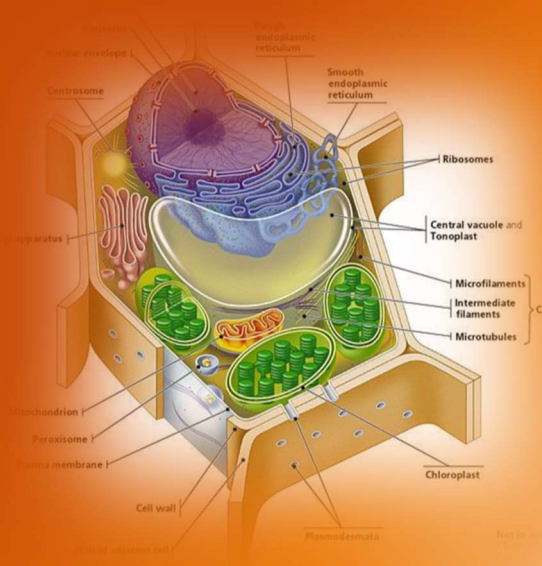
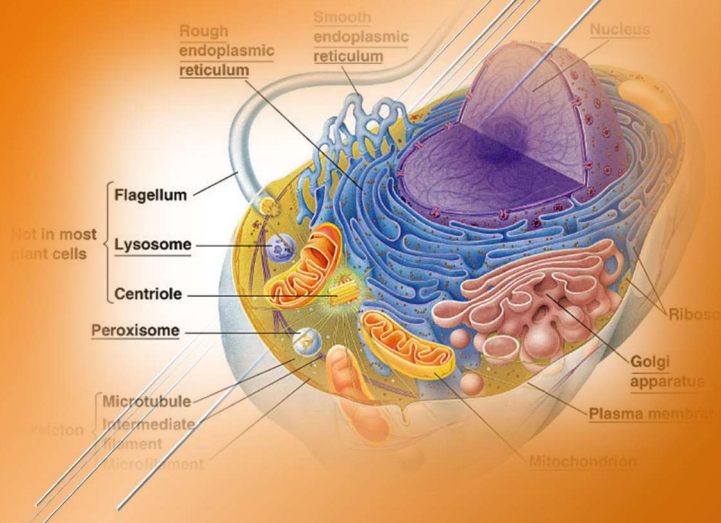
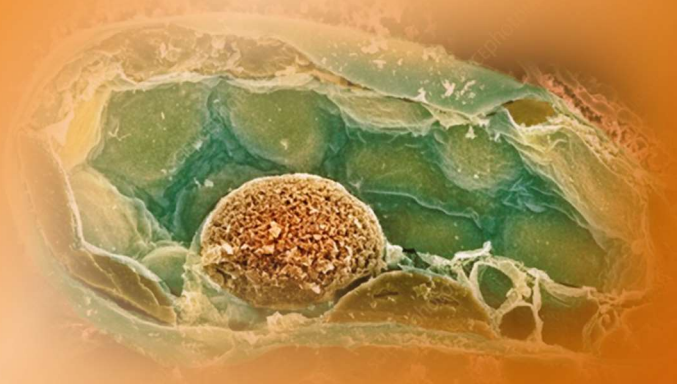
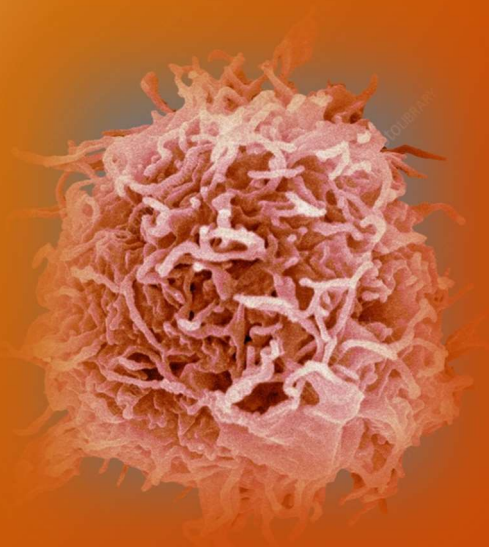




2.3. SEJTALKOTÓK (AZ EUKARIÓTA SEJTBEN)

Készítette Vizkievicz András





Emelt szintű vizsgakövetelmények 2024

2.3. Sejtalkotók (az eukarióta sejtben)

2.3.1. Eukarióta sejtalkotók

Kulcsfogalmak

- Eukarióta sejtalkotók, állati sejt, növényi sejt.
- sejtnedvvel telt üreg, sejtközpont, endoplazmatikus hálózat, Golgi készülék, membrán-hólyagocska, lizoszómák.

Gondolkodási művelet

- Ismerje fel rajzolt ábrán a sejthártyát, sejtplazmát, ostort, csillót, riboszómát, sejtmagot, mitokondriumot; sejtfalat, zöld színtestet, zárványt.
- Különböztesse meg a különbségek felsorolásával az állati és a növényi sejtet.
- *Ismerje föl mikroszkópban és mikroszkópos képeken a sejtfalat, zöld színtestet, sejtmagot, zárványt.*
- Ismerje fel rajzolt ábrán a sejtnedvvel telt üreget, sejtvázat, sejtközpontot, endoplazmatikus hálózatot, Golgi készüléket.
- *Mutassa be ábra vagy szöveg segítségével a fehérjék lehetséges transzport útvonalait a sejten belül: az elválasztott fehérjék, az intracelluláris emésztés és a membránfehérjék példáján egy radioaktívan jelölt aminosav útjának nyomon követésével.*

2.3.2. Elhatárolás és összeköttetés

Kulcsfogalmak

- Membrán, aktív és passzív transzport, endocitózis, exocitózis,
- könnyített diffúzió, membrántranszport jelenségek, csatorna- és szállítófehérjék, pumpafehérjék, csatolt anyagtranszport.

Gondolkodási művelet

- Ismertesse a biológiai hártyák (membránok) szerepét
- (anyagforgalom, határolás, összekötés, jelölés, jelfogás) és magyarázza felépítésük általános elvét.
- Hasonlítsa össze a passzív és az aktív szállítás lényegét (iránya, energiaigénye).
- Magyarázza az endo- és exocitózis folyamatát, hozzon fel példákat ezekre saját szervezete működésében.

Gondolkodási művelet

- Értékelje a passzív és az aktív szállítás mechanizmusát, ismertesse végrehajtóit (szállító molekula nélkül: diffúzió, ioncsatorna; szállító molekulával: könnyített diffúzió, pumpafehérje), hajtóerőit.
- *Értelmezzen ábrán és szövegben bemutatott komplex transzportfolyamatokat a glükóz emberi vékonybélben zajló felszívódása példáján.*
- *Elemezze ábrán a gyökérszőrök ionfelvételét, a sejtek inzulin hatására történő glükózfelvételét.*

2.3.3. Mozgás

Kulcsfogalmak

- Álláb, csilló, ostor,
- sejtváz.

Gondolkodási művelet

- Ismertessen példákat az állábas, ostoros, csillós mozgásokra az emberi szervezetben.
- Kapcsolja a sejten belüli mozgásokat a sejtváz funkciójához.

2.3.4. Anyagcsere

Kulcsfogalmak

- Anyagcsere, sejtalkotók,
- lizoszóma.

Gondolkodási művelet

- Kapcsolja a sejtanyagcsere folyamatait a sejtalkotók működéséhez.
- Ismertesse a sejtbe bejutó anyagok vagy belső felesleges anyagok lebontásának lehetőségét (lizoszóma).
- Magyarázza a sejtalkotók szerepét felépítésükkel és az anyagcsere folyamatokkal összefüggésben.

2.3. Sejtalkotók (az eukarióta sejtben)

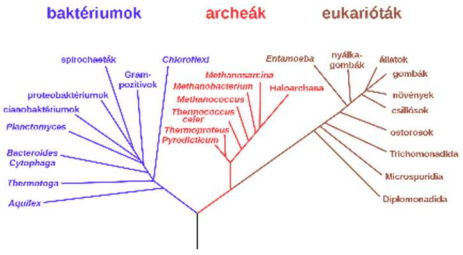
2.3.1. Eukarióta sejtalkotók

A fejezet a követelményrendszer 2.3. pontja alapján készült.

Készítette: Vizkievicz András

Bevezetés

Az élővilág rendkívüli sokszínűségének, az élőlények szinte végtelen változatosságának ellenére, **a különféle élő rendszerek felépítése és működése alapjaiban számos közös sajátossággal bír**. Ez nem meglepő, hiszen a mai **élőlények egy hosszú törzsfejlődési folyamat eredményeként jöttek létre, aminek kiindulópontja egyetlen közös ős volt**. Tehát a ma élő összes élőlény erre a **kb. 3,8 milliárd** éve **létezett** ún. **egyetemes közös ősre** (Last Universal Common Ancestor, **LUCA**) vezethető vissza.



A sejt, mint működési alapegység

A sejt az élővilág legkisebb, önálló életre képes, életjelenségeket mutató szerveződési egysége. Az élőlények, mint biológiai rendszerek egyik meghatározó alaptulajdonsága a **sejtes szerveződés**.

Legelsőként Robert Hook (1635– 1703) vizsgált sejteket saját készítésű mikroszkópjának segítségével. Majd a XIX. században fogalmazódott meg a **sejtelmélet**, miszerint **minden élőlény egy vagy több sejtből áll**, s minden sejt már létező korábbi sejt kettéosztódásából keletkezik.
Az **eltérő** életformák - mint pl. növényi, állati, gomba, baktérium - egyedeit felépítő **sejtek különbségeik mellett számos alapvető jellegeikben lényegi hasonlóságot mutatnak**, mind felépítésükben, mind működésükben.

- Minden sejt **sejthártyával** határolódik el a környezetétől, ill. a sejthártya segítségével bonyolít le anyagforgalmat a környezetével.
- Közös sajátság a **sejtplazma**, az anyagcsere folyamatok színtere.
- A molekuláris biológia fejlődése nyomán az is világossá vált, hogy az **élőlények kémiai összetétele, alapvető anyagcsere folyamatai, a kémiai energia tárolásának módja is azonos.**
- Minden élőlény **genetikai információt tároló anyaga DNS**, ill. az információt kódoló, továbbító és kifejező rendszerek is alapjaiban hasonlóan szerveződnek.

A **sejtek szerveződése**, **struktúrája alapján** az élőlények lehetnek

- **prokarióták** vagy
- **eukarióták**.

Az **eukarióta sejtek belső szerveződésük alapján** lehetnek

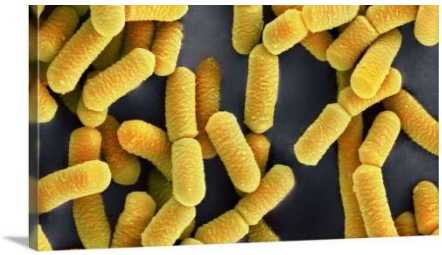
- **növényi,** →
- **állati,**
- **gombasejtek.**

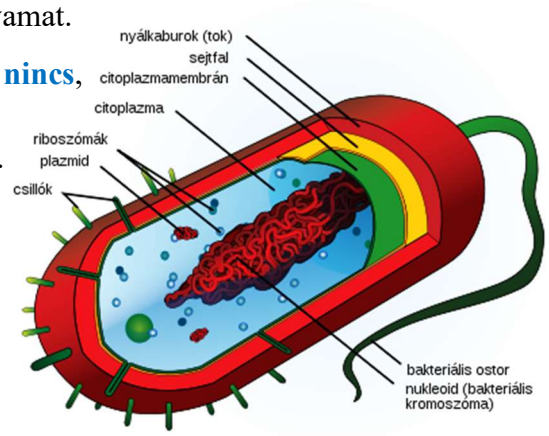
A prokarióták közé elsősorban a **baktériumokat** soroljuk. Sejtjeik felépítésére jellemző, hogy:

- **méretük** főleg az **1-10 mikronos** tartományba esik,
- a sejteket kívülről **sejtfal** határolja,
- egyes baktériumoknál ezen kívül még egy **védelmi feladatokat ellátó** nyálkás **tok** is megtalálható.

- A sejt alapállománya a **citoplazma**, amelyben **nincs** membránnal körülhatárolt **sejtmag**, csak ún. **maganyag, DNS**,
- a maganyagon kívül a citoplazmában extra DNS-t, ún. **plazmidokat** találunk, amelyeken többek között az **antibiotikum-rezisztenciagének** vannak,
- a **DNS gyűrű alakú**, hozzá **szerkezeti-fehérjék nem kapcsolódnak,**
- mivel a DNS a citoplazmában található meg, ugyanott nagyszámú **riboszóma** is van, a transzkripció és a transzláció szimultán folyamat.

- A citoplazmában **belső membránrendszer nincs**,
- **nincsenek sejtszervecskék.**
- Mozgásuk **csillók** segítségével valósul meg.





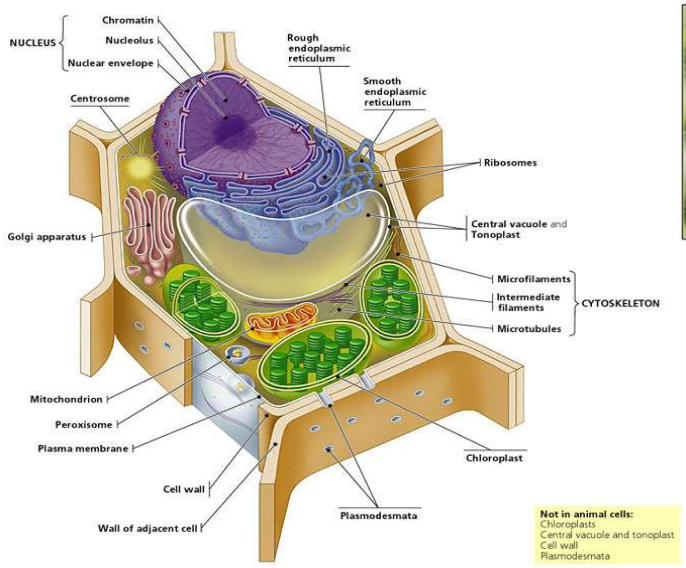
Szempontok	Prokarióta sejtek	Eukarióta sejtek
Testszerveződés	Egysejtű, sejttársulás	Egysejtű és többsejtű sejttársulás, telepes, szövetes
Sejtek mérete	1-10 µm	10-100 µm többnyire
Maghártya	Nincs	Van
Belső hártyarendszer	Kevéssé fejlett, sejthártya betüremkedésekből alakul ki	Fejlett, DER, Golgi, membránhólyagok
Örökítőanyag	Citoplazmában, cirkuláris DNS, szerkezeti fehérjék nincsenek	Sejtmagban, lineráris DNS, szerkezeti fehérjék vannak
Plazmidok	Jellemzően	Ritkán
Kromoszómák száma	1	Több
Sejtszervecskék	Nincsenek	Vannak, pl. mitokondrium, stb.
Színanyag	A sejthártya betüremkedéseiben	Színtestekben
Osztódás	Hasadás	Mitózis, meiózis
Sejtváz	Nincs	Van
Sejtfal	Van	Állati sejtek kivételével van
Ostor, csilló	Van	Van

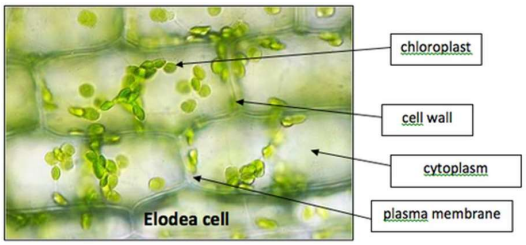
Az állati és a növényi sejtek összehasonlítása

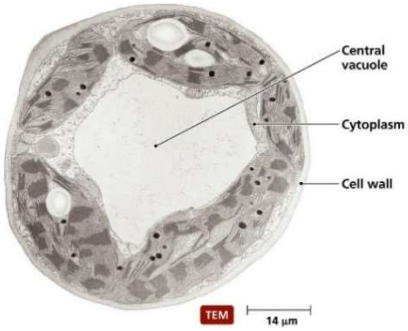
állati sejt	növényi sejt
sejthártya	sejthártya
citoplazma	citoplazma
riboszóma	riboszóma
durva endoplazmatikus retikulum (RER)	durva endoplazmatikus retikulum (RER)
sima endoplazmatikus retikulum (SER)	sima endoplazmatikus retikulum (SER)
Golgi-készülék	Golgi-készülék
lizoszóma	lizoszóma
membránhólyagocskák (Golgi-vezikulák)	membránhólyagocskák (Golgi-vezikulák)
mitokondrium	mitokondrium
sejtmag	sejtmag
sejtváz	sejtváz
sejtközpont	sejtközpont
	színtestek
	sejtfal
	vakuólum
csilló, ostor	esetleg hímivarsejteknél

A **növényi sejtek** legfontosabb jellemzői:

- a sejtet kívülről **cellulóz sejtfal** határolja, ezért a **sejtek alakja hatszöges** és **állandó**,
- a citoplazmában membránnal határolt üregek, ún. **vakuólumok vagy sejtüregek** találhatók, melyek feladata
    - a sejtek belső terének kitöltése,
    - a **tápanyagok és az egyes anyagcseretermékek raktározása**, valamint **kiválasztása**.
- **Zárványok, élettelen alkotórészek**, **töményebb anyagcseretermékek**. Lehetnek
    - **keményítőszemcsék**,
    - fehérjéket tartalmazó **aleuron szemcsék**, pl. a búzában,
    - **kristályok**, melyek anyaga változatos, pl. Ca-oxalát.
- A növényi szervezetek jellemző sejtszervecskéi a **zöld színtestek**, bár nem minden növényi sejtben fordulnak elő, pl. nincsenek fénytől elzárt részekben, mint raktározó alapszövetekben, szállító alapszövetekben, ill. általában a bőrszövetben.







Az alábbiakban az általános sejttan című fejezet olvasható, amelyben az egyes sejtalkotók tipikus felépítése és feladata kerül megtárgyalásra, függetlenül sejttípusos – lásd fent – hovatartozásától.

Biomembránok, a sejtszintű szerveződés határhártyái

Minden sejt – prokarióta, eukarióta sejt egyaránt - fizikailag elkülönül a környezetétől. Ez az elkülönülés nem elszigetelődést jelent, mert a sejt a környezetével igen komplikált, sokdimenziójú anyag- és energiaforgalmat tart fenn. A sejt és a környezete kapcsolatát a **sejthártya** valósítja meg, mely az általánosan előforduló biomembránok egyik - nélkülözhetetlen - megjelenési formája.

A **sejthártyának** alapvetően kettős feladata van:

- egyrészt a külvilágtól való **elhatárolás**,
- másrészt a külvilággal való **összeköttetés** megteremtése, azaz a két elhatárolt tér közötti **anyag- és energiaáramlás** biztosítása.

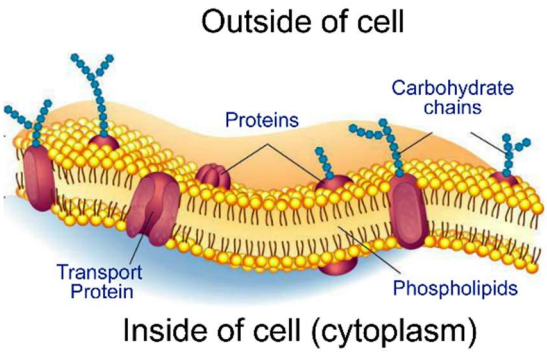
Továbbá fontos szerepe van a sejthártyának

- a **sejtek közötti kapcsolatokban**, jelölőmolekulái – markerei – **megadják a sejt egyediségét**, **lehetővé teszik a sejtfelismerést**,
- ill. **receptorai révén részt vesz különféle jelátviteli folyamatokban.**

A sejthártya felépítése, a biomembránok általános szerkezete

A biológiai membránok alapszerkezete az egész élővilágban alapvetően azonos. **Minden biológiai membrán – így a sejthártya is - alapvetően 3 komponensből áll**:

- **lipidekből,**
- **fehérjékből,**
- **szénhidrátokból.**



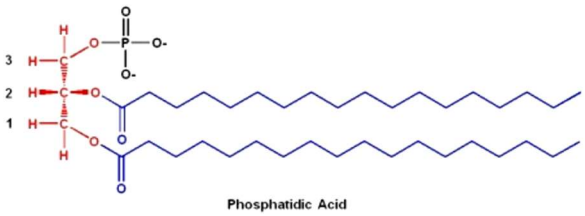
Membránlipidek

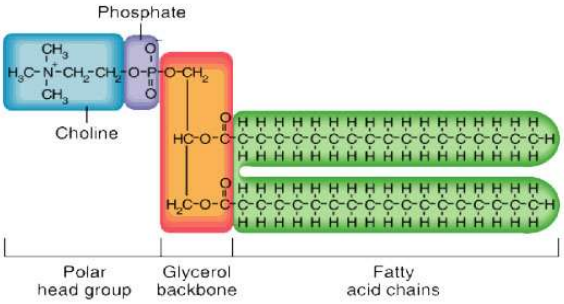
A membránlipidek három csoportba sorolhatók:

- **foszfolipidek,**
- **koleszterin,**
- **glikolipidek**.

