

23. A mitokondrium

Az eukarióta szervezetek energiatermelő és átalakító szervei a mitokondriumok és a plasztiszok. A növények plasztiszokat és mitokondriumokat is tartalmaznak. Az állati sejtek csak mitokondriumokkal rendelkeznek.

A mitokondriumok alakja változatos gömbölyű vagy pálcikaszerű. Átmérője 0,5-1,0 μm , hosszuk több μm . Egy eukarióta sejtben számuk átlagosan 1000-2000, összterületük elérheti a sejt ötödét. Kémiai összetétel szempontjából a mitokondrium lipideket, fehérjéket, szénhidrátokat és nukleinsavakat tartalmaz. A nukleinsav tartalom utal arra, hogy a mitokondrium eredete prokarióta gyökerekből származtatható (vö.: endoszimbionta elmélet).

A mitokondriumokat két membrán borítja egy külső és egy belső. A két membrán közötti teret *külső kamrának*, a belső membrán által közrezárt teret *belső kamrának* nevezzük. A belső kamrát betöltő folyadékot a mitokondrium alapállományának, *matrixnak* hívjuk. A külső és belső membrán közötti tér összetétele nem különbözik jelentősen a citoszól összetételétől. A matrix speciális összetételű, hiszen ebben történik a sejt oxidációs folyamatainak egyik szakasza a citromsav-ciklus. A belső membrán tartalmazza a sejtoxidáció utolsó szakaszának, a terminális oxidációnak enzimrendszerét.

A sejtoxidáció három fő részből áll: glikolízis, citromsav-ciklus, terminális oxidáció. A *glikolízis enzimrendszere a citoszólban, a citromsav-ciklus hatóanyagai a mitokondrium mátrixában, a terminális oxidáció elektronszállító rendszere a belső membránban található*. A sejtoxidáció célja az energiatermelés, ATP előállítás. E célnak a mitokondrium a következő módon felel meg. A redukált koenzimek ($\text{NADH} + \text{H}^+$, FADH_2) a matrix felől érkeznek a belső membránhoz, ahol elektront adnak át a membrán elektronszállító rendszerének. E rendszer az elektron továbbítása közben hidrogén ionokat juttat a matrixból a külső kamrába. E folyamatok következtében a két membrán közötti tér pH-ja csökken (H^+ -ion koncentrációja nő), a matrix pH-ja nő (H^+ -ion koncentrációja csökken). A belső membránban található egy molekulaegyüttes, az *ATP-szintetáz-komplex*, melyen keresztül a H^+ -ion áramlik a külső kamrából a matrix felé, miközben ATP-t szintetizálódik.

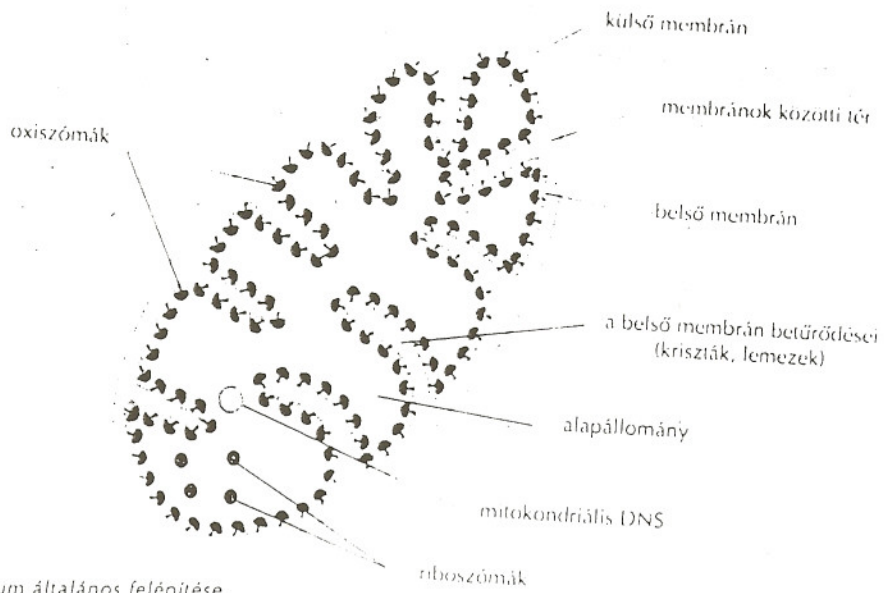
A plasztiszok szerkezete és működése jelentős hasonlóságokat mutat a mitokondrium működésével. E sejtalkotó is energiatermelő szervecske, mely a fényenergia segítségével állít elő kémiai energiát. Plasztiszok a növényekben találhatóak, ezért tárgyalásuktól eltekintünk.

