszczególnych faz:	
mitoza	mejoza I	mejoza II
	profaza	
krótka	długa, następuje koniugacja chromosomów homologicznych, rekombinacja materiału genetycznego	krótka, chromosomy są wyodrębnione po telofazie I
	metafaza	
na równiku wrzeciona układają się chromosomy złożone z dwóch chromatyd, włókna wrzeciona przyczepiają się do każdej z chromatyd w centromerze; centromery pękają	na równiku wrzeciona układają się pary chromosomów, każdy utworzony z dwóch chromatyd, włókna wrzeciona przyczepiają się do jednej z chromatyd w każdym chromosomie; centromery nie pękają	na równiku wrzeciona układają się chromosomy złożone z dwóch chromatyd, włókna wrzeciona przyczepiają się do każdej z chromatyd w centromerze; centromery pękają
	anafaza	
do biegunów wrzeciona rozchodzą się chromatydy, czyli chromosomy potomne	do biegunów wrzeciona rozchodzą się całe, podwójne chromosomy, po jednym z pary homologicznej	do biegunów wrzeciona rozchodzą się chromatydy, czyli chromosomy potomne
	telofaza	
powstają dwa jądra potomne o niezmienionej informacji genetycznej, każda komórka ma taką samą liczbę pojedynczych chromosomów jak komórka macierzysta przed replikacją	powstają dwa jądra potomne o zmniejszonej o połowę liczbie chromosomów, ale chromosomy są podwójne - składają się z dwóch chromatyd każdy	powstają cztery jądra potomne o zmniejszonej o połowę liczbie chromosomów, ale chromosomy są pojedyncze, czyli komórki potomne mają połowę pojedynczych chromosomów w stosunku do komórki macierzystej przed replikacją

Apoptoza to regulowana genetycznie, zaprogramowana śmierć komórki. Umożliwia ona między innymi likwidację uszkodzonych komórek oraz odpowiednie formowanie narządów i części ciała.



Apoptoza jest niezbędna do zachowania homeostazy tkankowej. Jej biologiczna rola polega na eliminowaniu zużytych i uszkodzonych komórek, które mogłyby być szkodliwe dla organizmu. Do samobójczej śmierci zdolna jest większość komórek, jednak łatwość z jaką wchodzi ona na drogę apoptozy zależy od ich typu i stopnia rozwoju. Proces ten zaobserwowano zarówno podczas embriogenezy (kształtowanie układu nerwowego ssaków, tworzenie komórek soczewki oka) jak i u organizmów dorosłych (np. segregacja dojrzewających limfocytów T w grasicy).

Zmiany zachodzące w komórce podczas apoptozy

Zmiany morfologiczne:

- zmiana symetrii błony komórkowej przy zachowaniu jej integralności;
- odwodnienie i zmiana kształtu komórki;
- kondensacja chromatyny oraz jej agregacja przy nukleoplazmie;
- tworzenie się pęcherzyków poprzez otaczanie błoną komórkową fragmentującej cytoplazmy