A foszfolipidek (foszfatidok)

Molekulájuk alapváza a **foszfatidsav**, amelyben a **glicerinhez két zsírsav** és egy **foszforsav** kapcsolódik **észterkötéssel**. Az egyes foszfatidok abban különböznek egymástól, hogy a foszforsavmaradékhoz (foszfát) további egyéb molekula kapcsolódik szintén **észterkötéssel.** A foszfolipidek közé tartozik pl. a sejthártyában megtalálható lecitin.

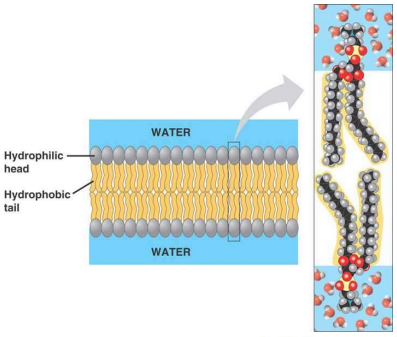




Ezekben a lipid molekulákban

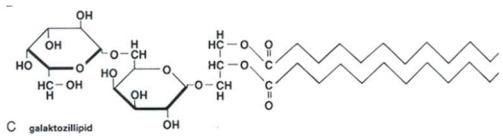
- a **hosszú szénláncú komponensek** alkotják a molekula **hidrofób** (apoláris) részét (láb),
- míg a glicerin és a foszfáton keresztül kapcsolódó rész a **hidrofil** (poláris) fejet képezi.

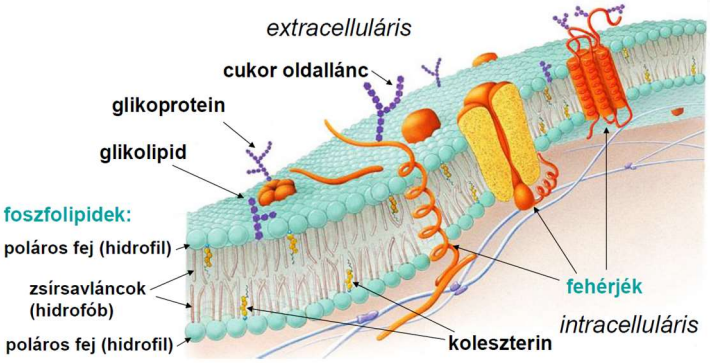
A foszfolipidek tehát **kettős oldódású**, ún. **amfipatikus** vegyületek, ennek megfelelően vizes közegben úgy helyezkednek el, hogy az apoláros láncok egymás felé nézve egy apoláros belső közeget hoznak létre, míg poláros részükkel a vizes fázis felé fordulnak és hidratálódnak.



A glikolipidek

Ezen vegyületek poláros feji része mono- vagy oligoszacharid.

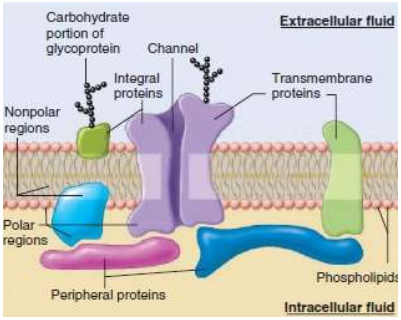




Membránfehérjék

A membránfehérjék **biztosítják a membránok működését**, lehetnek:

- **enzimek**,
- **transzportfehérjék (szállítók)**, **csatornafehérjék**,
- **jelölőfehérjék, markerek (MHC),**
- **receptorok** (pl. hormonok megkötéséért felelős hormonreceptorok).



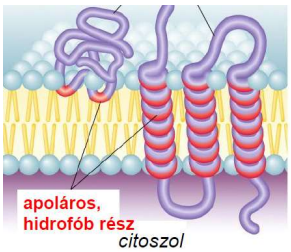
A membránban való elhelyezkedésük szerint kétféle membránfehérjét különítünk el.

1. Perifériás membránfehérjék

Belülről, lazábban kapcsolódnak a membrán felszíneihez, a sejtvázzal kapcsolatosak, általában különféle **enzimek**.

2. Integráns membránfehérjék

Többé-kevésbé belemerülnek a membránba. Az integráns fehérjék **mindig tartalmaznak hidrofób** felszíneket, melyek a lipid kettősréteg hidrofób középső tartományához kapcsolódnak, ugyanezen molekulák hidrofil részei a membrán valamelyik felületén kiemelkednek és hidratálva vannak.



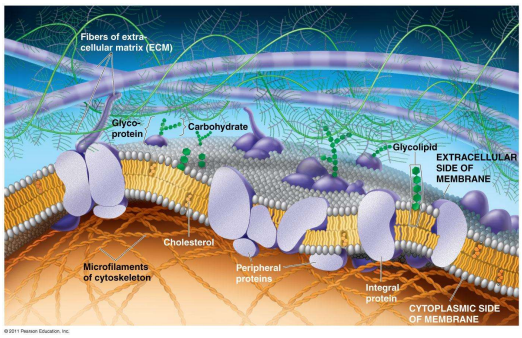
A membránok imént vázolt szerkezetéből következik, hogy ránézetben a membrán **mozaikszerkezetű**, azaz a lipid kettősrétegbe merült különféle fehérjék mozaikszemcsék módjára helyezkednek el rajta (**mozaik membrán modell**).

Membránalkotó szénhidrátok

Mind az integráns membránfehérjék, **mind bizonyos lipidek sejten kívüli részéhez,** kapcsolódhat cukorkomponens. Ezek a szénhidrátok a **sejtburok (sejtköpeny)** kialakításában vesznek részt.

A sejtburok

- **összetétele minden sejtre jellemző,**
- **jelölőmolekulái révén (MHC) biztosítja a sejt egyediségét, „személyazonosságát", így szerepe van a sejtek egymásfelismerésében, az immunrendszer működésében,**
- **molekulái lehetnek receptorok (pl. hormonokat megkötő hormonreceptorok),**
- **vércsoport antigének.**



Transzportfolyamatok

A membránok – és így a sejthártya - biztosítják az elhatárolt egység, a sejt működéshez szükséges **belső környezet állandóságát**. A **membránok** egyrészt **fizikailag elhatárolnak**, másrészt azonban a rajtuk keresztül folyó, **szabályozott anyagmozgás** révén egyben **össze is kapcsolnak**.

Ha az anyagmozgás a sejten kívüli és a sejten belüli tér között a **membrán síkján való áthatolással** történik, akkor **membránt**ranszportról beszélünk. A membrán transzportfolyamatai csoportosíthatók:

I. a membránon való áthatolás **mechanizmusa szerint**:

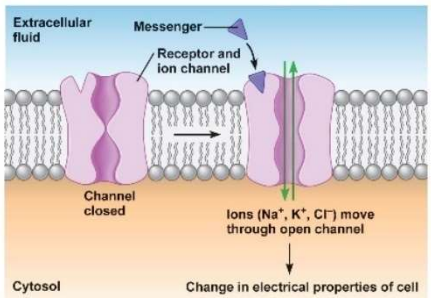
1. **vizes csatornán át történő diffúzió,**
2. **lipidfázison át zajló diffúzió,**
3. **a membránban lévő szállítók segítségével (lehet passzív és aktív egyaránt),**

II. a membránon át történő anyagmozgás **energiaigénye szerint:**

a) passzív, ahol a folyamat energiát nem igényel, a transzport a koncentráció-gradiensnek megfelelő irányba zajlik, eredményeképpen a koncentrációkülönbség kiegyenlítődik,

b) aktív, ahol a folyamat energiát igényel, az anyagtranszport a kisebb koncentrációjú hely felől történik a nagyobb felé. Koncentrációkülönbséget hoz létre.

1. Vizes csatornán át történő diffúzió

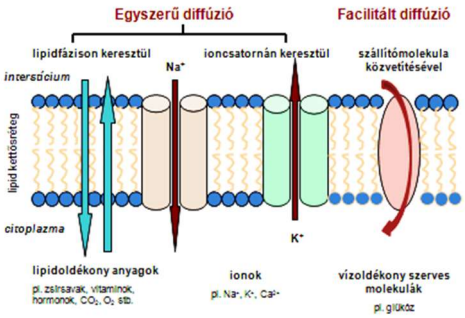


Vizes közegben történő **diffúzióval** mozognak a membránon át

- **az ionok,**
- **a kisebb poláris molekulák és a víz**.

Az átjutásnak ez a módja azt bizonyítja, hogy a lipidtartalmú membránon át **vizes csatornák, ún. pórusok** húzódnak. A **csatornákat integráns membránfehérjék alkotják**, amelyek szerkezetváltozása a csatornákat nyitja vagy csukja. A különböző ionok különböző **ioncsatornákon** jutnak át, így ismerünk **Na^+-, K^+-, Ca^{2+}-, Cl^-- stb. csatornákat**. A **folyamat energiát nem igényel, azaz passzív.**

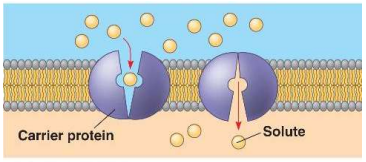
2. Lipidfázison át zajló diffúzió



A zsíroldékony anyagok a membrán lipidfázisában oldva jutnak át a membránon. Ilyen módon jut át az **oxigén, CO_2, szteroidhormonok**, alkohol stb.

3. A membránban lévő szállítók segítségével

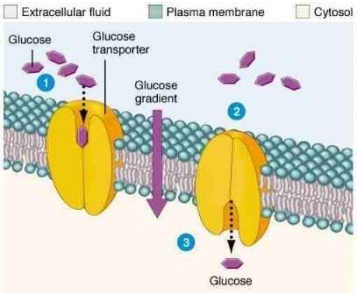
Az ide sorolható folyamatok közös jellemzője, hogy a szállított anyag kötődik egy, a membránban lévő szállítómolekulához, s ennek segítségével jut át a szállítófehérje szerkezetváltozása révén. A folyamat lehet passzív vagy aktív.



(b) A carrier protein

Facilitált – könnyített - diffúzió

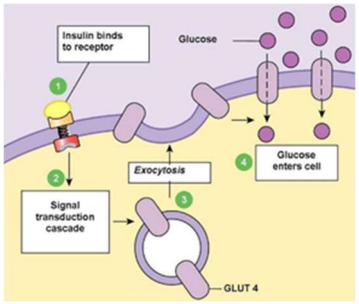
A **szállított anyag** mindig a **koncentrációgradiense által megszabott irányba** mozog **diffúzióval**, **passzív transzporttal, szállítók segítségével**. A szállított anyag így gyorsabban jut át, mint a molekula méretéből, lipidoldékonyságából, koncentráció-gradienséből következne.



A sejtbe bejutott anyagok igen gyorsan hígulnak, ami biztosítja a folyamatok egyirányúságát. Pl. a glükóz gyorsan foszforilálódik, a glükóz-foszfát a szállítóval már nem kapcsolódik.

Segített diffúzióval veszik fel a különféle szöveti sejtek a glükózt. Többféle – 14 - glükóztranszporter ismert (GLUT).

- A GLUT-1 a legtöbb szövetben – pl. agy, vörösvértestek, vastagbél - kis mennyiségben található meg, inzulintól független biztosítja a glükóz felvételét.
- Az inzulinfüggő GLUT- 4 többek között izom- és zsírszövetben fordul elő.



Inzulin hatására a GLUT-1 transzporterek mellé, az addig a sejt belsejében, vezikulákban tárolt GLUT-4 transzporterek beleolvadnak a külső membránba, s megnövelik a zsírsejtek és az izomrostok glükózfelvételét.

Aktív transzport

Az **aktív transzportfolyamatok egyenlőtlen anyageloszlást** hoznak létre a membrán két oldala között. Mivel az anyag a koncentrációgradiens által meghatározott spontán mozgási iránnyal szemben mozog, az **aktív transzport mindig E-t igényel.**
Az energia **ATP hidrolíziséből** származik. Az aktív transzport **mindig szállítókkal történő transzport**. Energiaigényes szállítófolyamatok pl. a **különféle ionokat szállító pumpamechanizmusok.**

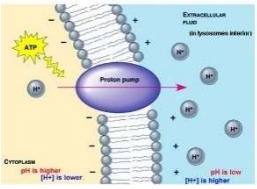
Pumpamechanizmusok

A membránpumpák olyan transzportrendszerek, amelyek egy adott anyagot a **membrán egyik oldalán felhalmoznak**, míg a membrán másik oldalán a folyadék az adott anyagban elszegényedik.
A ma ismert pumpamechanizmusok **ionszállító transzportrendszerek,** amelyek egyben **ATP-bontó enzimek** is.

H-ionok aktív transzportja

A protonpumpák minden élő sejtben megtalálhatók. Igen fontos működést látnak el:

- **mitokondrium-, kloroplasztisz-membránban,**
- **vesecsatornák hámsejtjeiben,**
- **gyomornyálkahártya egyes sejtjeiben.**

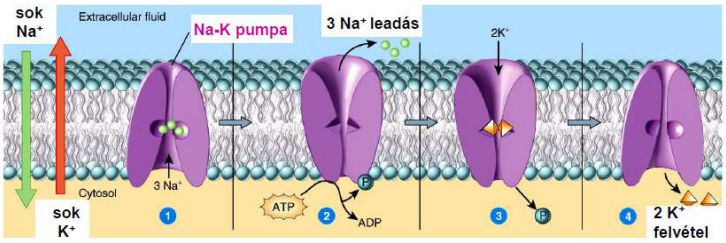


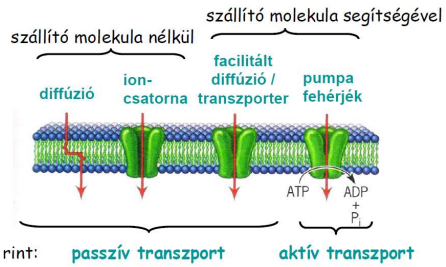
Na^+-K^+- pumpa (ATP-áz)

Az állati sejtek **legfontosabb ionpumpája**. A sejtek anyagcseréje során keletkező ATP-mennyiség 20-30%-át ez az enzim használja fel. A sejt nyugalmi állapotában 1 ATP hidrolízise során **3 Na^+-ot pumpál ki és 2 K^+-ot visz be** a sejtbe.

A pumpa működése döntően fontos:

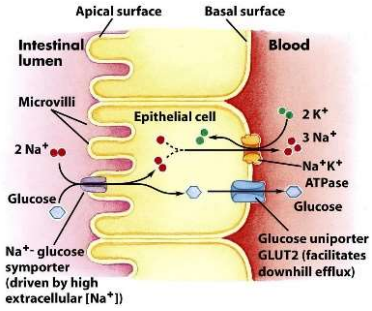
- **a sejt ozmotikus egyensúlyának és ezzel a sejt térfogatának és alakjának fenntartásában,** (ha nem működik, a sejt vizet vesz fel, duzzad, kipukkadhat),
- **a membránpotenciál szinten tartásában,**
- **biztosítja a sejten belüli enzimműködések számára fontos magas K^+- koncentrációt és távol tartja a legtöbb folyamatban gátló Na-ionokat.**



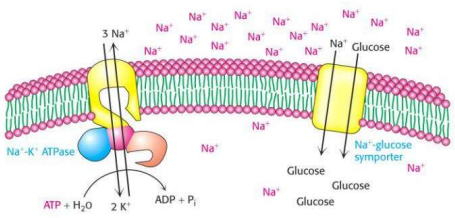


Glükóz-Na^+ kotranszport (csatolt anyagtranszport)

Ismertek olyan szállítók a membránban, amelyek **kétféle anyagot is képesek egyszerre átjuttatni a sejthártyán**. Ebben az esetben **csatolt transzportról** – **kotranszport** - beszélünk. **Ilyen módon veszik fel a tápcsatornában a bélhámsejtek a glükózt.**



A glükóz felvétele **aktív transzport**, az alacsonyabb koncentrációjú hely felől a magasabb koncentrációjú hely felé szállítódik, amihez az energiát a Na^+ koncentrációgradiense által meghatározott diffúziója biztosítja. Tehát a glükóz energetikailag kedvezőtlen irányba megy, a Na^+ pedig kedvezőbe, de végső soron a kettő eredője kedvező.



A mechanizmus **másodlagos aktív transzport**, hiszen a folyamat feltétele a Na^+ koncentrációkülönbsége a sejthártya két oldalán, melyet a Na^+-K^+ pumpa hoz létre ATP felhasználásával.

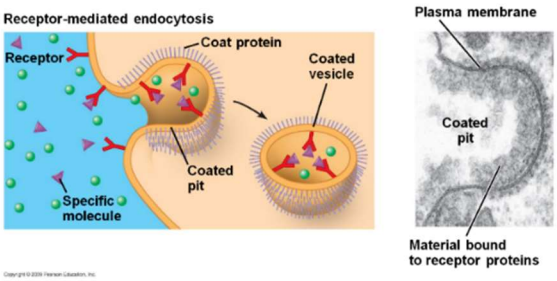
Endo- és exocitózis

Olyan anyagok **(baktériumok, makromolekulák stb.)** sejtbe való bejutása – **endocitózis -**, ill. sejtből való kijutása - **exocitózis -** is lehetséges, amelyek pl. **méretüknél fogva** a membrán síkján **nem képesek áthatolni**. Az így szállított anyagok membránnal körülvett hólyagocskákba csomagolva jutnak át a sejthatáron. Mivel a folyamatok során a membránok átrendeződnek, ezért **energiaigényesek**. **Csak állati sejtekre jellemzőek** ezek a folyamatok (sejtfal hiánya).

Endocitózis

Az endocitózis biológiai jelentősége:

- az **egysejtűek táplálkozásában**,
- **immunfolyamatokban, az ún. sejtes védekezésben van.**



Amennyiben a bekebelezendő anyag szilárd halmazállapotú **fagocitózisról** beszélünk.

A fagocitózis lépései

1. **Adszorpció**, amelynek során a bekebelezendő anyag **megkötődik** a membrán felszínén levő **receptorokon**.

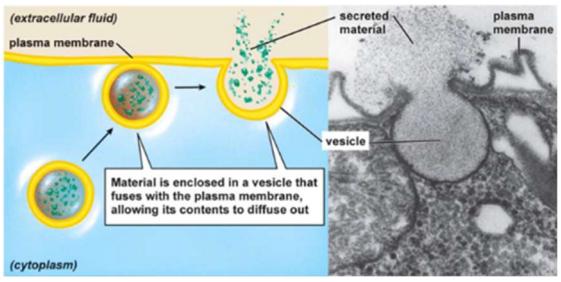
2. A kötődés hatására a **sejtváz befelé húzza** a membránrészletet a receptorral és a megkötődött anyaggal együtt. Az ilyen módon a sejtbe került kis hólyagocskát **fagoszómának** nevezzük.

Exocitózis

Exocitózissal a sejt belsejéből igen különböző eredetű és természetű anyagok ürülhetnek.