A 22. ábra képei és vázlatai a mitokondrium felépítését és működését illusztrálják.

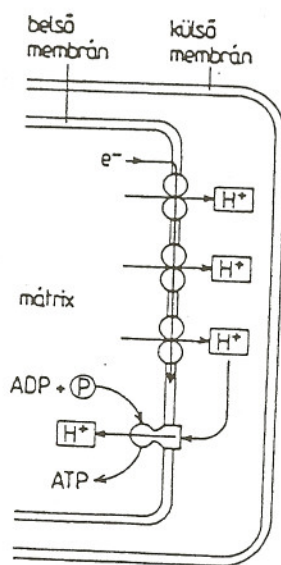
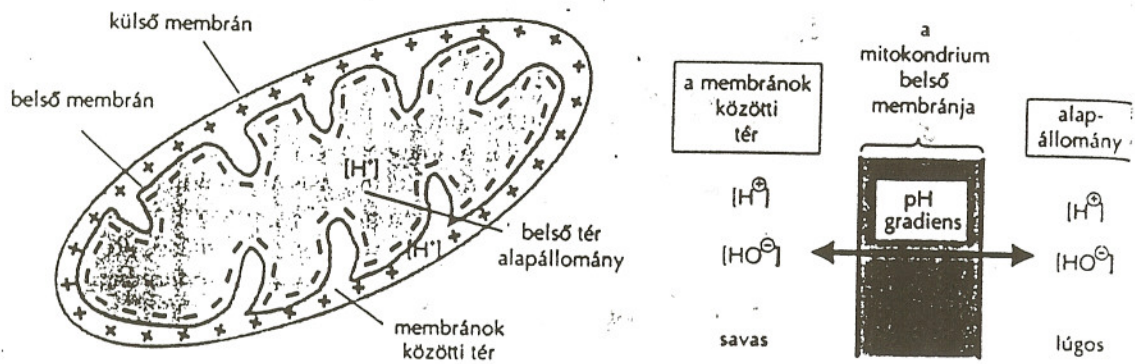
22. ábra
A mitokondrium és felépítése



A mitokondrium. Elektronmikroszkópos felvétel



A mitokondrium általános felépítése.



Elektronszállítás és protonpumpa a mitokondrium belső membránjában

24. A sejtmag

Az eukarióta sejt maghártáival körülhatárolt, *valódi sejtmagot* tartalmaz. A sejtmag maghártájából, sejtmagvacskából és alapállományból állnak. A sejtmag méretének nagyságrendje a μm . Kémiaiilag főként DNS-ből, RNS-ből és fehérjékből áll. Tartalmazza a DNS megkettőződés (replikáció) és a DNS-ről történő RNS átírás enzimrendszerét.

A *sejtmaghártya* kettős membrán, hasonlóan a plasztiszok és a mitokondrium hártájához. Külső lemeze kapcsolatban áll a DER-rel. Citoplazma felőli felszínéhez riboszómák is kapcsolódhatnak. A két membrán közötti tér (*perinukleáris tér*) kapcsolatban van az DER ciszternaival. A sejtmaghártyán *pórusok* találhatóak. Egy emlős sejt maghártáján átlagosan 3000-4000 pórus található. E pórusok fehérjékből állnak és biztosítják az ellenőrizett anyagáramlást a sejtmag és a sejt alapállománya között.