Az exocitózis biológiai jelentősége:

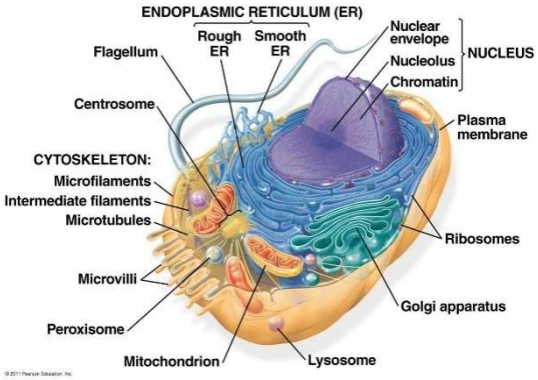
- **mirigysejtek váladékürítésében (emésztőenzimek, hormonok),**
- **egysejtűek salakanyag-leadásában,**
- **idegsejtek ingerületátvivő anyagának ürítésében** van.



Az endomembrán rendszer

Az eukarióta sejtek prokarióta sejtektől megkülönböztető egyik alapvető sajátsága a fejlett **belső membránrendszerük. A belső membránrendszer szerkezete megegyezik a membránok általános felépítésével.**

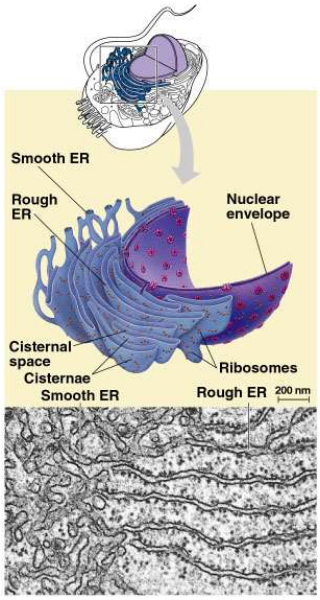
Az endomembrán rendszer biztosítja a **kompartmentalizációt**, azaz **lehetővé teszi az egyes anyagcsere folyamatok térbeli elkülönülését.**



A sejten belüli membránrendszer a sejt működésében alapvető jelentőségű, amit jól bizonyít, hogy összesített felülete többszörösen felülmúlja a sejthártya felszínét.

Az endomembrán rendszer részei

- **Az endoplazmatikus retikulum - ER**
  - **A durva felszínű endoplazmatikus retikulum - RER**
  - **A sima felszínű endoplazmatikus retikulum - SER**
- **Golgi-készülék**
- **Lizoszómák**
- **Sejtmaghártya**



yright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Az endoplazmatikus retikulum

Óriási felületű membránrendszer, amely különböző alakú képződményeket alkot a citoplazmában. A felépítése és a feladatai alapján alapvetően két típusa van:

- **a durva felszínű endoplazmatikus retikulum - RER,**
- **a sima felszínű endoplazmatikus retikulum - SER.**

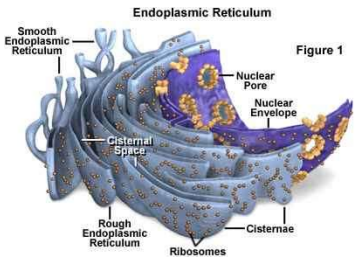
A durva felszínű endoplazmatikus retikulum RER

A RER-t **lapos zsákok bonyolult hálózata** építi fel, amely kiterjedt kapcsolatban áll a sejtmaghártyával. **Felületén riboszómák találhatók,** amelytől felszíne szemcséssé válik – innen az elnevezés.

A RER, a sejtből kikerülő ún. **exportfehérjék,** ill. a **membránfehérjék** keletkezésének a helye. Feladatából adódóan elsősorban **intenzív fehérjeszintézist végző sejtekben található meg** nagy mennyiségben, pl. **mirigysejtekben, idegsejtekben**.

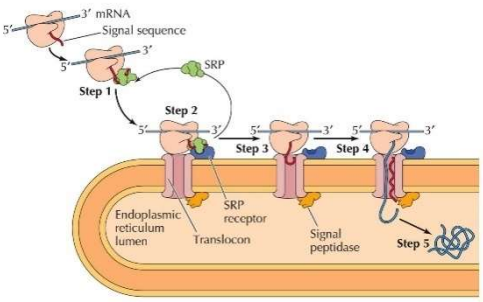
A fehérjék keletkezésének helyei a **riboszómák**. Egy sejt riboszómái alapvetően két csoportba oszthatók.

- A **szabad riboszómákon** a **citoplazmatikus fehérjék szintetizálódnak.**
- A **kötött riboszómákon** - amelyek pl. a **sejtmaghártya, RER** felületén találhatók - az **exportra kerülő** fehérjék és a **sejthártya fehérjéi** keletkeznek.



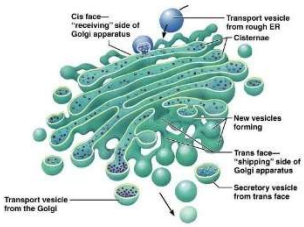
A két csoport riboszómái között szerkezeti eltérés nincs.

Az exportfehérjék szintézise



- Az elkészült mRNS a citoplazmába kerül, ahol szabad riboszómákkal kapcsolódik.
- Az exportra kerülő fehérjék esetén a meginduló fehérjeszintézisnek köszönhetően a peptidlánc végén először egy ún. **szignálpeptid** jelenik meg.
- A szignálpeptidet a citoplazmában található szignálfelismerő részecske - SRP – köti meg.
- A kötődés eredményeképpen a fehérjeszintézis megáll, majd a SRP-polipeptid-riboszóma-mRNS komplex a **RER-hez kötődik**.
- Ezt követően a SRP leválik a szignálpeptidről majd folytatódik a fehérjeszintézis.

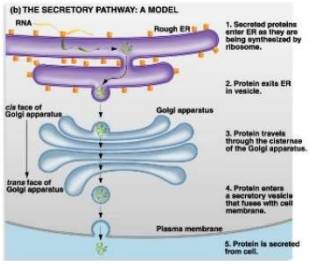
Az endoplazmatikus hálózat riboszómáin elkészült fehérje a RER üregébe kerül, ahol további **változásokon megy keresztül**. A módosítások lényege, hogy egyes aminosavakhoz különféle **oligoszacharidok kapcsolódnak**.



A RER-ben elkészült **fehérje a Golgi-készülékbe jut**, ahol újabb átalakuláson megy keresztül.

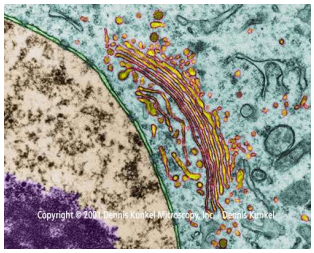
A Golgi-készülék

A Golgi-hálózat egymással **párhuzamosan rendeződött lapos zsákokból áll**, amelyek széléről folyamatosan apró hólyagok, ún. Golgi-hólyagok (vezikulák) fűződnek le.



Golgi-apparátus feladata

- **a RER-ben szintetizálódott váladék- és membránfehérjék fogadása,**
- **posztszintetikus módosítása**
- **és továbbítása rendeltetési helyükre.**

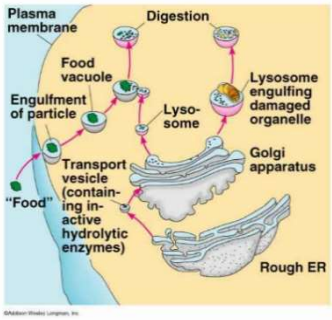


A Golgi-készülékben történik:

- a **szénhidrátok fehérjékhez történő kapcsolódása**.
- **A membránfehérjék transzportja.**
- **Mirigysejtekben az elválasztásra kerülő fehérjék becsomagolása.**
- **Lizoszómák előállítása.**

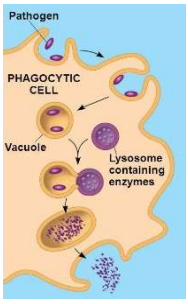
A sejten belüli emésztés

A sejt belsejébe membránba burkoltan érkező, a fagoszómákban elhelyezkedő anyag – baktériumok, makromolekulák - megemésztését a **lizoszómák** végzik. A lizoszómák a Golgi-készülékből lefűződéssel keletkeznek.



- Első lépésben ún. **primer lizoszómák** keletkeznek. Ezek hidrolitikus, **bontó enzimeket tartalmaznak**.
- A fagoszóma a sejtbe kerülve összeolvad a primer lizoszómákkal és létrehozza a **szekunder lizoszómát (emésztő űröcskét),** amelyben megkezdődhet az emésztés.

A makromolekulák addig emésztődnek, amíg a keletkezett anyagok olyan méretűvé válnak, amelyek már az ismert transzportfolyamatokkal képesek átjutni a membránon.

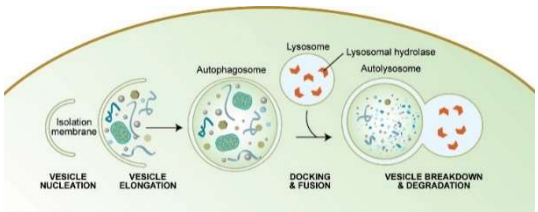


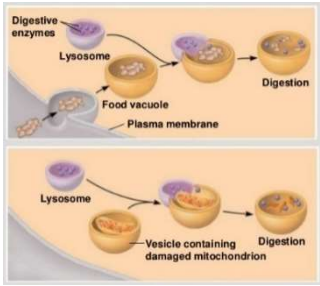
- Az emésztési folyamat következtében a lizoszómában már csak az emészthetetlen anyagok maradnak vissza. Ekkor már **tercier lizoszómáról** beszélünk. Ez előbb vagy utóbb a plazmamembránhoz vándorol és **exocitózis** révén tartalmát a sejten kívüli térbe juttatja.

Az autofágia

Az élőre folyamatos pusztulás és újraképződés jellemző, sejtalkotók pusztulnak és megújulnak. Az elöregedett sejtalkotókat ugyanaz a rendszer dolgozza fel, mint a sejtbe kívülről bejutott idegen anyagokat. A jelenség az **autofágia**.

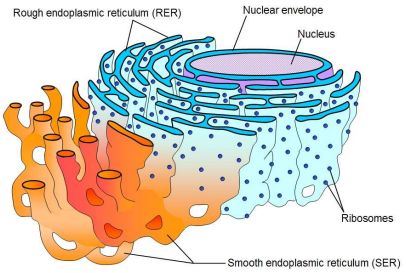
Az **elöregedett sejtalkotók** - mitokondrium, ER, Golgi - **membránba burkolódznak**. Az így létrejött képződmények az **autofág vakuólumok**. Az autofág vakuólumokkal **lizoszómák** egyesülnek, melyekben a sejtalkotók teljes mértékben lebomlanak.





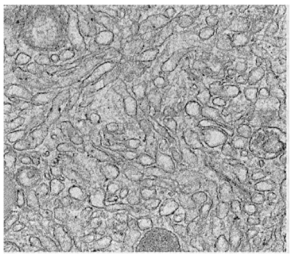
A sima felszínű endoplazmatikus retikulum - SER

A SER kevésbé általános, mint a RER. A sima felszínű ER, mint **egymásba fonódó csövek rendszere,** gyakran a citoplazma szélén helyezkedik el. A SER elsősorban azokra a sejtekre jellemző, amelyek **speciális funkciót** fejtenek ki.



Szerepét tekintve igen szerteágazó működéseket végez:

- Az izomsejtekben az üregek **Ca-raktárként** működnek.
- A **májsejtekben** itt zajlik az egyes **méreganyagok, gyógyszerek lebontása**.
- Itt történik a membránlipidek előállítása.

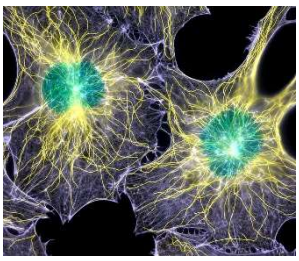


A sejtváz

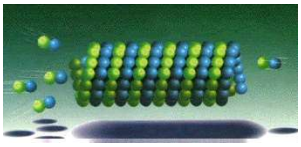
Eukarióta sejtekben a citoplazmában egy fibrilláris **fehérjefonalakból** felépülő, dinamikusan változó 3 dimenziós hálózat található, amelyet **sejtvázznak**, citoszkeletonnak nevezünk.

Feladata

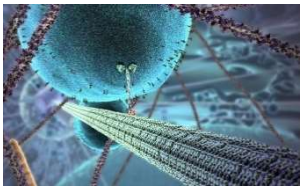
- **Meghatározza a sejtek alakját.**
- **Biztosítja a sejten belüli mozgásokat, sejtszervecskéket, ill. az osztódás során kromoszómákat mozgat.**
- **Irányítja a sejt mozgásait.**



Mikrotubuláris alrendszer

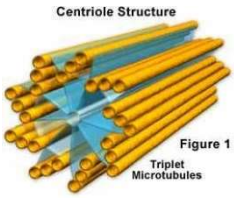


- A sejtvázrendszer egyik fontos alrendszere.
- Nem elágazó, csőszerű rostok, ún. **mikrotubulusok** alkotják, melyek **tubulin fehérjéből** épülnek fel.
- A csövek egyik oldalukon növekednek **polimerizáció** révén, a másik oldalukon rövidülnek **depolimerizáció** miatt.



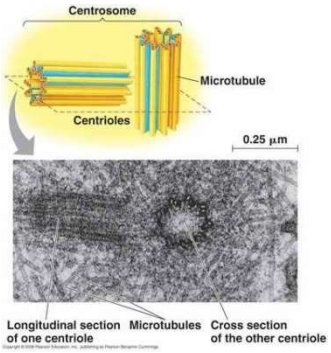
- **Irányítja a sejten belüli mozgásokat (kromoszómák, sejtszervecskék)**.
- **Felépítik a centriolumokat, a sejtközpontot, a csillókat, az ostorokat és azok alapi testét** (mikrotubuláris organellumok).
- **Mikrotubulusok alkotják a kromoszómákat mozgató magorsófonalakat.**

Centriolum



- 9 x 3 **mikrotubulus** alkotja.
- A centriólumok főleg a **sejtosztódásban játszanak fontos szerepet, mivel a kromoszómák mozgásáért felelős sejtközpont felépítésében vesznek részt.**
- **Továbbá az ostorok és a csillók alapi testét képezik.**

Sejtközpont (citocentrum)



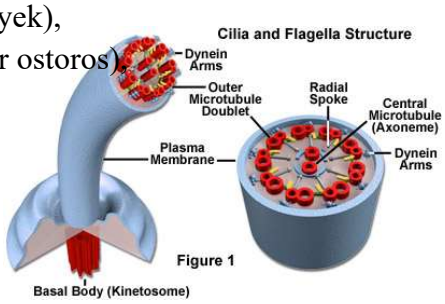
- **Két centriolum** található a **sejtközpontban** egymásra merőlegesen, a sejtmag mellett.
- A sejtosztódás előtt a **sejtközpontok** megkettőződnek, majd ezután a **centriólumpárok** a sejtek ellentétes pólusára vándorolnak, s irányítják a kromoszómák mozgását.

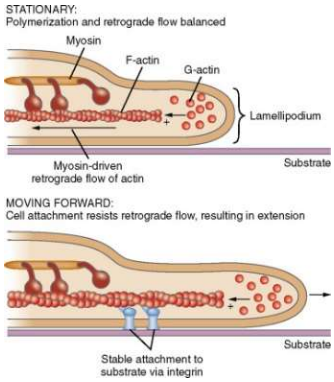
Csilló és ostor

- Egyes sejttípusok felszínéről kinyúló, **mozgékony, állandó sejtnyúlványok**.
- **Szerkezetük lényegében azonos**,
  - ha **sok van és rövidek, akkor csilló,**
  - **ha kevés és hosszú, akkor ostor.**
- Kívülről sejtmembrán borítja, tövüknél **alapi test** – centriolum - található.
- Jellegzetes evező mozgást végeznek.
- **Körben kilenc mikrotubuluspár, középen két mikrotubulus helyezkedik el.**
- A szomszédos mikrotubulusok elcsúsznak egymás mellett, ami a csilló meggörbüléséhez vezet. Ehhez **ATP bontásából származó energia szükséges.**

Az **ostor előfordulása**:

- általában a **hímivarsejteknél** (kivéve virágos növények),
- **ostoros egysejtűeknél** (zöld szemesostoros, álomkór ostoros),
- **szivacsok galléros-ostoros sejtjeinél**.





A **csilló előfordulása**:

- **csillós egysejtűeknél** (papucsállatka),
- **örvényférgek bőrizomtömlőjének felszínén**,
- **szárazföldi gerincesek légutaiban**,
- **gerincesek petevezetőjében**.

Állábas – amőboid - mozgás

Az állábas mozgás az eukarióta szerveződés minden szintjén megjelenik. **Így történik**

- **az amőbák helyváltoztatása,**
- **a szivacsokban a vándorsejtek mozgása,**
- **a gerincesekben az immunrendszer fagocitáinak vándorlása.**

Az állábas mozgáshoz feltétlenül valamilyen **szilárd aljzatra** van szükség. A mozgás során különböző **ingerek hatására** – pl. kémiai ingerek, táplálék – a sejt az ingerforrás felé **citoplazmanyúlványokat fejleszt**, melyeket **állábnak** nevezünk. Az álláb képződése a sejtvázhoz tartozó aktin fehérjék polimerizációjával kapcsolatos, komplikált mechanizmus.

A mitokondrium

Eukarióta sejtekben a **lebontó folyamatok** – **biológiai oxidáció** - nagy része külön sejtszervecskékben, a **mitokondriumokban** zajlik.

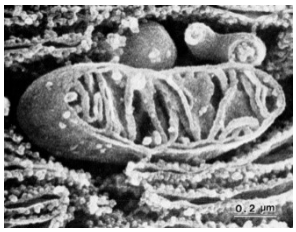
A mitokondriumokban folyik

- **a citrát-ciklus,**
- **a terminális oxidáció.**

Prokarióta sejtekben a mitokondrium funkcióit – pl. terminális oxidáció - a sejthártya betüremkedései során létrejövő membránrendszer végzi.

A **mitokondriumok minden eukarióta – növényi, állati, gomba - sejttípus alapvető sejtszervecskéi**. Mivel a disszimiláció során a terminális oxidációban keletkezik a **legtöbb ATP**, ezért a mitokondriumokat a sejtek **erőműveinek** tekinthetjük.

A mitokondriumok mérete, alakja, egy-egy sejtben számuk rendkívül változatos.



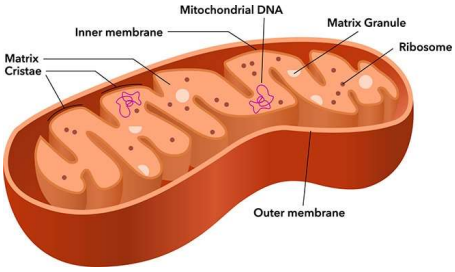
- **Méret:** baktérium méretűek, hosszuk 5-1O mikrométer.
- **Alak:** fonalszerű (mítosz), ill. gömbszerű (kondrion), lehet ovális.
- **Számuk:** egysejtűekben 1-2, emlősök májsejtjében több ezer, kétéltűek petéjében akár 3OO OOO. **Mennyiségük arányos a sejtek lebontó anyagcseréjének intenzitásával.**

Felépítés

Kettős membránrendszerből épülnek fel. A citoplazmától a **külső határoló membrán** választja el, amely alatt található a változatos felépítésű **belső membrán.** (Mintha egy kisebb zsákba begyűrnénk egy nagyobb zsákot.) A két membrán között rés található, amelyet **külső kamrának** nevezünk. A belső membrán által határolt teret **belső kamrának** nevezzük, az azt kitöltő anyagot pedig **mátrixnak** hívjuk, ez a mitokondrium **alapállománya**.

A **mátrixban találhatók**

- **a citrát-ciklus enzimjei,**
- **a mitokondriális DNS, RNS-ek,**
- **riboszómák.**



A mitokondrium két membránja igen eltérő felépítésű és működésű.

A **belső membrán** belső felületén apró **gömbök** – ATP-szintázok - találhatók, melyek vékony nyéllel kapcsolódnak a belső membránhoz. Ezek a részecskék az **ATP-képződés** helyei.

Ugyanitt – a belső membránban - található a **terminális oxidáció teljes enzimkészlete** és az **elektrontranszportlánc**. Az enzimek, a **citokrómok** membránban való elhelyezkedése biztosítja, hogy az egyes lánctagok megfelelő sorrendben kövessék egymást. Ez lehetővé teszi a folyamatok összerendezését, azok **egyirányúságát**.

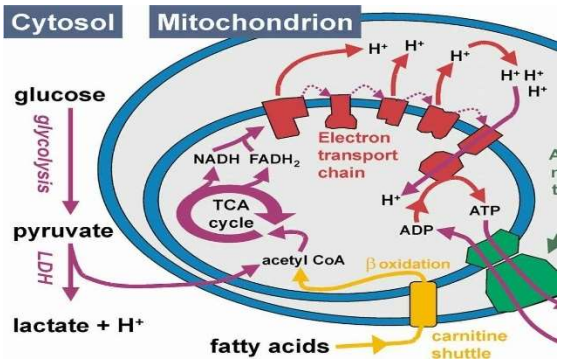
A **külső membrán** feladata a mitokondrium belső állományának az elhatárolása és összekötése a citoplazmával. Ennek megfelelően elsősorban **transzportfolyamatokat** lát el, így membránjában igen sok szállítófehérje van.

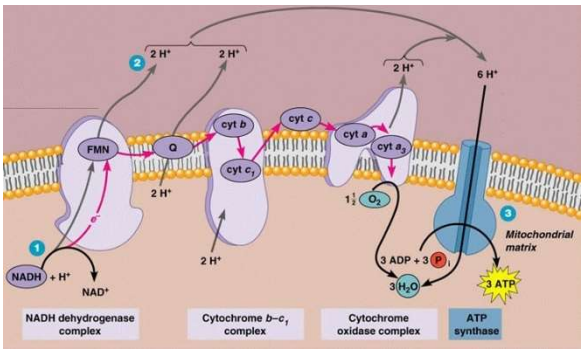
A mitokondrium működése

A **citoplazmában** folyik a szénhidrátlebontás **glikolízis** szakasza, a glükóztól kiindulva a piroszőlősav (PS) keletkezéséig.

Anaerob körülmények esetén a PS a citoplazmában marad és **erjedés útján** alakul tovább (pl. emlősök vázizomrostjaiban tejsavvá).

- **Aerob körülmények** között a **PS** a citoplazmából bejut a mitokondrium belső terébe, s ott egy enzim segítségével **acetil-csoporttá alakul**.
- Az **acetil-csoport bekerül a mátrixban zajló citrát-ciklusba**.
- A felszabaduló CO_2 eltávozik, és a keletkező **H-ek NADH közvetítésével eljutnak** a belső membránban található **elektronszállító-rendszerhez**, amelynek elején a **protonok és az elektronok szállítása különválik**.





- Az elektronok áramlásának eredményeképpen a **felszabaduló energia protonok szállítására fordítódik a mátrixból a külső kamrába**.
- A protontranszport eredményeképpen a **külső kamrában jelentősen megnő a protonkoncentráció,** így a membrán két oldalán kialakul egy **protonkoncentráció-gradiens**.
- Amikor a **protonkoncentráció-kiegyenlítődés** megindul, a belső membránban lévő **ATP-szintázok** segítségével, a felszabaduló energia **ATP szintézisére** fordítódik.

- **Az elektronokat végül a légköri oxigén veszi fel, amely a beáramló protonokkal vízzé egyesül.**
- **Összefoglalva:** $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6H_2O + 6CO_2$

Az ATP-képződés mechanizmusát a Mitchell-féle **kemiozmotikus elmélet** írja le, **melynek lényege,** hogy az **elektronok áramlása közben felszabaduló energia segítségével az elektron transzportlánc fehérjéi protonokat pumpálnak** az **alapállomány felől a külső kamrába**. A folyamat többszöri lejátszódása miatt jelentős **protonkoncentrációbeli különbség alakul ki** a belső membrán két oldala között. A különbség kiegyenlítését az alapállomány felé néző enzimkomplex, az ATP-szintáz végzi. Az enzimkomplexen **átáramló protonok energiája ATP-szintézisre fordítódik**.

A mitokondriumban keletkezett **ATP kijut a mitokondriumból** és a **sejt egyéb energiaigényes folyamataihoz felhasználódik (pl. felépítő folyamatok, aktív transzport).**

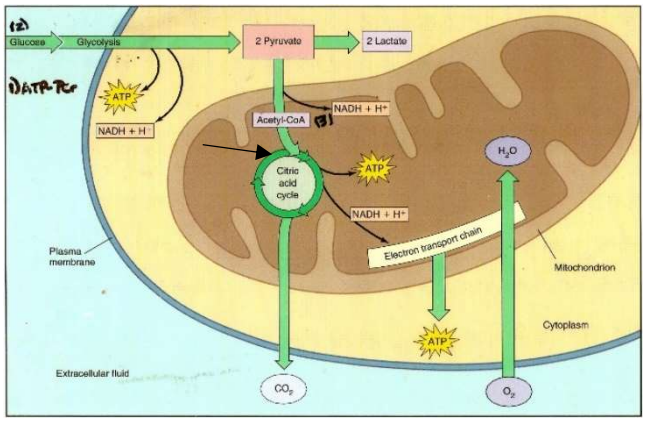
Összefoglalva a citoplazma és a mitokondrium kapcsolatát:

Citoplazmából a mitokondriumba:

- piroszőlősav,
- NADH,
- elemi oxigén, O_2,
- ADP + P.

A mitokondriumból a sejtplazmába:

- ATP,
- NAD^+,
- víz,
- CO_2.



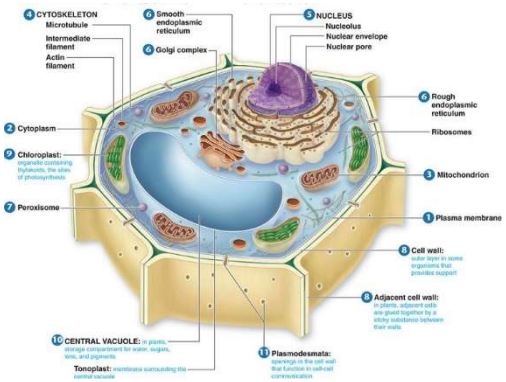
A petesejtben több százezer mitokondrium van, a spermiumban azonban csak alig néhány száz. A megtermékenyítés után a **zigótában** egyedül az anyától, a **petesejtből származó mitokondriumok találhatók meg**, mivel a spermiumok petesejtbe bejutó feji része nem tartalmaz mitokondriumokat. A **mitokondriális géneket tehát kizárólag az anyától kapja** az utód, az ezek által meghatározott tulajdonságok csak **anyai úton öröklődnek.**

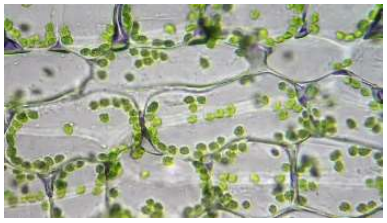
A mitokondriumok DNS-üknek, riboszómáiknak köszönhetően képesek megkettőződni.

Számos betegség a mitokondriális DNS mutációi következtében alakul ki. Mivel a mitokondrium fő funkciója az energiatermelés, ezért a **mitokondriális betegségek a legnagyobb energiaigényű szerveket érintik leginkább, mint pl. a vázizomzatot, ill. az idegrendszert.**

Plasztiszok-színtestek

A **színtestek** vagy plasztiszok a növényi sejtekre jellemző, **kettős membránnal** határolt sejtszervecskék. A citoplazmában helyezkednek el, kiemelkedő jelentőségűek a sejtek **felépítő** anyagcsere folyamataiban. Egysejtű és többsejtű növények sejtjeire jellemzők, **prokariótákban, állatokban, gombákban nem találhatók meg**.



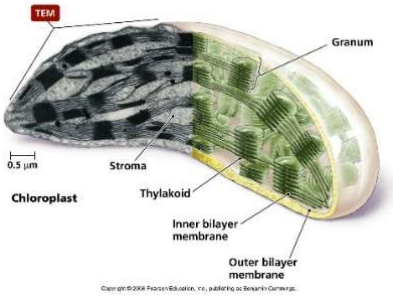


A színtestekben lévő színanyagok ill. működésük alapján több típusukat különböztetjük meg, legfontosabbak a többnyire **zöld színű**, **klorofillokat** tartalmazó, fotoszintetizáló **kloroplasztiszok-zöld színtestek.**

A kloroplasztiszok-zöld színtestek

A legjellemzőbb növényi sejtszervecskék, amelyek a **fotoszintézis** lebonyolításában vesznek részt, így jelentőségük az egész földi élet szempontjából rendkívüli. Jellemzően előfordulnak a **táplálékkészítő alapszövet sejtjeiben,** továbbá a **bőrszöveti zárósejtekben, ugyanakkor fénytől elzárt növényi részekben – pl. gyökerekben – nem találhatók meg.**

Felépítés

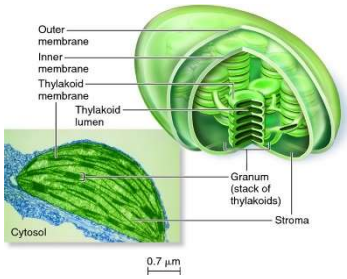


Minden kloroplasztiszt **kettős membrán** határol el a citoplazmától. Belsejében a finoman szemcsés alapállományt **sztrómának** nevezzük. **A sztrómában zajlik** a fotoszintézis **sötét szakasza, emiatt sok keményítőszemcsét tartalmaz.**

Ezenkívül található még itt **DNS, RNS, riboszómák**, amely arra utal, hogy a plasztiszoknak bizonyos fokig **önálló genetikai és fehérjeszintetizáló apparátusuk** van. A DNS-tartalommal hozzák összefüggésbe a kloroplasztiszok **osztódóképességét**.

A sztrómában **belső membránrendszer** van, amelyet **tilakoid-membránnak** nevezünk. A belső membránrendszer felépítése alapján megkülönböztetünk **lemezes, ill. gránumos** kloroplasztiszokat. **A lemezes kloroplasztiszok** eukarióta moszatokban fordulnak elő.

A **gránumos kloroplasztiszok** mohákban, harasztokban, valamint nyitva- és zárvatermő magvas növényekben találhatók meg.



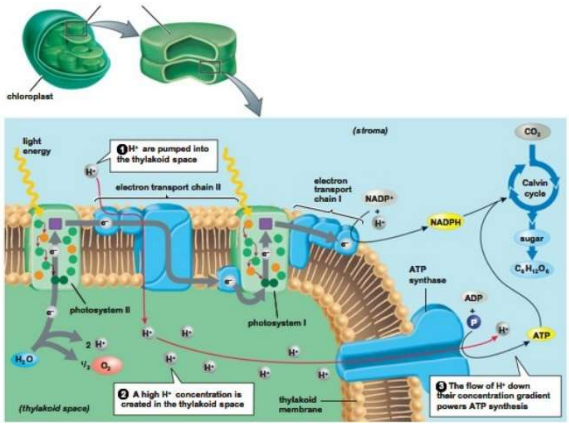
- **Számuk** változatos, egy-egy sejtben akár több száz is lehet.
- **Alakjuk** főleg lencse vagy gömb.
- **Méretük** 5-8 mikrométer.

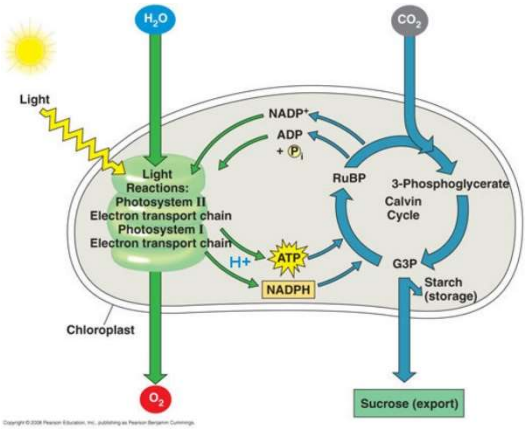
A belső membránrendszer

A tilakoid membrán **korongokat** képez, melyek oszlopokká – **gránumokká** szerveződnek. A **gránumok** alakja az egymásra helyezett **korongokból álló oszlopra** hasonlít leginkább. Az egyes gránumok nem függetlenek egymástól, hanem összeköttetésben állnak. Megfigyelhető, hogy egy-egy membránlemez áthúzódik egy vagy több gránumon.

A tilakoid membránok felépítése, működése

- A kloroplasztiszt körülvevő kettős határolómembrán nem vesz részt a fotoszintézisben, hanem működése elsősorban szállítófolyamatokkal kapcsolatos.
- A **gránumok membránjában zajlik a fotoszintézis fényszakasza**.
- A fényenergia megkötését a tilakoid membránban lévő **pigmentrendszerek** végzik.
- A fotorendszereket az elektronszállító-rendszer köti össze.
- A **fotolízis a gránumok belső terében játszódik le**, a keletkező elektronok az elektronszállító-rendszerbe kerülnek, a felszabaduló protonok pedig a membránzsákok belső terében halmozódnak fel.





- Az elektronok áramlásakor felszabaduló energia közvetlenül arra fordítódik, hogy a gránumok membránjában található **protonpumpák protonokat szállítanak a sztrómából a gránumok belsejébe.**
- Ennek köszönhetően a gránummembrán két oldala között jelentős **proton koncentrációkülönbség** alakul ki.
- A protonok kiáramlását a sztrómába speciális enzimek, ún. **ATP-szintázok** teszik lehetővé.
- A protonok koncentrációjának kiegyenlítődése **energiafelszabadulással** jár, amely **ATP szintézisére** fordítódik.
- A sztrómába kijutott protonok az elektronokkal egyesülve H-atomként a NADP-hez kapcsolódnak, amely így NADPH-vá alakul.

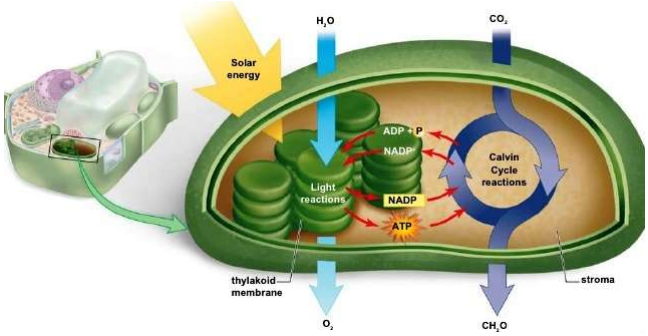
A citoplazma és a zöld színtest kapcsolata:

Citoplazmából a színtestbe:

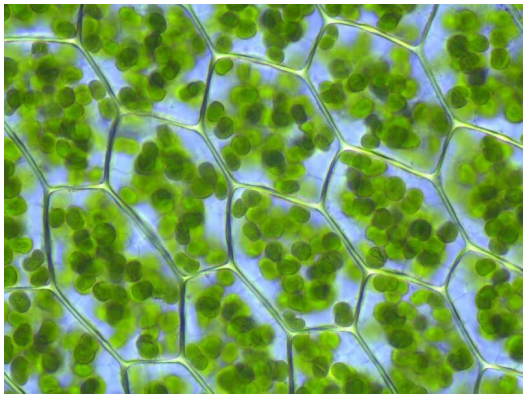
- CO_2,
- H_2O.

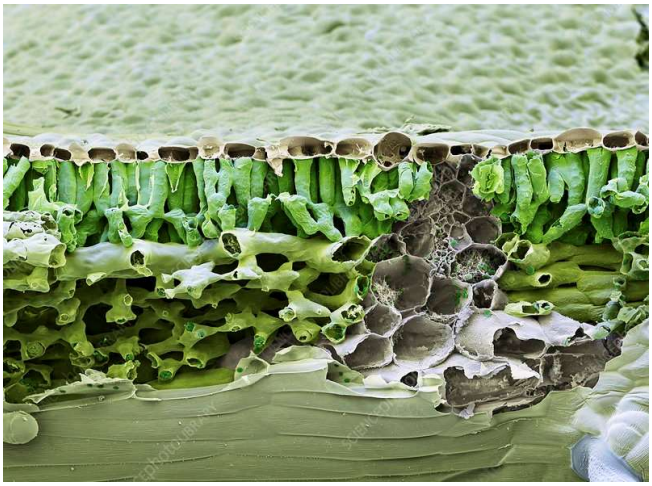
A színtestből a citoplazmába:

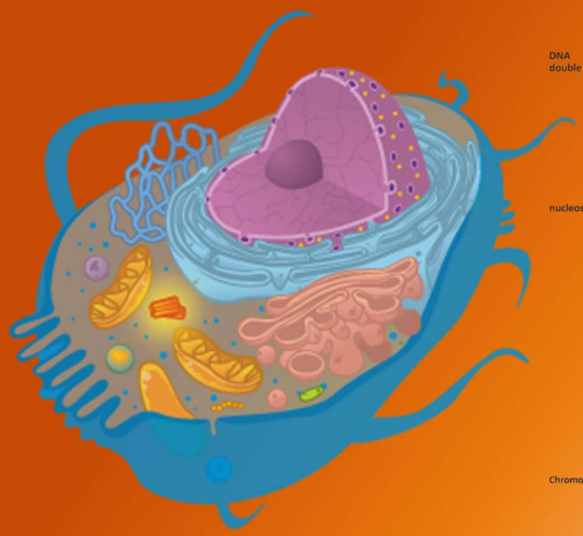
- O_2,
- glükóz.

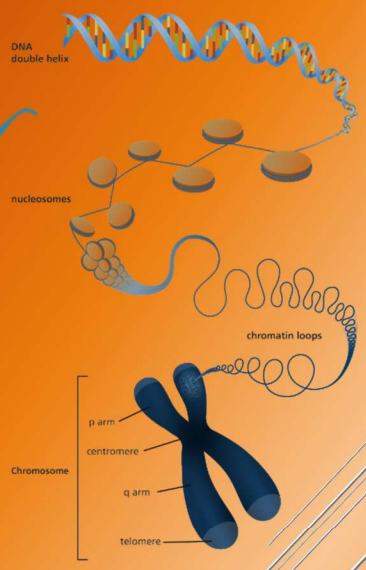


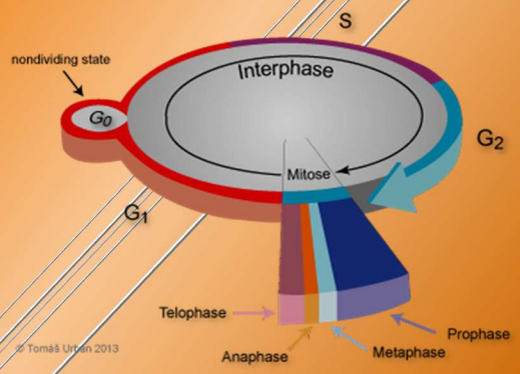
Tehát a színtestben keletkezett ATP kizárólag a sötét szakaszban használódik fel, amely a sztrómában játszódik le.