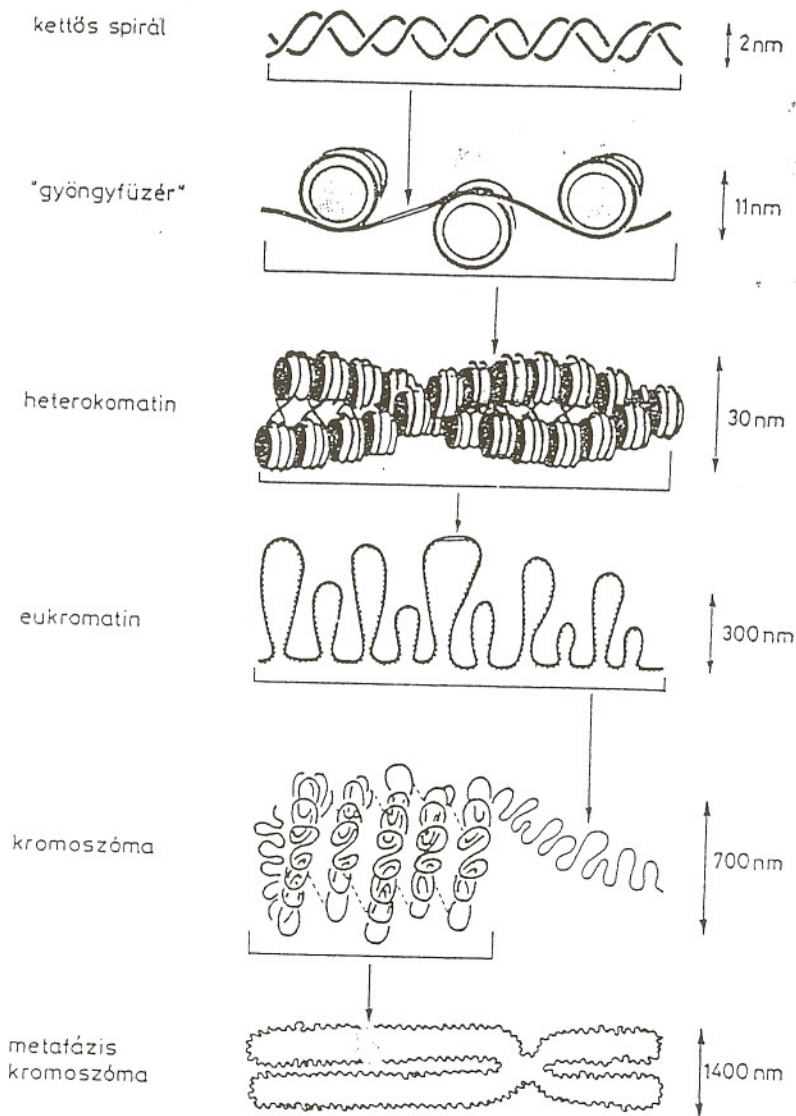
A sejtmagban található a sejt örökítőanyaga, melyet *kromatinállománynak* nevezünk. Kémiai összetétele DNS, RNS és fehérje. A kromatinállomány a sejt életének bizonyos szakaszában föltekeredik. E folyamatot segítik a *hiszton-fehérjék*. E bázikus kémhatású fehérjék több osztályba sorolhatók: *H1, H2a, H2b, H3, H4*. E hisztonok közül 2-2 db (H2a, H2b, H3, H4), azaz 8 db alkot egy orsót, melyre 146 bázispárnyi DNS tekeredik föl. Egy 54 bázispárnyi DNS-t a H1 hisztonmolekula stabilizál. E két DNSszakasz egységét *nukleoszómnak* nevezzük. A nukleoszómvá tekert örökítőanyagot további folyamatok tömörítik, míg kromoszómvá nem alakítják. E folyamat lépéseiről az ábra tájékoztat.

A föltekeredett kromatinállomány neve *kromoszóma*. A kromoszóma két hosszanti egysége a *kromatida*. A két kromatida kapcsolódási pontja az elsődleges befűződés (*centromer*). A centromer a kromoszómát *karokra* osztja. E karok *másodlagos befűződéséhez* kapcsolódnak általában az rRNS molekulák. Másodlagos befűződés nem minden kromoszómán található.

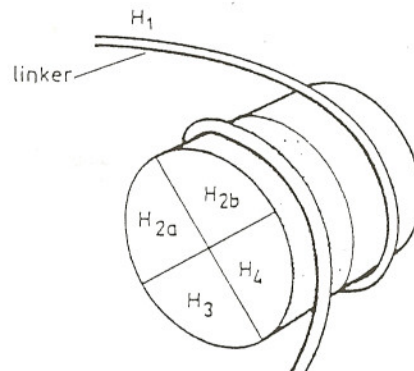
A kromoszómákat osztályozni szokták *méretük* alapján. Csoportosíthatók *alakjuk* szerint is (a centoméra helye alapján). Festési eljárások segítségével a kromoszómák *sávosan* színeződnek. Ez is elemzési szempont lehet.

Egy adott élőlény sejtjében található különböző kromoszómák sorozatát *kromoszómaszerelvénynak* (garnitúrának) nevezzük. Amennyiben egy sejtben egy kromoszómaszerelvény található, akkor *haploid*, más esetekben *diploid* (2), *triploid* (3), *tetraploid* (4), ..., *poliploid* (több) sejtekről beszélünk. Az adott sejtben található hasonló (méret, alak, festődés) kromoszómákat *homológ kromoszómáknak* nevezzük.