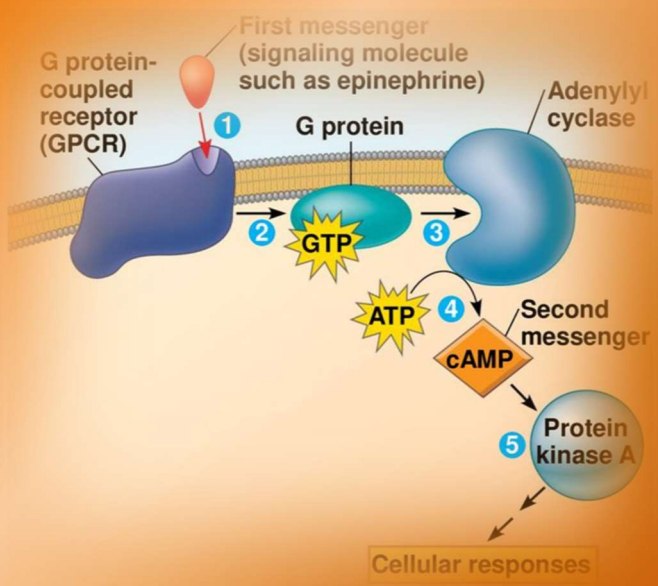


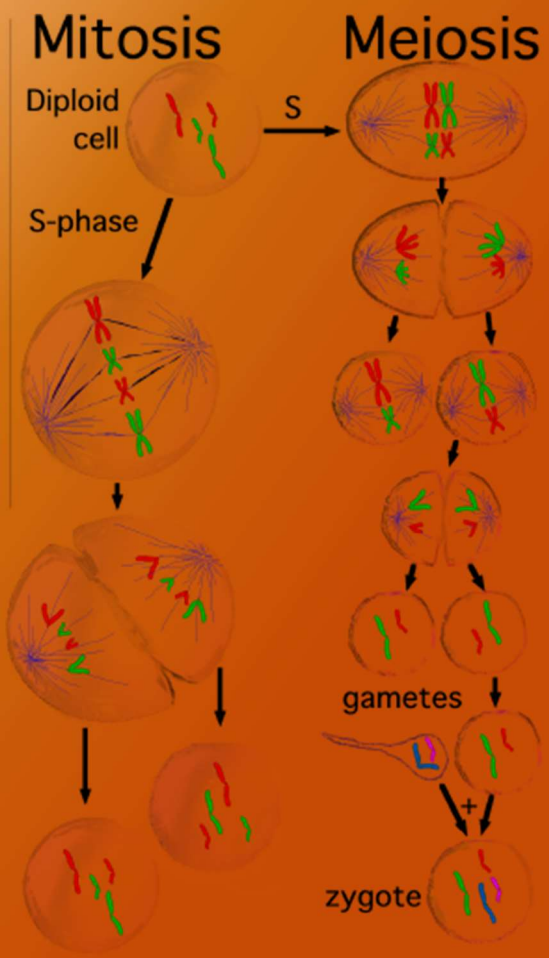






OSZTÓDÁS, SEJTCIKLUS A SEJTMŰKÖDÉSEK SZABÁLYOZÁSA ÉS A SEJTEK KÖZÖTTI KOMMUNIKÁCIÓ





2.3. Sejtalkotók (az eukarióta sejtben)

2.3.5. Osztódás

Kulcsfogalmak

- Sejtciklus, sejtosztódás, mitózis, meiózis, testi sejt, ivarsejt, kromoszóma, sokféleség,
- sejtosztódás szakaszai.

Gondolkodási művelet

- Magyarázza a számtartó és a számfelező osztódás szerepét a testi- és ivarsejtek létrejöttében és a genetikai sokféleség kialakulásában, fenntartásában.
- Ismertesse a kromoszóma fogalmát és genetikai értelmezését (kapcsoltsági csoport), az emberi testi sejtek és ivarsejtek kromoszómaszámát.
- Kösse a sejtosztódást megelőző szakaszok lényegi folyamatait a sejtciklus szakaszaihoz (G1, S, G2, M). Magyarázza a sejtciklus sejtosztódást megelőző szakaszainak lényegét (felkészülés az osztódásra, DNS megkettőződés, ellenőrzés, javítás).
- Hasonlítsa össze a mitózist és a meiózist (részfolyamataik, előfordulásuk, a genetikai információ mennyiségének és minőségének változása).
- *Rakja sorrendbe a sejtosztódás szakaszait rajzolt ábrák vagy képek alapján, párosítsa a szakaszokat a bennük zajló folyamatokhoz.*

2.3.6. A sejtműködések szabályozása és a sejtek közötti kommunikáció

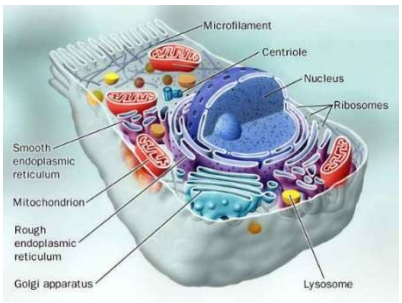
Kulcsfogalmak

- Irányítás, vezérlés, szabályozás, „kell” érték, „van” érték, hibajel, jeladó (sejt), jel (elektromos jel, kémiai anyagok), csatorna (testfolyadék, szinapszis), receptor (jelfogó),
- sejtfelszíni receptor, sejten belüli receptor, sejten belüli (másodlagos) hírvivők (cAMP, Ca^{2+}), kinázok, G fehérje, foszforiláció, jelerősítés.

Gondolkodási művelet

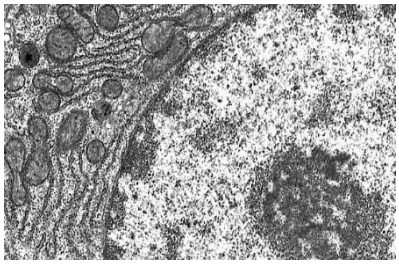
- Értelmezze leírt példa alapján a sejten belüli és a sejtek közötti jelforgalmi hálózatok biológiai jelentőségét a sejt működésének szabályozásában, a sejtek közötti kommunikációban.
- Ismertesse, hogy a sejt hogyan válaszolhat külső és belső ingerekre (sejten belüli anyag koncentráció változása, működésének megváltozása: alak-, anyagcsere- vagy elektromos változás, elválasztás, génátírás).
- Elemezze leírt példa alapján a sejten belüli és a sejtek közötti jelforgalmi hálózatok biológiai jelentőségét a sejt működésének szabályozásában, a sejtek közötti kommunikációban.
- Magyarázzon rajzolt ábra segítségével jelátviteli mechanizmust az adrenalin (glikogénbontó enzimre) és a glukokortikoidok (transzkripcióra) gyakorolt hatásának példáján.

A sejtmag



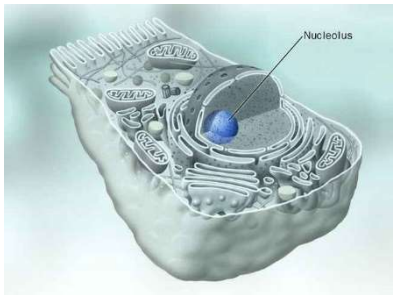
A sejtmag az **eukarióta sejtek fő sejtszervecskéje**, nélkülözhetetlen alkotórésze. Hiányában a citoplazma egy idő múlva beszünteti a működését, és a sejt előbb-utóbb elpusztul, még akkor is, ha annak elvesztése normális sejtfejlődési folyamat eredménye, mint pl. az emlősök vörösvértestjeinél.

Ennek az a magyarázata, hogy a sejtmagban található a DNS-állomány, a **sejt „agya”**. A sejtmag az **anyagcsere irányításának élettani központja és a sejt öröklődő információinak tárolója.**



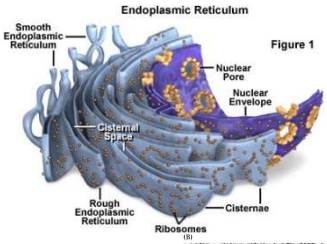
A sejtmagvacska

A sejtmagon belül egy erősebben festődő terület. A magvacska **szerepe a riboszómák szintézise, raktározása**. Itt találhatók a DNS-en sokszorosan ismétlődve az ún. rRNS gének, itt szintetizálódnak az rRNS molekulák. A citoplazmából bejövő riboszóma fehérjékkel itt szerelődnek össze a riboszóma alegységek, melyek ezt követően elhagyják a sejtmagot. A sejtmagot a **maghártya** határolja, ezért jól láthatóan elkülönül a citoplazmától.



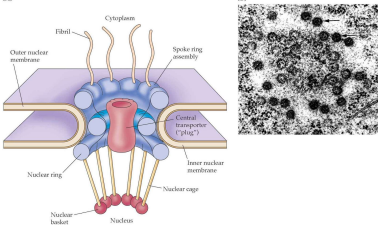
A magok száma

Általában a sejtek egy sejtmagot tartalmaznak, de ismertek **többmagvú óriássejtek** is, mint pl. a **gerincesek vázizomrostjai**, ahol egyetlen izomrostban akár több ezer sejtmag is megtalálható.

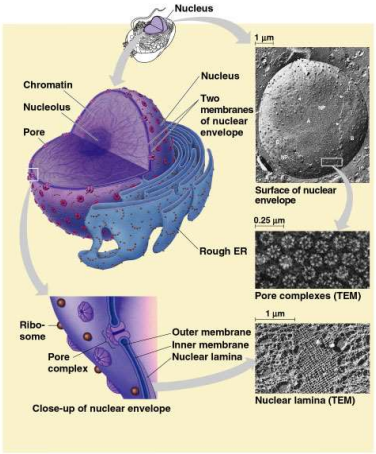


A maghártya felépítése, működése

A maghártyát **kettős membrán** építi fel, amely áll egy citoplazma felőli **külső lemezből** és egy, a magnedv felőli **belső lemezből**. A külső lemez **közvetlen kapcsolatban áll a RER**-rel, s így citoplazma felőli részéhez **riboszómák** kapcsolódnak.



A maghártya alapvető feladata a mag belső állományának az elhatárolása, ill. transzportfolyamatai révén összekötése a citoplazmával. A transzportfolyamatok nagyrészt az ún. **magpórusokon** keresztül játszódnak le. A pórusok nem egyszerű lyukak, hanem nyílásukat egy összetett szerkezetű, ún. **póruskomplex** zárja le.



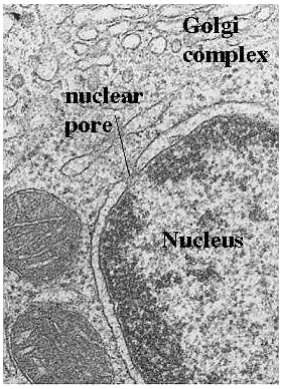
Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

A magpórusok bonyolítják pl.:

- **az mRNS transzportját** a citoplazmába,
- **a különböző enzimek (replikáció, transzkripció) transzportját a magba.**

A maghártya a mag belső állományát, az ún. **magnedvet** veszi körül.

A magnedv



Összetétele: víz, ionok, **fehérjék, nukleinsavak (DNS, RNS).**

A fehérjék 2 csoportba oszthatók:

1. Hisztonfehérjék, amelyek a DNS-hez kapcsolódnak és **stabilizálják a szerkezetét.**

2. Nem hisztonfehérjék, melyek 3 csoportba sorolhatók:

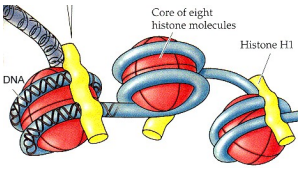
- **enzimek (pl. DNS-, RNS-polimerázok),**
- **génműködést szabályozó fehérjék (pl. represszorok),**
- **szerkezeti fehérjék a sejtmagváz** kialakításában játszanak szerepet.

A kromatinállomány (A sejtmag nukleinsav-állománya, hisztonfehérjék)

A mag belső állományát festődése miatt **kromatinállománynak** nevezték el (kroma = szín gör.).

A kromatin elektronmikroszkópos szerkezete

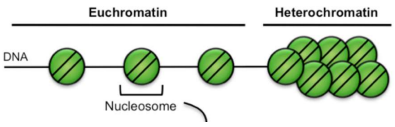
Nem osztódó sejtekben a sejtmag állománya elektronmikroszkópos felvételeken világosabb és sötétebb területekből áll. Ezeken belül, ún. **kromatinrostok** figyelhetők meg, amelyek **DNS-ből és fehérjékből állnak**. A **rostok együttese a kromatinállomány**.



A kromatin elemi egységei a **nukleoszómák,** melyek hisztonkorongokra feltekeredett hiszton-DNS komplexek.

A kromatinnak festődés alapján két állományát különböztetjük meg.

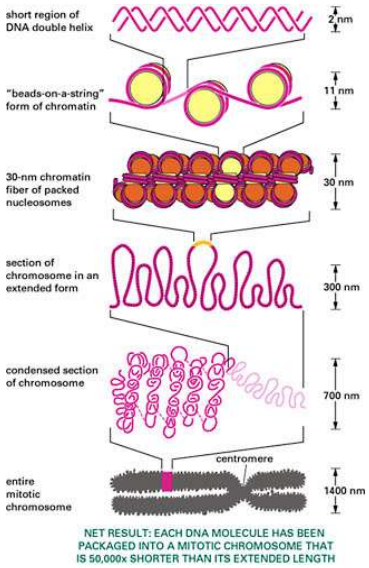
- Az erősebben festődő részt **heterokromatinnak,**
- a világosabb területeket **eukromatinnak** nevezzük.



Az eltérő festődés különböző szerkezetre vezethető vissza.

- A lazább, kitekeredett szerkezetű **eukromatin a DNS működő formája**, ezeken a helyeken folyik a **transzkripció.**
- **A tömörebb szerkezetű heterokromatin a DNS inaktív formája,** ezeken a szakaszokon **átírás nincs**.

A heterokromatinban a nukleoszómafüzér egy **spirál** mentén tekeredik fel, ahol már az egyes nukleoszómák érintkeznek egymással, tehát igen sűrűn helyezkednek el.

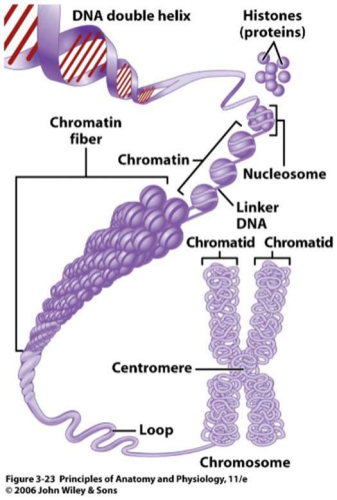


A **sejtosztódások közötti időszakban** - az interfázisban - a **kromatinállomány többnyire laza** szerkezetű, a **DNS egyes szakaszairól – a génekről - intenzív átírás folyik**, a sejt működik (eukromatin).

A kromatinállomány szerkezete azonban a sejtosztódás ideje alatt jelentősen megváltozik, erősen spiralizálódik, sűrűsödik, a DNS-állomány igen kis területen csomagolódik össze.

A kromatinállomány eme erősen felcsavarodott formáját hívjuk **kromoszómának.**

A kromoszóma szerkezete

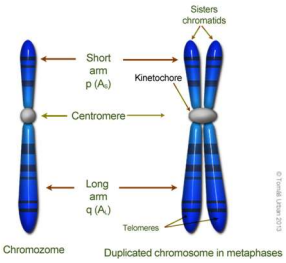


A sejtosztódás idejére kialakuló kromoszóma az előzőleg megkettőződött kromatinállomány – DNS-állomány - transzportformája. A jelentős sűrűsödés lehetővé teszi az egyébként rendkívül hosszú DNS mozgatását a sejten belül.

Az eukarióta kromoszóma két DNS-molekulából áll, amelyek egyetlen DNS megkettőződésével jönnek létre. A két DNS-molekula jól láthatóan elkülönül egymástól és a **két ún. kromatidát** alkotja, melyek genetikai tartalma teljesen megegyező. A kromatidák DNS kettős hélixeiben az egyik szál a régi DNS-ből származik, a másik szál újonnan szintetizálódik (szemikonzervatív replikáció).

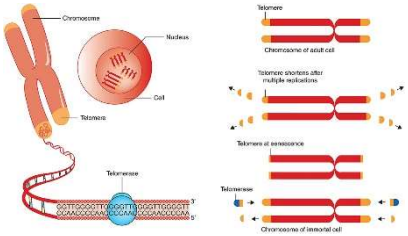
Az **osztódás alatt a kromoszómák jól láthatók**, megrövidülésük ekkor éri el a legnagyobb mértéket, ezért szerkezetük vizsgálata ekkor a legalkalmasabb (metafázisban).

Alak



Minden kromoszómán megfigyelhető egy **elvékonyodás**, az ún. **elsődleges befűződés** vagy másképpen centromer.

A kromoszómák végeit **telomeráknak** nevezzük. A telomerek genetikai információt nem hordoznak, az a szerepük, hogy **védjék a kromoszómák információt hordozó részeit a sérülésektől, ill. az összetapadástól** az **osztódások során**, mivel **minden egyes osztódáskor a kromoszómák végei töredeznek, megrövidülnek**.



A telomerek szintéziséért a **telomeráz** enzim felelős, amely aktivitása testi sejtekben olyan alacsony, hogy a telomerek minden osztódás alkalmával egyre rövidülnek, mígnem annyira elfogynak, hogy nem tudják megakadályozni a kromoszómák összetapadását. A kromoszómák fúziója következtében a DNS-állomány a sejtosztódáskor feltöredezik, ami a sejtek öregedését, halálát, ill. daganatos elváltozását eredményezheti.

A daganatos sejtek ugyanakkor képesek telomeráz enzim 'bekapcsolásával' elérni a korlátlan és nagyon gyors osztódási állapotot. Ezek a sejtek a telomerek folyamatos megújulásának köszönhetően nem öregszenek.

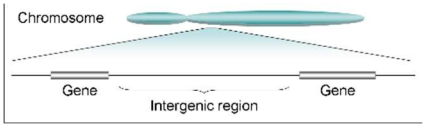
A kromoszómák száma

Fajra jellemző és mindig állandó. Általában nincs összefüggés a kromoszómaszám és az illető faj fejlettsége között. A kromoszómaszám lehet

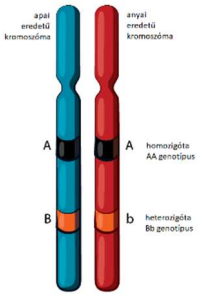
- **egyszeres**, ahol minden kromoszómából csak egy van, az ilyen sejteket **haploid** sejteknek nevezzük, jelölésük: **n.**
- A kromoszómaszám lehet **kétszeres**, ahol minden kromoszómából kettő van, azaz két kromoszóma azonos alakú, méretű és ugyanazokat a géneket hordozzák. Az ilyen sejtek **diploid** sejtek, jelölésük: **2n.** A kromoszómapárok egyike **apai**, a másik **anyai** eredetű. Ezeket **homológ kromoszómáknak** nevezzük.
- **Állatokban** az **ivarsejtek** - petesejt, hímivarsejt - mindig **haploidok**, a **testi sejtek diploidok.**
- **Növényeknél** a **spórák** és a belőlük fejlődő **ivaros nemzedéknek sejtjei** és az **ivarsejtek** mindig **haploidok**, a **testi sejtek** lehetnek **haploidok (mohák)**, **diploidok** egyaránt.

Váltivarú szervezetekben az egyik kromoszómapár két tagja - általában hímnemű egyedekben – alakilag, méretileg eltér egymástól. Ezeket a kromoszómákat **ivari kromoszómáknak** nevezzük, ezek a nemiség meghatározói.

A **faj haploid sejtjeire jellemző kromoszómák összességét kromoszómaszerelvénynek** nevezzük. A diploid sejtekben kétszeres, a haploid sejtekben egyszeres a kromoszómaszerelvény.



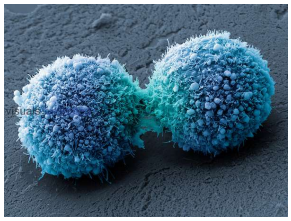
Az **információ a DNS-ben nem kontinuus**. **Emberben** ma kb. **21 000 gén** létét feltételezik, aminek **mérete a teljes genom 1-2 %-a**, azaz a **gének kisebb-nagyobb távolságra találhatók egymástól** és őket át nem íródó szakaszok választják el.



Az emberi gének száma kb. 21 000, a kromoszómák száma 23 pár. Ebből következik, hogy kromoszómánként legalább 1000 génnek kell elhelyezkednie. **Az egy kromoszómán elhelyezkedő gének kapcsoltan öröklődnek, kapcsoltsági csoportot** alkotnak.

A sejtmag állapotai

A soksejtű szervezetek kifejlett állapotban nagyszámú és sokféle sejtből épülnek fel, pl. egy átlagos súlyú felnőtt emberi szervezet kb. $1O^{14}$ (1OO billió) sejtből áll. Ezek folyamatosan elhasználódnak, pusztulnak, ezért állandóan pótlódniuk kell.



Ez utóbbi nagyságának érzékeltetésére: egy felnőtt ember ereiben 5 liter vér kering, egy köbmilliméter vérben 5 millió vörösvértest van, ez tehát 5 literre számítva összesen 2,5 x $1O^{13}$ vörösvértestet jelent. E sejtek átlagos élettartama 12O nap, azaz 12O nap alatt 2,5 x $1O^{13}$ új vörösvértestnek kell képződnie, ami pedig minden másodpercben 2,5 millió sejtosztódást jelent.

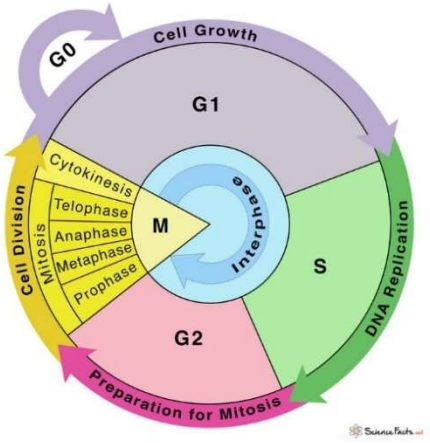
A sejtek azonban nemcsak sokasodnak, hanem növekednek és fejlődnek is.

Egy sejt miután létrejött **két fejlődési út** elé nézhet:

- **Soha többé nem osztódik**, **megindul a differenciálódás** útján, **specializálódik** valamilyen szöveti sejtté alakul (G_0 fázis). Ez jellemző sejtjeink többségére.
- A másik lehetőség szerint, a sejt rövid pihenőt követően **ismét osztódik**, amikor is az osztódás és az osztódások közötti időszakok szabályosan követik egymást. Ebben az esetben **sejtciklusról** beszélünk. Ez jellemző az embrionális sejtekre, ill. az állandóan osztódó sejtekből álló szövetekre, mint pl. **vörös csontvelő**, **bélhám**, **többrétegű elszarusodó hám, ivarszervek csírahámjai, továbbá ilyenek a tumorsejtek**.

A sejtciklus alapvetően két részre osztható:

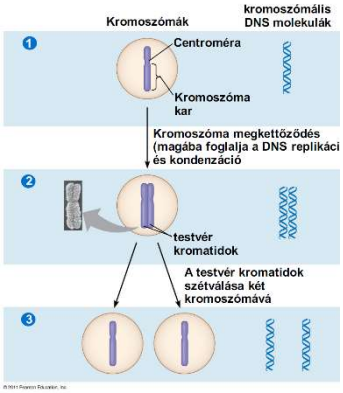
- az **osztódás** fázisára,
- az osztódások közötti ún. **interfázisra.**



1. Az **interfázisos** magban
   - a **maghártya** élesen elkülöníti a mag állományát,
   - belsejét a **kromatinállomány** tölti ki.
2. Az **osztódó magban**
   - a **maghártya feldarabolódik**, **majd eltűnik**,
   - a kromatinállomány kromoszómákká tömörödik, a **kromoszómák jól felismerhetőek.**

Az interfázis

Az interfázis a sejtmag **látszólagos** nyugalmi állapota. A nyugalmi szó pontatlan kifejezés, mert a sejt ilyenkor egyáltalán nem pihen, mert a sejtmagban ilyenkor **számos olyan folyamat zajlik, amely a sejtosztódást készíti elő**.



Az interfázist három szakaszra osztjuk:

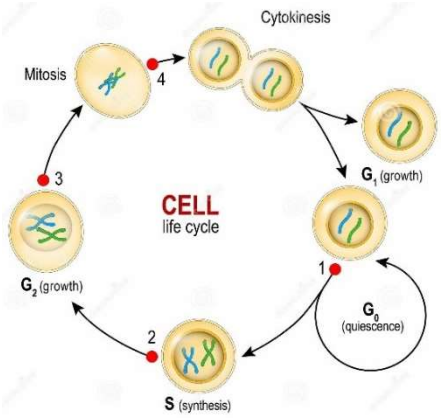
- **G_1 szakasz,** (G, angol gap = (idő)rés)
- **S szakasz,**
- **G_2 szakasz.**

A G_1 szakasz az osztódást közvetlen követi. A létrejött utódsejtek:

- **növekednek**,
- a **sejtszervecskék megsokszorozódnak**,
- lemerült **energiaraktáraikat feltöltik.**

Azok a sejtek, amelyek már nem osztódnak tovább, a G_1 szakaszból a G_0 szakaszba kerülnek, ahol a sejt **determinálódik** és valamelyik **differenciálódási** pályán indul el. Maga a determináció, az **elköteleződés** azt a pillanatot jelenti, amelyben az illető sejt egy specifikus fejlődési pályára lép. Ez egy adott genetikai program beindulását jelenti.

A **differenciálódás** a sejtek sokféleségének az alapja, amelynek **során** az eredetileg egyforma **sejtek** más és más **speciális képességekre tesznek szert**.



Az **S szakasz**

Az S fázisban történik:

- **a replikáció,**
- létrejönnek a kromoszómák másik kromatidái.

Az osztódás – mitózis - lényege: a megkétszereződött DNS-állomány – a két kromatida - két utódsejtbe való elosztása.

A **G_2 fázis**

- Rövid **nyugalmi szakasz**, amelyben a sejt létrehozza azokat az anyagokat, amelyek az osztódáshoz kellenek (pl. húzófonalak fehérjéit). **Mind a G_1, mind a G_2 szakaszra intenzív fehérjeszintézis jellemző.**
- **A sejtközpont kettéosztódik, a sejt két pólusára vándorol.**

A sejtek szaporodása

Az eukarióta sejtek osztódással szaporodnak. Az osztódás lényegesebb formái:

- **mitózis,**
- **meiózis.**

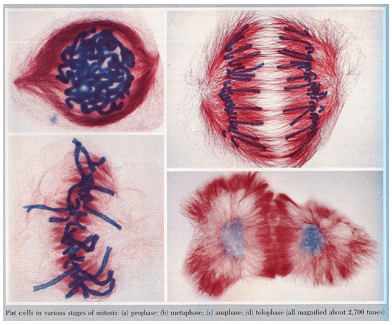
A mitózis

A mitózis **fonalas** sejtosztódást jelent (mitosz = fonál). A mitózis, más néven **számtartó** sejtosztódás **lényege**, hogy az **interfázisban megkettőződött DNS** - melyek a kromoszómák egyes kromatidáit alkotják – **egyenlő mértékben megoszlik a két utódsejt között, két utódsejtmag jön létre, amelyekben ugyanolyan számú kromoszóma van, mint az osztódás**

előtti magban volt. A számtartó sejtmagosztódás bonyolult, általában néhány óra alatt lejátszódó folyamat.

Mitózissal osztódnak:

- a **növények testi sejtjei,**
- **állatok testi sejtjei**, azaz a zigóta és az abból létrejövő sejtek.



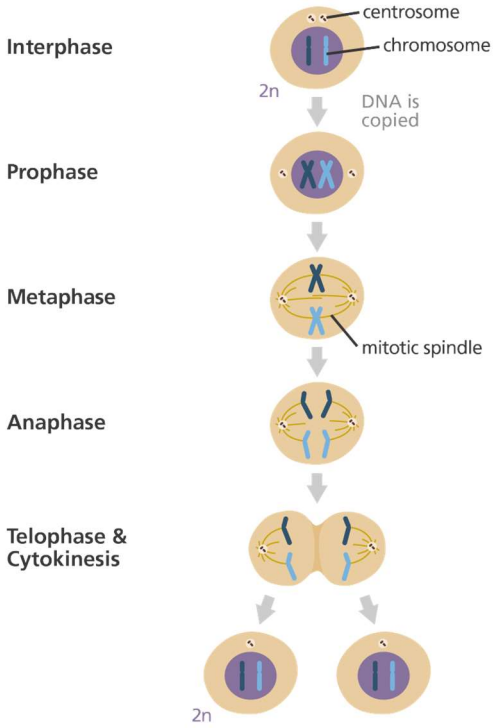
A mitózis folyamatán belül 4 fázist különböztetünk meg.

1. Előszakasz, profázis

- A mag térfogata megnő,
- a kromatin fokozódó tömörödése jellemzi, **láthatók lesznek a kromoszómák.**

2. Középszakasz, metafázis

- **Eltűnik a maghártya**,
- ekkorra a kromoszómák a legnagyobb mértékben rövidülnek,
- a **kromoszómákat a sejt középső síkjában rendezi el**,
- a kromoszómák centromérjeihez **húzófonalak kapcsolódnak**, ez a **magorsó**.



3. Utószakasz, anafázis

- A húzófonalak a **kromatidákat a sejt két pólusára mozgatják.**

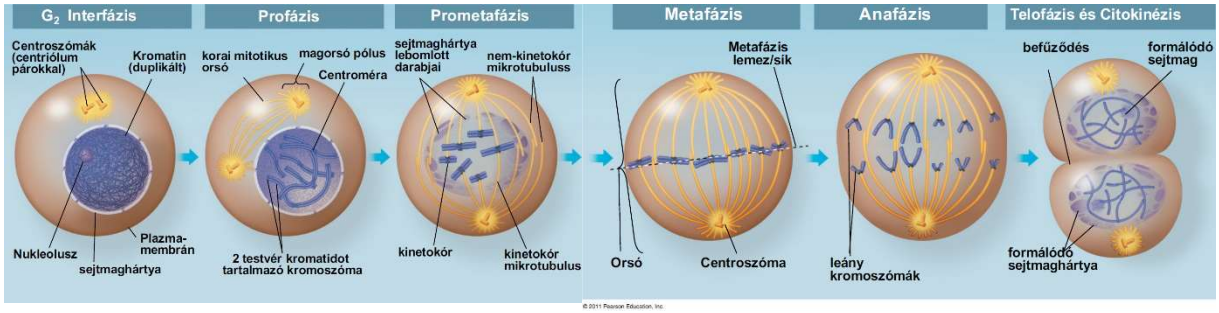
4. Végszakasz, telofázis

- A pólusokra érkezett **kromatidák fokozatosan kitekerednek**,
- **a magorsó eltűnik, új maghártya szerveződik,**
- **a sejthártya befűződik, a sejt kettéválik.**

A sejtmag osztódását a citoplazma osztódása követi, amelynek során a sejtszervecskék kb. egyenlő mértékben elosztódnak az utódsejtek között.

Minden mitózis után **két utódsejt keletkezik**, melyek **genetikailag azonosak egymással és az anyasejttel** (mutációtól, másolási hibáktól eltekintve).

Genetikai szempontból legfontosabb eseménye az, hogy a két kromatidából álló **kromoszómák kromatidái** (DNS kettős hélixei) az osztódás során **szétválnak**, majd az utódsejtekbe kerülnek. Az utódsejtekben tehát ismét egy kromatidából (egy DNS kettős hélixből) álló, **de változatlan kromoszómaszámú** kromoszómakészlet található.



Meiózis

- A meiózis az **állati ivarsejtek, növényi, ill. gombaspórák termelésére** specializálódott **diploid sejtek osztódástípusa**.
- A meiózis során egyetlen diploid anyasejtből **4 haploid utódsejt keletkezik**.
- Az **utódsejtek kromoszómaszáma** - ezáltal genetikai információtartalma - **pontosan fele az anyasejtének** (**számfelező** sejtosztódás).
- **A keletkezett négy haploid utódsejt információtartalma egymástól különböző.**

A meiózis két főszakaszra bontható:

- az **első osztódási szakaszban** a **homológ kromoszómapárok tagjai szétválnak** egymástól és külön utódsejtbe kerülnek, mialatt a testvérkromatidák még együtt maradnak (**számfelezés**).
- A **második osztódási szakaszban** a **testvérkromatidák válnak szét** egymástól, így az utódsejtek kromoszómánként egy DNS kettős hélixből álló, de az anyasejthez képest fele kromoszómaszámú kromoszómakészlettel rendelkeznek.

A **meiózis első szakaszának profázisában** a **homológ kromoszómák párt alkotnak, kromatidáik között átfedések, törések**, majd **szakasz – gén - kicserélődések** következhetnek be. Ennek a folyamatnak, az **átkereszteződésnek** (crossing over) az eredménye az intrakromoszómális **rekombináció.**

A rekombináció során a tulajdonságokat kialakító genetikai tényezők újrarendeződnek, így új génkombinációk a szülőktől eltérő fenotípusokat eredményeznek.

Első főszakasz

Profázis I:

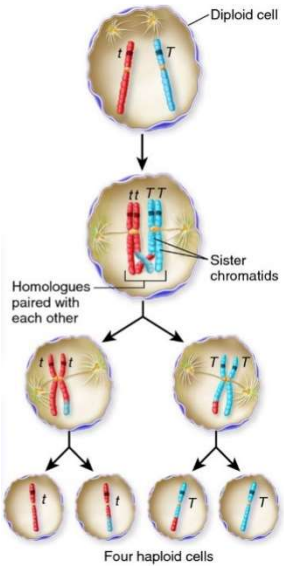
- **A homológ kromoszómák hosszuk mentén párt alkotnak, így egy komplexet 4 db. kromatida alkot.**
- **Átkereszteződések jelennek meg a kromatidák között**. A törések következtében a homológok egyik kromatidájában **kromoszómaszakaszok cserélődhetnek ki**.

Metafázis I A homológok az egyenlítői síkban rendeződnek, a homológok centromereihez az ellenkező pólushoz tartozó **húzófonalak** tapadnak.

Anafázis I A **homológ párok tagjai az ellenkező pólusra jutnak** (**számfelezés!**).

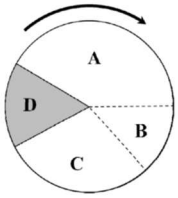
Telofázis I Kialakul a sejtmembrán, de DNS-szintézis nincs!

Az első osztódás redukciós, mert a kromoszómák számát a felére, a haploid számra (n) csökkenti az utódsejtekben.

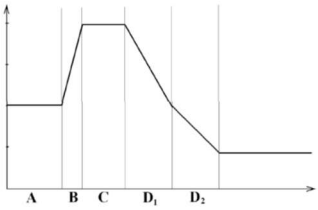


Második főszakasz

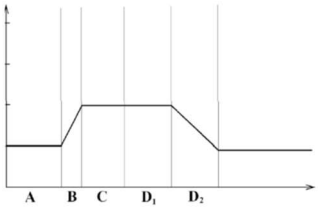
- Lényegében egy **mitózis**.
- **A kromoszómák az egyenlítői síkba rendeződnek.**
- **A kromatidák szétválnak.**
- **A húzófonalak az ellentétes pólusokra viszik a kromatidákat.**
- **4 haploid utódsejt keletkezik.**



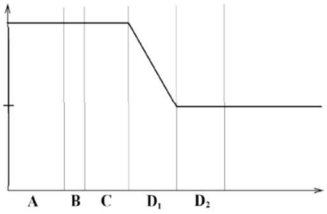
Sejtciklus



A sejt teljes DNS-tartalma



A kromoszómák kromatidáinak száma



A sejt ploidiaszintje, továbbá a sejt kromoszómáinak a száma

A fenti grafikonok a meiózis során az egyes változók mennyiségét mutatja a sejtciklus, illetve az osztódás egyes szakaszaiban. *Emelt szintű feladat 2013 május*.

Az utódsejtek genetikai variabilitása

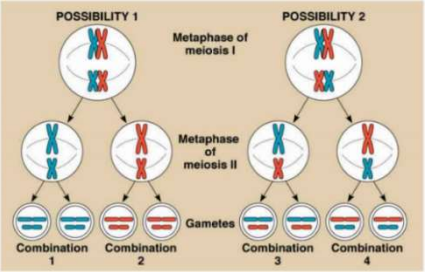
A rekombináció során olyan haploid génkombináció jön létre, amely különbözik a szülői génkombinációtól. 2 féle rekombinációt különbözetünk meg:

1. **Intrakromoszómális** – kromoszómán belüli rekombináció.

   A **meiózis** profázisában történik, a homológ kromoszómák egy-egy kromatidája között.

2. Az **interkromoszómális** független rekombináció. Szintén az első főszakaszban zajlik a **homológ kromoszómák véletlenszerű szétválásának** köszönhetően.

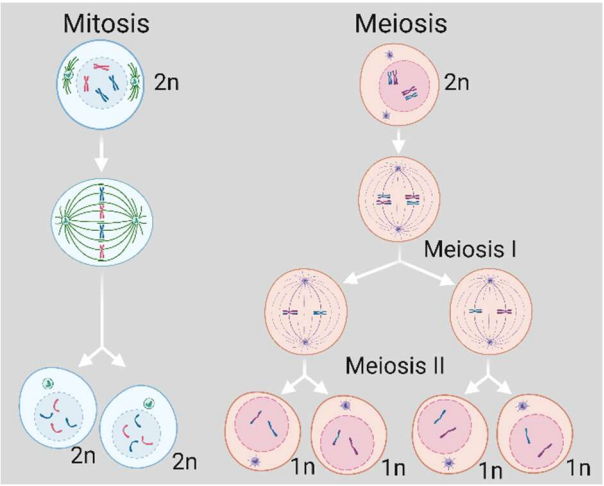
   - Egy kromoszómapár: 2 lehetőség van.
   - Kettő kromoszómapár: 4-féle ivarsejt,
   - három kromoszómapár: 8-féle ivarsejt,
   - N kromoszómapár: 2^N féle ivarsejt jöhet létre.
   - **Ember: 23 pár kromoszóma,**
   - **$2^{23} \approx 8.400.000$ féle ivarsejt képződhet.**

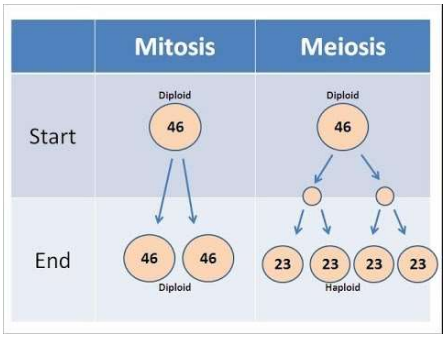


A rekombináció és így az ivaros szaporodás az alapja a genetikai változatosságnak, a populációk genetikai diverzitásának, amely az evolúció genetikai alapját teremti meg.

Az **ivaros szaporodás** során az alábbi események a véletlenszerű tulajdonságkombinációk „végtelen” lehetőségét biztosítják:

- az ivarsejtek véletlenszerű találkozása,
- az átörökítő DNS átrendeződése (átkereszteződés),
- a homológok szétválása,
- illetőleg a DNS szerkezetében beálló változás (mutáció).





A sejtciklus szabályozása, jelforgalmi hálózatok

Az eukarióta **sejtek osztódási ciklusát szigorúan szabályozott folyamatok sorozata jellemzi**. E folyamatok visszafordíthatatlan változásokat eredményeznek a ciklusban lévő sejtekben.

A soksejtűeknél a **ciklus beindításához nélkülözhetetlenek** az ún. **növekedési faktorok**, melyek **jelátviteli útvonalak közvetítésével aktiválják az osztódáshoz szükséges géneket**.

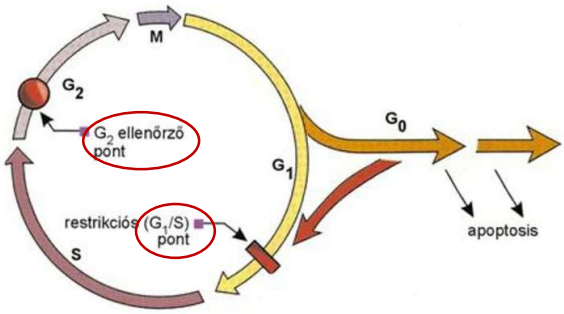
A sejttípusok többsége csak akkor képes osztódni, ha a sejthártya molekulái közvetítésével kapcsolatot tudnak kialakítani a sejten kívüli tér megfelelő molekuláival (**letapadásfüggőség**). Ugyanakkor a **sejt-sejt kapcsolatok kialakulása** a normális működésű sejtekben **gátolja a ciklust**. Ennek eredményeképpen a sejtek a rendelkezésre álló felületet beborítják, kitöltik, majd az osztódás leáll. A soksejtű szervezetekben az **osztódások száma korlátozott**. Ismert, hogy emberi szövettenyészetekben egyes sejtek esetében a ciklusszám kb. 50. Ezt követően a sejtek G0 fázisba lépnek, majd elpusztulnak. E jelenség hátterében a kromoszómák végdarabja, a **telomera** ciklusról ciklusra történő **rövidülése áll**.