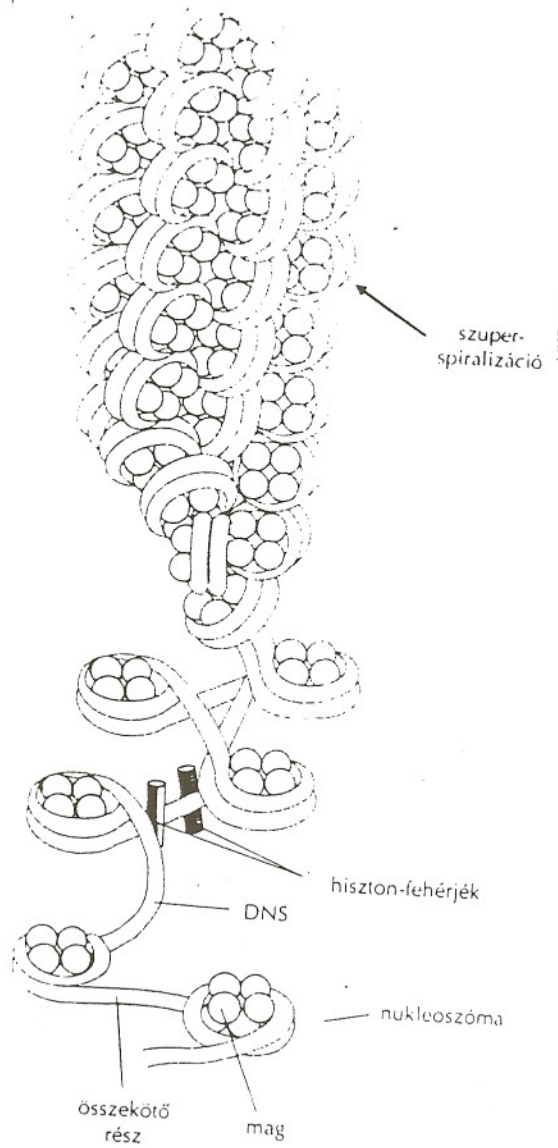
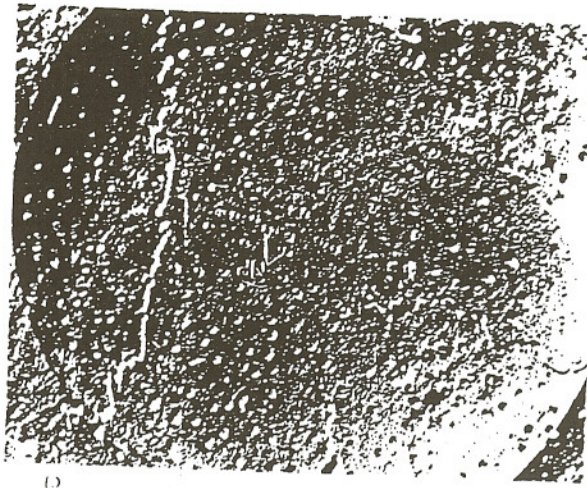
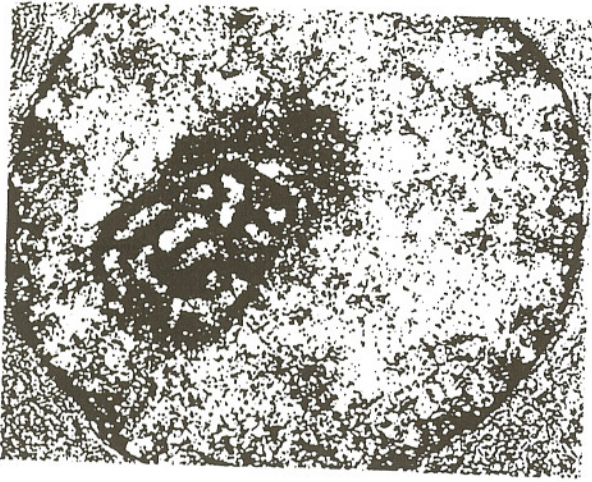
23. ábra
A genetikai állomány felépítése és szerkezete