A **ciklus meghatározott pontjain ellenőrző pontok működnek**, melyek a részfolyamatok pontosságáért, ill. meghatározott sorrendjéért felelősek. Mutációs eredetű hibák a sejtciklus szabályozásának felborulását eredményezhetik.

Alapvető fontosságú, hogy a **sejtciklus egyes fázisai a megfelelő sorrendben kövessék egymást**, s a sejt csak akkor tudjon átlépni egy következőbe, ha az előzőt tökéletesen befejezte. Ellenkező esetben a **genetikai anyag eloszlásában zavarok léphetnek fel**. Elveszhetnek kromoszómák vagy kromoszómarészletek, vagy egyenlőtlenül osztódnak szét az utódsejtek között. A tumorsejteknél gyakran jellemzők ilyen elváltozások.

Ezeket a **problémákat** a **sejtciklus ellenőrzési pontjai hivatottak kiküszöbölni** azáltal, hogy **leállítják a sejtciklust addig, amíg a hibák kijavításra kerülnek**, vagy ha ez nem lehetséges, programozott sejthalálra, **apoptózisra készteti a sejtet**. Ha azonban **egyik sem következik be**, akkor **rákos elfajulás jöhet létre**: a sejt irányíthatatlan módon osztódni kezd. Az eredeti hibás sejtből egy **tumoros sejtvonal** alakul ki, amely **halhatatlanná** válik.

A sejtciklus ellenőrzési pontjai



Ahhoz, hogy a sejt megkezdje és végig is vigye az osztódás folyamatát, számos feltételt teljesíteni kell. E feltételek teljesülését a sejt az úgynevezett ellenőrzési pontokon vizsgálja meg és csak akkor halad tovább, ha minden rendben zajlik.

Az **első ellenőrzési pont**, a G1 fázisból a szintézisbe (S) való átmenet a legfontosabb, hiszen ez az, amelyik a **sejtciklusba való belépést**, illetve a sejtosztódás megkezdését **szabályozza**.

Az **átlépés feltétele** rendszerint az osztódást serkentő jelmolekulák, az úgynevezett **növekedési faktorok felszaporodása** a sejt környezetében, melyek sejtfelszíni receptorokon keresztül **jelátviteli láncreakciókat indítanak meg** a sejten belül. Mindez azonban **csak akkor következhet be** - és ez az ellenőrzési pont lényege -, **ha a DNS nem károsodott** például sugárzás vagy vegyi anyagok által. Ha a **rendszer hibát észlel,** az aktivált gátló molekulák közvetítésével **megakadályozza a G_1/S ellenőrzési ponton való áthaladást**, amivel esélyt ad a hibák kijavítására, illetve amennyiben ez nem lehetséges öngyilkosságra kényszeríti a sejtet.

A **második ellenőrzési pont** a G_2/M átmenetet felügyeli. Itt kell a sejtnek meggyőződnie arról, hogy a **DNS másolása megfelelően zajlott-e le**.

A **harmadik, utolsó ellenőrzési pont**, hogy **megfelelően váltak-e szét az osztódás során a kromoszómák.**

Irányítás, vezérlés szabályozás, a sejtek közötti kommunikáció lásd még 4.1.1. fejezet

Az **élőrendszerekben végbemenő folyamatok** nem véletlenszerű irányban, sebességgel stb. mennek végbe, hanem **meghatározott irányítás alatt állnak**.

Az irányítás alapműveletei

- **Alapjelképzés**: valamilyen tényezőnek – pl. testhőmérséklet - tervezett értéket kell adni (**kell érték**).
- **Mérés**: ennek a jellemzőnek a tényleges értékét méri a rendszer (**van érték**).
- **Összehasonlítás**: a különbség meghatározása a kell és a van érték között (**hibajel**).
- **Döntés**: szükség esetén – hibajel - **beavatkozás** a rendszer működésébe.

Irányítás módszerei a vezérlés és a szabályozás

Vezérlés során a **vezérlő az irányított rendszert egyirányúan működteti**, az irányított rendszer működése során nem hat a vezérlő központra (**egyirányú kapcsolat**).

A **szabályozás** alatt az **irányított rendszer folyamatosan visszajelez a központnak, befolyásolva annak működését** (**kétirányú kapcsolat**).

A **biológiai szabályozás alapja** a **negatív visszacsatolás**. A negatív visszacsatolás az a folyamat, amikor a **szabályozórendszer a hibajellel ellentétes előjelű hatással** módosítja a rendszer működését (**csökkenésre növelés, növekedésre csökkentés**). Ilyenkor **a rendszerből kilépő hatások csökkentik a folyamatok mértékét**. Pl.:

- Alacsony környezeti hőmérséklet esetén a **testhőmérséklet csökken** (36 °C, van érték),
- a központ összehasonlítja a kell (37 °C) és a van értéket, létrejön a hibajel,
- a **fűtőközpont aktivitása fokozódik**, a **testhőmérséklet emelkedik**, ami csökkenti a fűtőközpont aktivitását.

A negatív visszacsatolás a rendszert stabilizálja. **Önszabályozás** jön létre, a rendszer egy **dinamikus egyensúlyi állapotban** tartja fenn önmagát. A sejtek, élő szervezetek optimális működésének előfeltétele egyfajta **belső stabilitás**, a **belső környezet egyfajta állandósága**. **A belső környezet szabályozott állandóságának az állapotát homeosztázisnak nevezzük**. Az **önszabályozó folyamatok az élő szervezetek sokféle jellemzőjét** - kémhatás, ionkoncentráció, térfogat stb. - **tartják állandó értéken**, de legalábbis egy meghatározott tartományon belül.

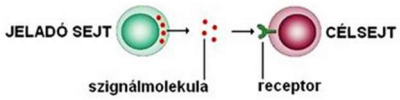
Pozitív visszacsatolásról akkor beszélünk, ha a **rendszerből kilépő hatások tovább erősítik a folyamatok mértékét, (növekedésre növelés, csökkenésre csökkentés)**.

Például

- a légkör felmelegedése fokozza a párolgást, ami növeli a légkör páratartalmát.
- Mivel a vízgőz üvegházhatású, ezért a megnövekedett páratartalom tovább növeli az üvegházhatást, azaz a légkör felmelegedését.

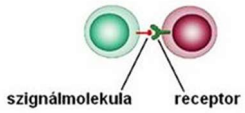
Az állandóan változó külső környezetben az állati **szervezet homeosztázisát a biológiai szabályozás teszi lehetővé**. A **szabályozás feltétele** az **egyes sejtek, szövetek, szervek működésének összehangolása.** A soksejtű szervezetben a homeosztázis érdekében a **sejtek között szoros együttműködés van.** Valamennyi sejtnek értesülnie kell a többi sejt állapotáról, valamint a saját működésének változásairól. Ez úgy valósul meg, hogy a soksejtűekben a **sejtek között** egy olyan **kommunikációs rendszer létezik**, ami a **sejtek működésének az összehangolását**, így az egész szervezet normális működését **szolgálja**. A sejtek közötti **kommunikáció az egyes sejtek által kapott és adott jelek sorozata**, amely meghatározza a sejtek helyét és feladatát. Amennyiben egy **sejt valami folytán kiesik e kommunikációs rendszerből**, akkor **elpusztul**, vagy **kóros elváltozásokat hoz létre,** mint pl. a rákos daganatok sejtjei. A különféle feladatokat ellátó egységek összehangolását tehát a köztük működő kommunikáció teszi lehetővé, melynek során **egyes sejtek különféle jeleket - kémiai, elektromos - bocsátanak ki**, amelyeket más sejtek - a **célsejtek - felismernek**, aminek következtében **működésüket megváltoztatják**.

A jel megjelenése meghatározó jelentőségű, de a szabályozás szempontjából ugyanilyen jelentősége van a jel megszűnésének is. Ezért a **jelmolekulák élettartama meglehetősen rövid** (percek, másodpercek)**.**



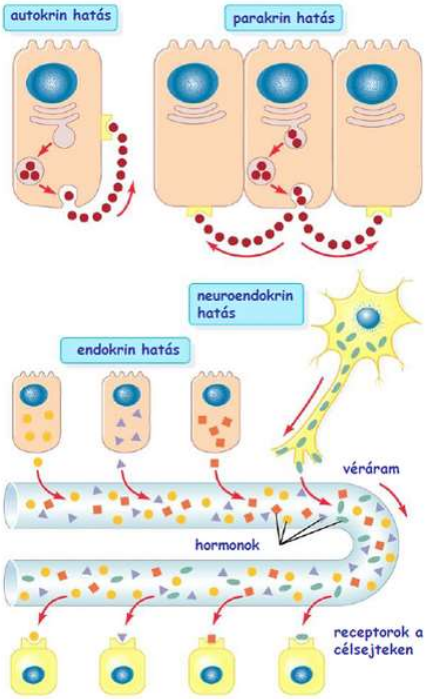
A **jelforgalmi hálózatok** működhetnek

- a **sejtek között**, **sejten kívül**,
- de egyaránt lehetnek **sejten belül** is.



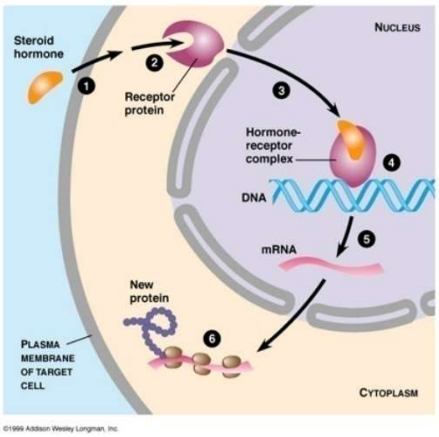
A **sejtek közötti kommunikációban** a **jelként** ható **vegyületek** lehetnek pl. **hormonok, szöveti hormonok, sejtfelszíni molekulák**.

A kommunikációnak, a **jelátvitelnek** a szervezet szintjén **több formája** alakult ki:



- **az endokrin kommunikáció** a **hormonális szabályozás** alapja, aminek során **belső elválasztású mirigyek** hatóanyagaikat, a **hormonokat** a **vérbe ürítik**, amely elszállítja azokat a célsejtekhez, megváltoztatva működésüket.
- Amennyiben a hormonokat **idegsejtek termelik, neuroszekrécióról** beszélünk.
- **Neurokrin kommunikáció**, amely az idegi szabályozás alapja.
- **Parakrin kommunikáció**, melyre példát a tápcsatorna falában termelődő **szöveti hormonok** kapcsán látunk, ilyenkor a jelet kibocsátó sejtek a környezetükben levő sejtek működését befolyásolják.
- **Autokrin** kommunikáció, ahol az elválasztott anyag a sejt saját működését befolyásolja. A kibocsátó sejt saját magát értesíti, többnyire arról, hogy a kiürülő anyag mennyisége mekkora. Például sok idegsejt a szinaptikus transzmitterét az axonvégződésen meg is tudja kötni, és az itteni receptorok izgatása legtöbbször negatív visszacsatolással szabályozza – csökkenti - a transzmitter ürülését.

A **jelfelfogó** sejt a **célsejt**, mely a jeleket specifikus **receptoraival köti meg**. A receptor jelenléte teszi szelektívvé a hatást a különféle sejtek között.
A **hormonreceptorok** elhelyezkedésük szerint **lehetnek**:



- **sejten belüliek (szteroidhormonok),**
- **sejten kívüliek (pl. peptidhormonok).**

Sejten belüli receptorok

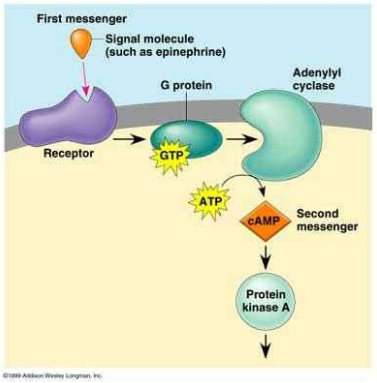
A **szteroidhormonok – pl. ivari hormonok (tesztoszteron) vagy a mellékvesekéreg hormonjai (pl. kortizol) - receptorai** a **citoplazmában találhatók**.

Példaként a kortizol akadálytalanul jut át a sejthártyán, bejutva a sejtbe **sejten belüli citoplazmatikus receptorhoz kapcsolódik (GR)**. A kötődést követően a **receptor-hormon komplex transzkripciós faktorként a DNS-hez kötődik**, aminek következtében egyes gének aktiválódnak, megindul a transzkripció, majd a fehérjeszintézis, és így létrejönnek azok a fehérjék, melyek a hormonhatás kivitelezéséért felelősek.

A transzkripciós faktorok olyan molekulák, melyek génműködést aktiválnak vagy gátolnak az átírásra – transzkripcióra - gyakorolt hatásuk révén.

A **sejten kívüli receptorok a sejthártya felszínén helyezkednek el**. Mivel a **jel nem jut be a sejt belsejébe** - ahol azok az anyagcsere-folyamatok zajlanak, amelyekre hat - **szükség van egy** olyan **sejten belüli jelre**, ún. **másodlagos hírvivőre**, amely a **membrán felszínén történő változásokat közvetíti a sejt belseje felé.** Ilyen másodlagos hírvivő pl. a cAMP, vagy a Ca-ion. A **másodlagos hírvivők a sejten belül különféle enzimekre – kinázokra - hatnak** – serkentik, ill. gátolják azokat -, **amivel megváltoztatják a sejtek működését**.

A cAMP keletkezése és működése a májsejtekben a következő:



- az **adrenalin** hormon megkötődik a májsejtek felszínén található receptorokon,
- a receptor konformációt vált, amelynek hatására a mellette levő **G-fehérje** GTP-t köt meg.
- Ennek hatására a G-fehérje konformációja változik meg, aminek következménye az **adenilát-cikláz** aktiválódása.
- Az adenilát-cikláz egy enzim, amely az ATP-ből cAMP-t készít.
- A **cAMP protein kinázokat aktivál**, ezek olyan enzimek, amelyek foszfátcsoportokat kapcsolnak – **foszforilálnak** - más enzimekhez azokat aktív állapotba hozva.
- Jelen esetben ezek olyan enzimek, melyek a glikogént glükózzá bontják.

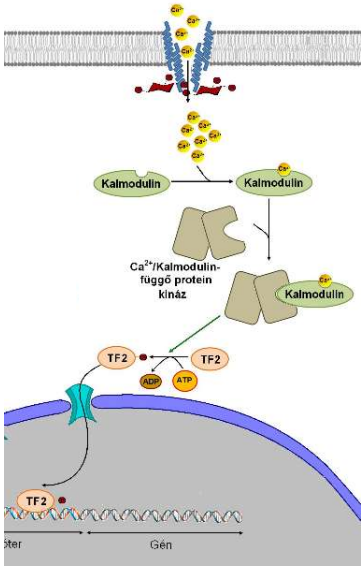
Összefoglalva, **adrenalin hatására a májsejtekben a glikogén glükózzá bomlik le**, amelyet a sejtek a vérpályába adnak le növelve a vércukorszintet.

Ugyanaz a hormon, attól függően, hogy milyen típusú sejten, milyen típusú receptorhoz kötődik más és más hatást eredményezhet.

Az inzulin, amely pont ellentétes hatású az adrenalinnal, csökkenti a májsejtekben a cAMP-szintet, mivel a glikogén szintéziséért felelős enzimek defoszforilált állapotban aktívak.

Egyéb másodlagos hírvivők

Más hormonok (pl. oxitocin, ADH) a célsejtek citoplazmájában a **szabad Ca^{2+} koncentrációjának fokozásával érik el a hatásukat.**



A kalciumion egyike a legelterjedtebb másodlagos hírvivőknek a sejtekben. A citoplazmába két úton kerülhetnek a Ca-ionok:

- csatornákon keresztül az extracelluláris térből,
- valamint a belső kalciumraktárakból (SER).

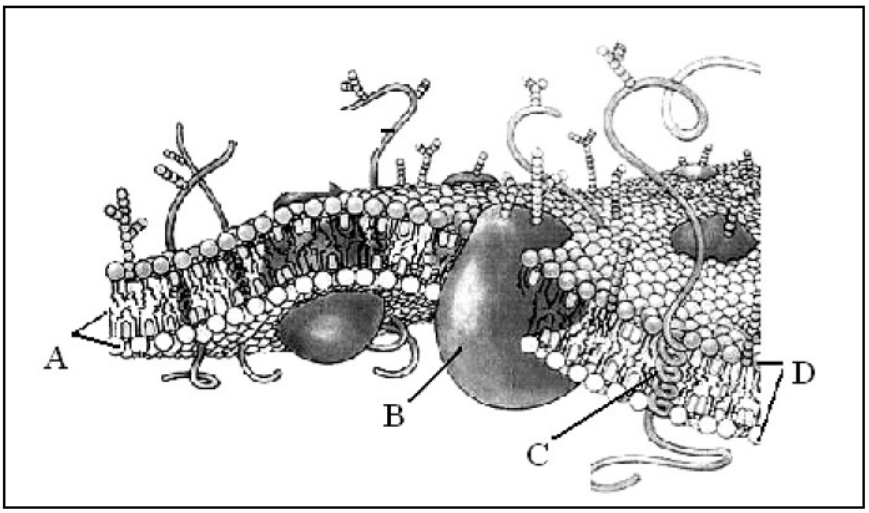
A kalcium Ca^{2+}-kötő fehérjékhez való kapcsolódása által fejti ki a hatását, melyek közül a legelterjedtebb a **kalmodulin**, amely minden eukarióta sejtben megtalálható.

Amikor a kalmodulin megköti Ca^{2+}-t, kalmodulinfüggő **kinázokat** aktivál (CaM-kinázok), melyek különféle folyamatokat indítanak be foszforiláció révén.

Emelt szintű érettségi feladatok

IV. A sejtmembrán fölépítése 8 pont

Az ábra a sejtmembrán fölépítését mutatja. Lent van a sejten belüli, fönt a sejten kívüli tér. A „D" betű a membrán kettős rétegét jelöli. Az ábra gondos tanulmányozása után válaszoljon a kérdésekre!



1. Mit határolhat az ábrán látható membrán? *A helyes válasz betűjelét írja a négyzetbe*!

A. Csak eukarióta sejtet.
B. Csak állati vagy emberi sejtet.
C. Bármely élő sejtet.
D. Bármely sejtet vagy vírust, de priont nem.
E. Bármely sejtet, vírust, vagy priont.

2. Mely vegyületcsoportba tartoznak az A jelű molekulák?

A) foszfatidok B) fehérjék C) poliszaharidok D) nukleinsavak E) zsírok/olajok

3. A „B" jelű molekula alkalmas arra, hogy ionok számára átjárható csatornát nyisson meg a membránon keresztül (ezt a képen nem látható, belsejében futó alfa-hélixekből álló szerkezet teszi lehetővé). A vegyületek mely csoportjába tartozik ez a molekula?

A) foszfatidok B) fehérjék C) monoszaharidok D) nukleinsavak E) zsírok

4. A „C” jelű fehérje egy része átnyúlik a membrán mindkét oldalára, más része felcsavarodott állapotban a membrán belsejében marad. Mely állítás igaz erre a molekulára?

A. Poláros oldalláncú aminosavakat tartalmazó része a membránban van, apoláros része a külső és belső térben.
B. Poláros oldalláncú aminosavakat tartalmazó része a sejt belső terében van, apoláros része a membránban és a külső térben.
C. Apoláros oldalláncú aminosavakat tartalmazó része a belső, poláros része a külső térben van.
D. Apoláros oldalláncú aminosavakat tartalmazó része a külső, poláros része a belső térben van.
E. Apoláros oldalláncú aminosavakat tartalmazó része a membránban van, poláros része a külső és belső térben.