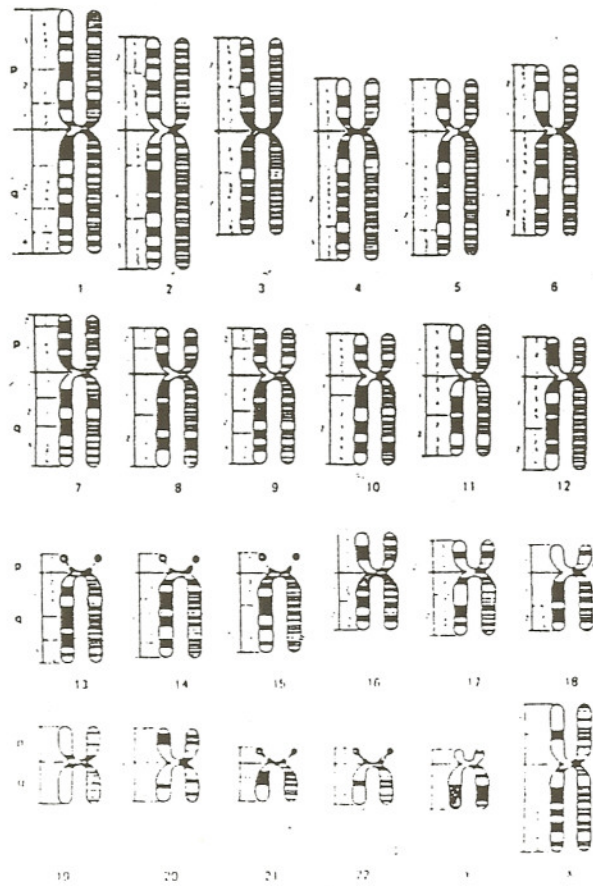
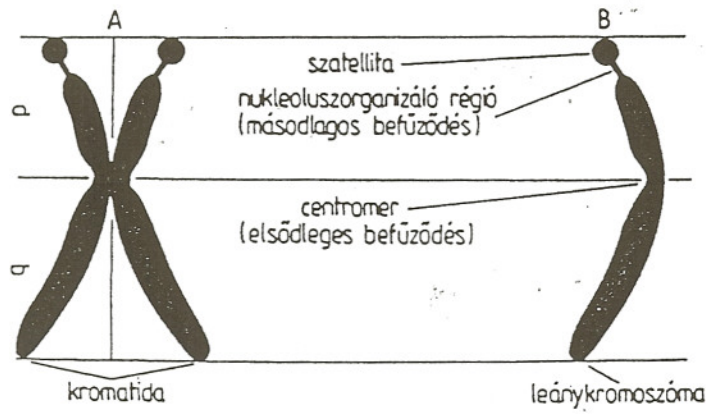


A DNS kettős spirál a nukleoszómákra rátekeredve hozza létre a gyöngyfűzérszerű struktúrát. Ez lényegében éppúgy megfelel az eukromatinnak, mint a heterokromatinnak, azzal a különbséggel, hogy a heterokromatinban a „gyöngyök” sokkal szorosabbra vannak fűzve. Az eukromatin területében van lehetőség az átírára. A kromoszómában az összehúzó pakolás még sokkal kifejezettebb, és erről átírás nem történik



A nukleoszóma hisztonoktameréből épül fel. A két hengert a H_{2a} , H_{2b} , H_3 és H_4 hisztonok alkotják, ezekre tekeredik rá a DNS kettős spirál. Ez utóbbinak két nukleoszóma között elhelyezkedő ún. linker régiójához kapcsolódik a H_1 hiszton





25. Sejtciklus

A *sejtciklus* az eukarióta osztódó sejtnél az a körfolyamata, amely a sejt DNS szintézis előtti állapotából kiindulva a DNS szintézisen és a sejtosztódáson keresztül visszatér a kiindulási szakaszba.

A sejtciklus első szakasza a *G1* (*első nyugalmi szakasz*), mely alatt DNS-szintézis nem történik. Időtartama sejtektől függő. A második szakasz, *S* (*szintetikus fázis*), melyben a sejt DNS-állománya megkettőződik. A sejtciklus teljes időtartamának 30-50%-át veszi igénybe átlagosan. A harmadik szakasz a *G2* (*második nyugalmi szakasz*), melyben a G1-hez hasonlóan DNS-szintézis nem, de fehérjészintézis és a sejt anyagcseréje folyik. Ekkor történik az osztódásra való felkészülés is. Megközelítőleg a sejtciklus idejének 10-20%-át veszi igénybe. A ciklus utolsó szakasza az *M* (*osztódási szakasz*). A sejt ekkor osztódik. Időtartama a teljes ciklus 3-10%-a. A G1, S, G2 szakaszokat együttesen interfázisnak nevezzük.

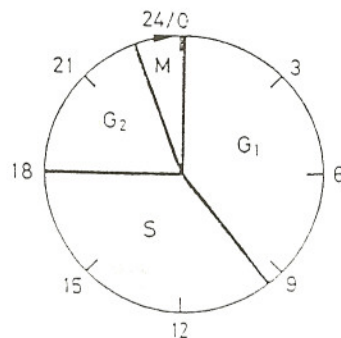
10. táblázat

A sejtciklus időtartama néhány sejtél

Sejttípus	Sejtciklus időtartama
Gyökérsejt	10-14 óra
Egér fibroblaszt	20 óra
Embriónális emberi sejt a korai időszakban	10 perc

24. ábra

A sejtciklust részei



26. A sejtosztódás

A sejtosztódás két fő folyamatra osztható a sejtmag és a sejt kettéosztódására. E két folyamat általában együtt jár, de olykor a sejtmag osztódását nem követi a sejt osztódása, ilyenkor több magvú sejtek keletkeznek. A sejtosztódás három fő típusa a *mitózis, a meiózis és az amitózis.*

A mitózis (számtartó osztódás), a leggyakoribb osztódási forma. Ennek az osztódásnak következtében az utódsejtek kromoszómaszáma nem változik meg. Testi sejtjeink többsége így keletkezik. A meiózis (számfelező osztódás) következtében a szülői sejtekhez képest fele-annyi kromoszómát tartalmazó utódsejtek keletkeznek. Így jönnek létre ivarsejtjeink. Ez az osztódás a genetikai sokféleség egyik biztosítója. Az amitózis során nem alakulnak ki fonális struktúrák, kromoszómák sem. A sejtmag osztódását követi a sejt kettéválása. A differenciált sejtek osztódása lehet. Gyakran az sejt öregedési tüneteként értékelik.

27. A mitózis

A számtartó osztódásnak négy szakasza van, melyekben a következő folyamatok zajlanak.

Profázis (előszakasz). A kromatinállomány kondenzáltsága nő, a kromoszómák rövidülnek. A sejt központ szétválik és a sejt ellentétes pólusaira vándorol. A mikrotubulusok magorsófonalakká rendeződnek. A sejtmaghártya szétesik.

Metafázis (középszakasz). A kromoszómák kondenzációja eléri a maximumot és a sejt középsíkjába rendeződnek. A magorsófonalak a kromoszómák centromerájához kapcsolódnak mindkét oldalról.

Anafázis (utószakasz). Az utódkromoszómák a középsíkból a pólusok felé mozdulnak el a magorsófonalak rövidülése (depolimerizáció) következtében. A kromatidák elválnak egymástól (utódkromoszómák).

Telofázis (végszakasz). Az utódkromoszómák a pólusokhoz érkeznek. Kondenzáltságuk csökken. Kialakul a maghártya. A citoplazma membránja lefűződik. Két új sejt alakul ki, melyeknek genetikai anyaga az anyasejtével megegyező.

28. A meiózis

A meiózis (számfelező osztódás) a mitózisnál jóval bonyolultabb folyamat, hiszen az általa létrehozott utódsejtek nem egyeznek meg az anyasejttel. Nem csupán a kromoszómaszám feleződik a meiózis során, hanem a sejt genetikai állományának összetétele is változik. A meiózis szakaszai a következők.

I. főszakasz profázis (előszakasz). A meiózis leghosszabb ideig tartó része. A kromatinállomány föltekeredik és kromoszómákká alakul. A sejtközpont kettéosztódik és a pólusokra vándorol. A magorsófonalak kialakulása megkezdődik. A homológ kromoszómák (apai-anyai) összetapadnak. Ekkor van lehetőség a homológ kromoszómák egyes szakaszainak kicserélődésére, az *átkereszteződésre (crossing over)*. E folyamat véletlenszerű módon megy végbe, így a genetikai változatosság kialakításában nagy szerepe van. Az apai és anyai kromoszómák közötti átkereszteződés következtében új genetikai kombinációjú kromoszómák jönnek létre. A maghártya a fázis végére feldarabolódik.

I. főszakasz metafázis (középszakasz). A homológ kromoszómapárok a sejt középsíkjaiba rendeződnek. A magorsófonalak a homológ kromoszómapárokhoz kapcsolódnak.

I. főszakasz anafázis (utószakasz). A homológ kromoszómapárok elválnak egymástól a magorsófonalak megrövidülése következtében és a pólusok felé vándorolnak. *Az apai és anyai kromoszómák megoszlása* a két pólus között véletlenszerű. E jelenség szintén növeli a genetikai változatosságot.

I. főszakasz telofázis (végszakasz). Egyes esetekben a maghártya kialakul, máskor a maghártya kialakulása nélkül azonnal a meiózis II. főszakasza következik.

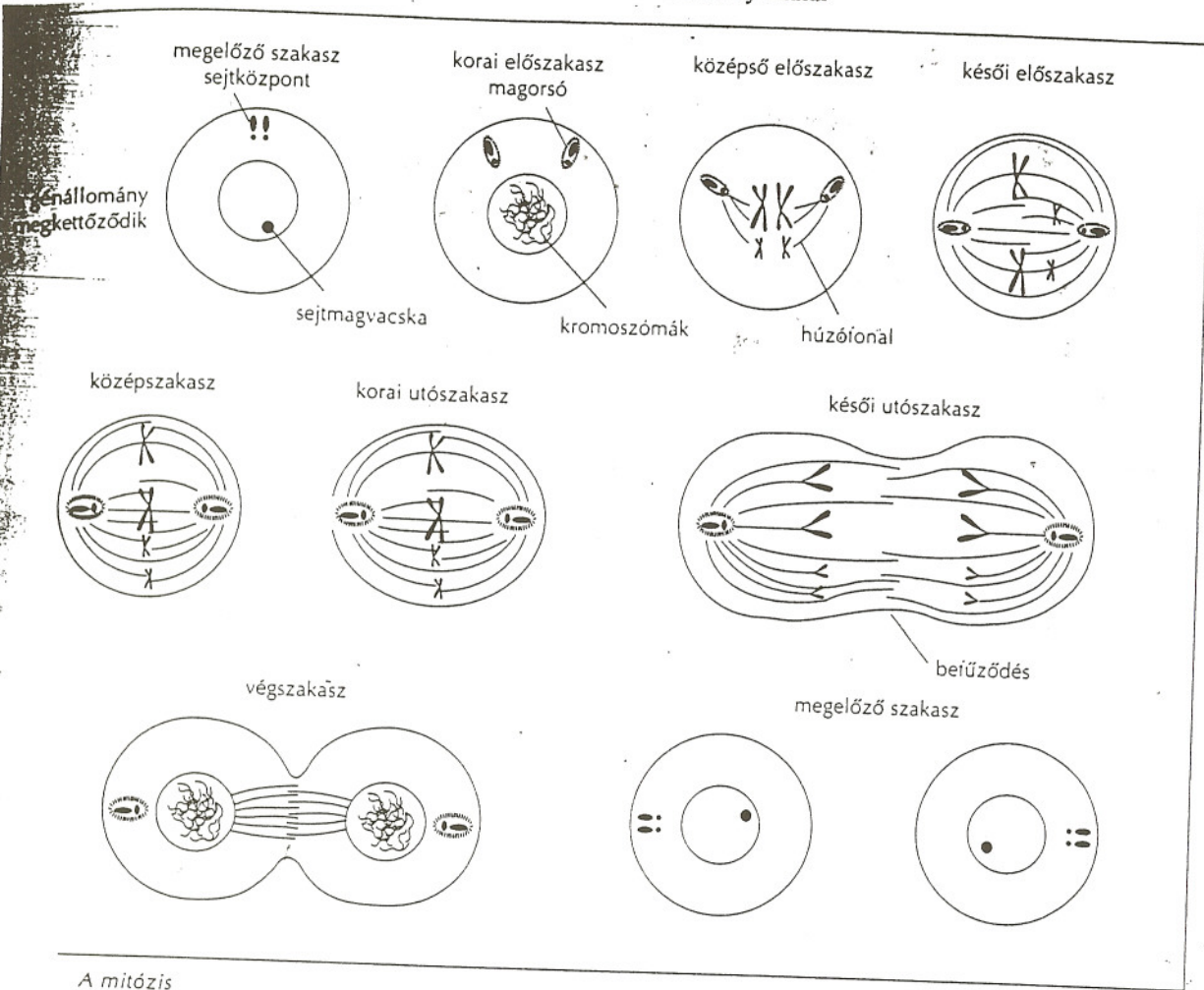
II. főszakasz profázis (előszakasz). A sejtközpont(ok) ismét osztódnak és az utódsejtek pólusaira (az első főszakaszhoz képest merőleges irányban) vándorolnak. A magorsófonalak kialakulnak. A sejtmaghártya (amennyiben van) szétesik.

II. főszakasz metafázis (középszakasz). A kromoszómák a középsíkokban rendeződnek. A magorsófonalak a centromérákhoz kapcsolódnak.

II. főszakasz anafázis (utószakasz). A kromatidák a pólusok felé vándorolnak a magorsófonalak rövidülésének következtében.

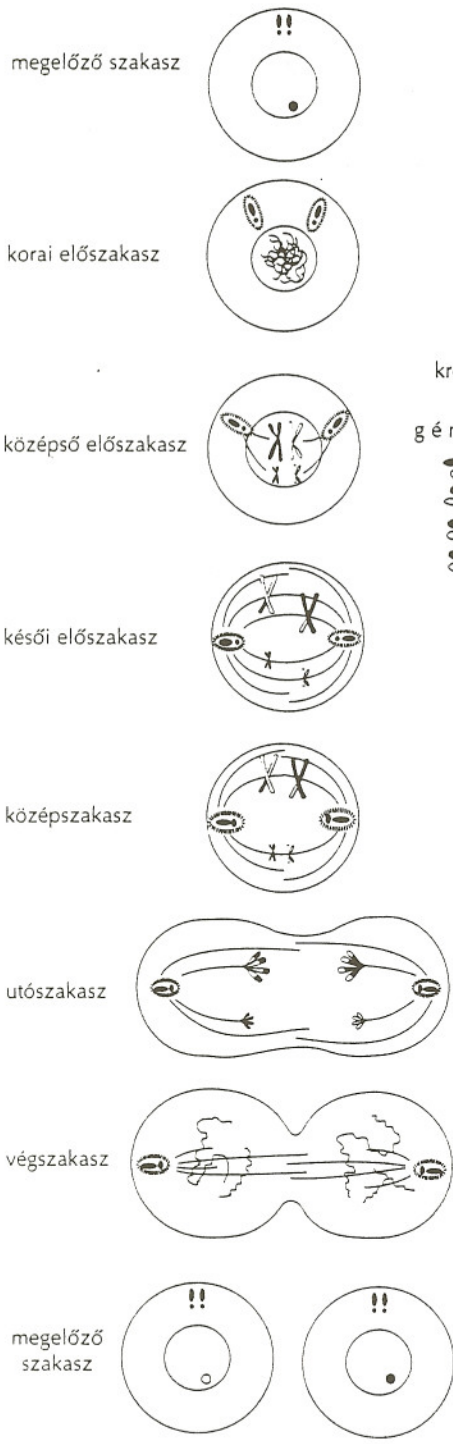
II. főszakasz telofázis (végszakasz). Az utódkromoszómák a pólusokhoz érkeznek. Kondenzáltságuk csökken. Kialakul a maghártya. A citoplazma membránja lefűződik. Négy új sejt alakul ki, melyeknek genetikai állománya az első főszakasz előtti sejt kromoszómaszámának fele.

25. ábra A mitózis és meiózis folyamatai



A mitózis

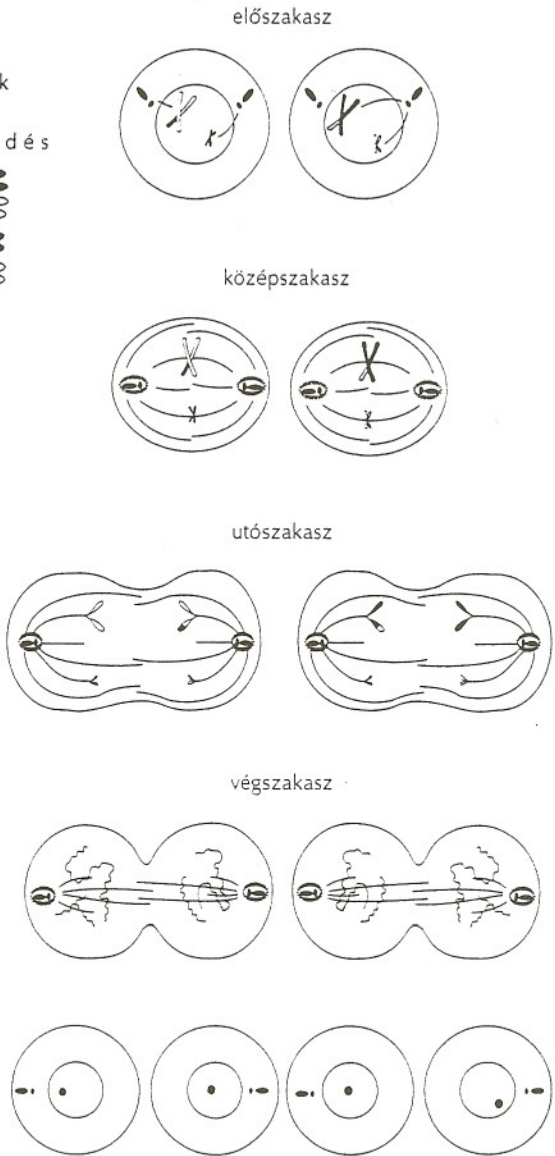
I. főszerkeasz



nem történik DNS megkettőződés
2 db sejt ($k_{sz}=n$)
DNS állomány kétszeres

II. főszerkeasz

homológ
kromoszómapárok
↓
génkicserélődés



4 db haploid ($k_{sz}=n$) sejt
DNS állomány egyszeres