5. A fölsoroltak közül mely biológiai funkciókat tölthetnek be az ábrán szereplő „B” vagy a „C” jelű molekulák (a hozzájuk kapcsolódó egyéb csoportokkal együtt) az egészséges emberi szervezetben? *A helyes válaszok betűjeleit írja a négyzetekbe!*

A. Receptorok lehetnek.
B. Vércsoport-antigének lehetnek.
C. Immunglobulinok lehetnek.
D. Hormonok lehetnek.
E. Örökítő anyagot hordozhatnak.

6. Föltételezve hogy az ábrázolt membrán egy idegsejtet határol, mely molekulák szerkezetváltozása magyarázza az ingerlés hatására bekövetkező potenciálváltozást?

A. Az „A” jelűeké.
B. A „B” jelűeké.
C. Az „A” és „C” jelűeké.
D. Az „A” és „B” jelűeké.
E. Az „A”, „B” és „C” jelűeké.

7. Foglalja össze, hogy az „A” jelű vegyületet mely fizikai-kémiai tulajdonsága teszi alkalmassá biológiai membránok felépítésére! Hogyan rendeződnek a membránban ezek a molekulák? (2 pont)

.....

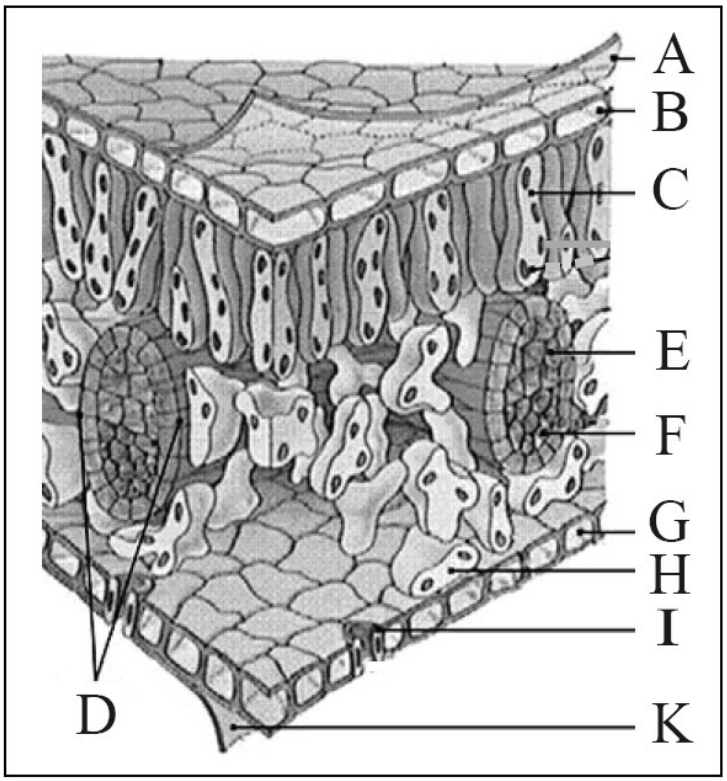
Megoldás

1. C/B 1 pont
2. A 1 pont
3. B 1 pont
4. E 1 pont
5. A, B 1 pont
6. B 1 pont
7. A molekula poláros és apoláros részekből áll / kettős oldódási tulajdonságú / amfipatikus, / hidrofil és hidrofób részeket tartalmaz, 1 pont

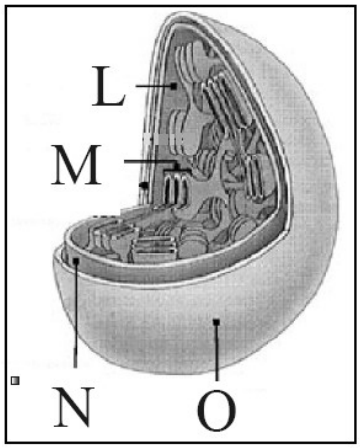
poláris részei a sejt belsejébe és a sejten kívüli térbe / a membrán felszíne felé / vizes közegek felé, apoláros részei a membrán belseje felé fordulnak. 1 pont
(Más megfogalmazásban is elfogadható.)

V. A zöld színtestek 8 pont

A bal oldali ábrán egy kétszikű növény levelének tömbszelvénye, mellette egy zöld színtest rajza látható.



1. Írja fel azoknak a *sejtek*nek a betűjelét, amelyekben zöld színtestek találhatók! (1 pont)



2. A színtestek eredetét sokan az endoszimbiózis elmélettel magyarázzák. Melyik, az ábrán is látható jellegzetessége támasztja alá ezt a föltevést? (1 pont)

……..

A fotoszintetikus ATP-szintézis mechanizmusát – a mitokondriuméhoz hasonlóan – a kemiozmotikus elmélet magyarázza.
Olvassa el az elmélet bizonyítását leíró szöveget, majd oldja meg a feladatokat!

„Ezt a kémiai Nobel-díjjal kitüntetett angol P. D. Mitchell által bevezetett kemiozmotikus modellt két amerikai kutató (A. Jagendorf és E. Uribe) a következőképp ellenőrizte. A spenót leveléből kivont zöld színtesteket sötétben alacsony pH-jú (savas) oldatba helyezték, amelynek hatására a gránumok* belseje savas kémhatásúvá vált. Ezután a zöld színtesteket lúgos pH-jú oldatba rakták át, s minthogy a gránumok belseje savasabb volt a környezetnél, fényenergia nélkül is megindult az ATP szintézise, s ez a kemiozmotikus modell helyességét igazolta."

3. Honnan származnak a fotoszintetizáló zöld növény színtestjének gránumában felhalmozódó H^+- ionok? *A helyes válasz betűjelét írja a négyzetbe!* (1 pont)

A) A szőlőcukor molekulából.
B) Az elektronszállító rendszerből.
C) A NADPH-ról.
D) A klorofill molekulából.
E) A vízmolekulából.

4. Hol helyezkednek el azok az enzimek, amelyek a fotoszintézis során az ATP szintézisét katalizálják? (1 pont)

A) A színtest alapállományában.
B) A gránum membránjában.
C) A riboszómákban.
D) A színtest külső határoló membránjában.
E) A sejtplazmában.

5. Mit bizonyított a leírt kísérlet? (1 pont)

A) A spenótlevél belseje savas.
B) A szén-dioxid a fotoszintézis 2. szakaszában keletkezik.
C) Az ATP csak savas közegben keletkezik.
D) Az ATP szintézise a H^+- ionok vándorlásával kapcsolatos.
E) A fotoszintézis 1. szakaszához nem szükséges fényenergia.

6. Mi a H^+-ionok gránumból való kivándorlásának a hajtóereje?
A helyes válaszok betűjelét írja a négyzetekbe! (1 pont)

A) ATP hidrolízis.
B) A H^+- ionok koncentrációkülönbsége a membrán két oldalán.
C) A biológiai oxidáció során felszabaduló energia.
D) A kémhatás különbsége a membrán két oldalán.
E) A NADPH oxidációja.

7. Nevezze meg azokat az anyagokat, amelyeknek molekulái a hidrogénatomokat és a fotoszintézis fényszakaszában megkötött energiát „átviszik” a sötétszakaszba! (2 pont)

…… ……..

Megoldás

1. C H I	*A három helyes betűért*	1 pont
2. A kettős membrán / N, O / utalás a méretre		1 pont
3. E		1 pont
4. B		1 pont
5. D		1 pont
6. B D	*A két helyes betűért*	1 pont
7. ATP		1 pont
NADP/ $NADP^+$ / NADPH + H^+ / NADPH / $NADPH_2$		1 pont

V. Széttört mitokondriumok 9 pont

A glükóz lebontásának folyamatában eukariótákban a sejtplazma és a mitokondriumok is részt vesznek. *Válaszoljon a kérdésekre! A helyes válaszok betűjeleit írja a négyzetekbe! Minden helyes válasz 1 pont.*

1. A glükóz lebontásának mely lépései mehetnek végbe a sejtplazmában?

A) A glükolízis.
B) Az erjedés (fermentáció).
C) A citrát- (Szent-Györgyi-Krebs) ciklus.
D) A végső oxidáció.
E) A hidrolízis.

2. A glükóz lebontásának mely lépései mennek végbe a mitokondriumban?

A) A glükolízis.
B) Az erjedés (fermentáció).
C) A citrát- (Szent-Györgyi-Krebs) ciklus.
D) A végső oxidáció.
E) A hidrolízis.

3. A glükóz lebontásának mely lépése megy végbe a mitokondrium belső membránja által határolt térben (alapállományban)?

A) A glükolízis.
B) Az erjedés (fermentáció).
C) A citrát- (Szent-Györgyi-Krebs) ciklus.
D) A végső oxidáció.
E) A hidrolízis.

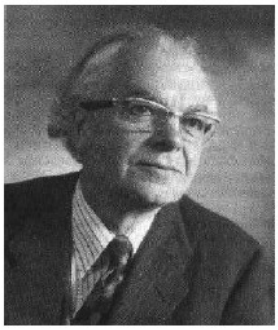
4. Milyen anyagokat *vesz föl* a mitokondrium a sejtplazmából, amelyeket aztán fölhasznál (átalakít)?

A) Szén-dioxidot, széntartalmú atomcsoportot és ADP-t.
B) Oxigént, széntartalmú atomcsoportot és ADP-t.
C) Oxigént, glükózt, és ADP-t.
D) Szén-dioxidot, széntartalmú atomcsoportot és ATP-t.
E) Szén-dioxidot, glükózt és ADP-t.

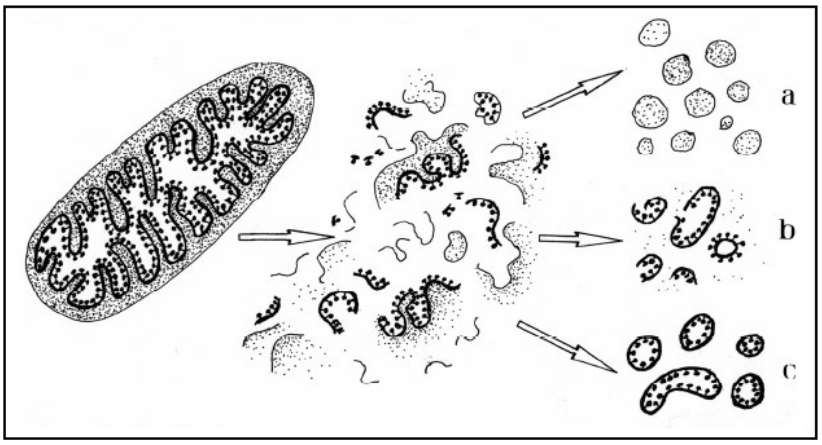
5. Mely, a mitokondrium által termelt anyagok jutnak ki a sejtplazmába a mitokondriumból?

A) Szén-dioxid, víz és ATP.
B) Oxigén, víz és ADP.
C) Oxigén, víz és ATP.
D) Szén-dioxid, piroszőlősav és ATP-t.
E) Szén-dioxid, glükóz és ADP.

A mitokondriumok működésének módját Peter Mitchell (1920-1992) angol biokémikus derítette föl az ábrán látható módon.



Peter Mitchell



Az ép mitokondrium rajzán (baloldalt) a belső membránt vastag vonal, a végső oxidáció enzimjeit fekete pontok jelölik. Kísérlete első felében Mitchell szétroncsolta a mitokondriumokat (középső ábra), majd hagyta, hogy a membránok részletei véletlenszerűen újból apró gömbökké egyesüljenek (jobb oldali ábrák). A három lehetőséget a rajzok mutatják. Az a) esetben a külső membrán darabjai olvadnak össze. A b) esetben a belső membrán darabjai úgy, hogy a membrán sérült, vagy az eredeti helyzethez képest fordított az enzimek helyzete. A c) esetben a belső membrán ép, és benne az enzimek az eredeti helyzetben vannak. Ha Mitchell minden anyagot (oxigén, glükóz, enzimek) és feltételt biztosított, mindhárom esetben megindult a glükolízis és a citromsav-ciklus, ám a végső oxidáció csak a „b" és a „c" esetben zajlott le. Az eltérő szerkezetű gömbök másként viselkedtek.

6. Mely molekulák tették lehetővé, hogy a sérült membrándarabok ismét egyesüljenek?

A) A fehérjék.
B) A nukleinsavak.
C) A szénhidrátok.
D) A szénhidrogének.
E) A lipidek.

7. Milyen működést tapasztalt Mitchell az ábrán „b" –vel jelölt esetben?

A) Glükóz és oxigén fogyott, a gömbök szén-dioxidot és ATP-t termeltek.
B) Glükóz és oxigén fogyott, a gömbök vizet és ATP-t termeltek.
C) Glükóz és oxigén fogyott, a gömbök ATP-t termeltek.
D) Glükóz és oxigén fogyott, de a gömbök ATP-t nem termeltek.
E) A gömbök a végső oxidáció egyetlen folyamatát sem végezték.

A kísérlet eredményéből Mitchell azt a következtetést vonta le, hogy a membrán épsége elengedhetetlen az ATP szintéziséhez, mert csak így tartható fenn a H^+ koncentráció különbség. Modelljében a végső oxidáció enzimjei protonokat pumpálnak a membránon kívüli tér felé, az így létrehozott koncentrációkülönbséget használja fel a sejt az ATP szintézisére. Mitchell finom műszerrel pH-mérést végzett az ép mitokondriumokban, ami igazolta föltevését. Milyen eredményt kapott Mitchell? A helyes válasz betűjelét írja a négyzetbe!

9.
A) A mitokondrium belső terének pH-ja kisebb, mint a két membrán közti tér pH-ja.
B) A mitokondrium belső terének pH-ja nagyobb, mint a két membrán közti tér pH-ja.

Megoldás

1. AB
2. CD
3. C
4. B
5. A
6. E
7. D

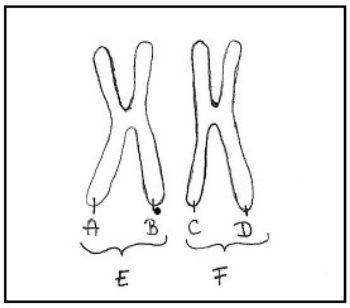
9. B

VI. A kromoszómák 10 pont

Egy élőlény kromoszómáit vizsgáljuk.

1. Általában a sejtciklus melyik fázisában érdemes kromoszómákat keresnünk a fény-mikroszkópos képen? *A helyes válasz betűjelét írja a négyzetbe!*

A) A mitózis utáni nyugalmi szakaszban.
B) A szintézis fázisában.
C) A mitózist megelőző nyugalmi szakaszban.
D) A mitózis középszakaszában.



Az alábbi ábra egy élőlény egyik testi sejtjének egy homológ kromoszómapárjáról készült vázlatrajz.

2. Mit állíthatunk E és F eredetéről? *A helyes válasz betűjelét írja a négyzetbe!*

A) Az élőlény azonos szülőjétől származnak.
B) Az egyik az élőlény egyik szülőjétől származik, a másik annak pontos másolata.
C) Az élőlény azonos nagyszülőjétől származnak.
D) Az egyik apai, a másik anyai eredetű.
E) Eredetük ennek alapján nem állapítható meg.

3. A sejt mitózissal osztódik. Írjon fel egy olyan lehetséges betűpárt, amely teljesen azonos információtartalmú részleteket jelöl a fenti kromoszómapárban!

4. Nevezze meg azt a folyamatot, amely az előző pontban jelölt, megegyező információjú részek kialakulását eredményezi!

……

5. Írjon fel olyan betűpárt, amely olyan részleteket jelöl, amelyek a mitózis során elválnak egymástól a fenti kromoszómapárban!

6. Mit állíthatunk E és F információtartalmáról?

   A) Információjuk teljesen megegyezik.
   B) Információjuk teljesen más tulajdonságokra vonatkozik.
   C) Információjuk azonos tulajdonságokra vonatkozik, de ezen belül lehet különböző.
   D) Információjuk kizárólag arra vonatkozik, hogy az egyed nőstény legyen.
   E) A fentiek alapján információjukról nem tudhatunk semmit.

7. Mik válnak el egymástól a meiózis 1. szakasza során? A helyes válasz betűjelét írja a négyzetbe!

   A) A DNS egyes szálai.
   B) A DNS és az RNS molekulák.
   C) A homológ kromoszómapárok tagjai.
   D) Az azonos információtartalmú kromatidák.
   E) A kromoszóma DNS- és fehérjetartalma.

8. Nevezze meg a meiózisnak azt a történését, amely az előzőn kívül növeli a genetikai változatosságot!

   .....

A vizsgált élőlény hámsejtjeiben sejtenként 4 pár kromoszómát figyelhettünk meg.

9. Mennyi ennek az élőlénynek a diploid kromoszómaszáma?

   .....

10. Nevezze meg az élőlénynek azon (egészséges) sejtjeit, amelyekben a fentitől eltérő számú kromoszómát találhatunk!

   .....

Megoldás

1.D 1 pont
2.D 1 pont
3. A és B vagy C és D 1 pont
(Bármelyik elfogadható, csak egy helyes betűpárra adható 1 pont)

4. DNS szintézis / DNS másolódás / (DNS) replikáció / szemikonzervatív replikáció
Bármelyik elfogadható 1 pont

5. A és B vagy C és D 1 pont

6. C 1 pont

7. C 1 pont

8. A homológ kromoszómák összetapadnak, és megfelelő részeik kicserélődnek/ allélkicserélődés (crossing over) / rekombináció 1 pont
(Bármelyik elfogadható)

9. 8 (4 pár) 1 pont

10. Ivarsejtek / hím és női ivarsejtek / spermiumok és petesejtek 1 pont

IV. Orvosi-élettani Nobel-díj 2013 11 pont

A Nobel-díjat odaítélő bizottság sajtóközleménye szerint az idén nyertes három sejtbiológus a vezikulumok (membránhólyagocskák) által véghezvitt transzporttal (szállítással) kapcsolatos felfedezéseikért kapták az élettudományi díjat.

„A Nobel-bizottság közleménye szerint a különböző anyagok sejten belüli és sejtek közötti szállításának módját fejtette meg a három tudós. A sejtek különböző anyagokat gyártanak, amelyek közül egyeseket a sejten belül kell a gyártás helyétől a felhasználás helyére szállítani (pl. enzimek), míg másokat a sejten kívüli tér meghatározott részéhez kell juttatni, ahol pl. mint hormonok a véráramba kerülnek, netán mint idegi ingerületátvivő anyag játszanak szerepet. ….

Randy Schekman a '70-es években … élesztősejteket használva vizsgálta e transzportmechanizmus genetikai hátterét. James Rothman a '80-as évek óta vizsgálja a membránhólyagok általi transzport működését emlős sejtekben. Felfedezte, hogy egy fehérje-komplex a felelős azért, hogy a vezikulumok hozzákötődjenek a célbavett membránhoz, és összeolvadjanak vele, ezáltal tartalmukat egy másik térbe öntsék. Az összeolvadás során a vezikulum és a célbavett membránfelület speciális fehérjéi, mint a cipzár, összekapcsolódnak.
A továbbiakban az is kiderült, hogy a Schekman által leírt (élesztő) gének némelyike kódolja a Rothman által felfedezett (emlős) fehérjéket (is).

Thomas Südhof az agysejtek közötti kommunikációt vizsgálja."

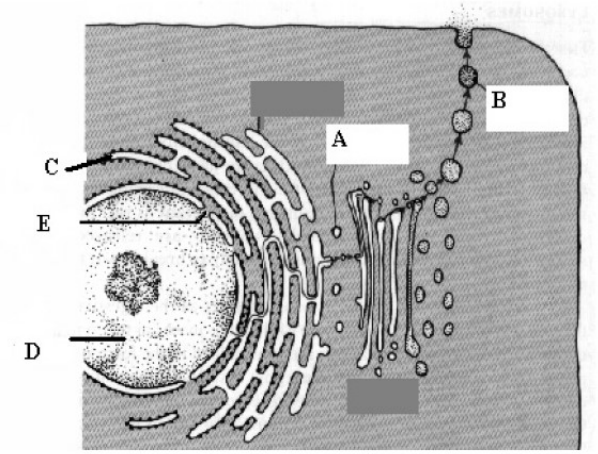
Dr. Kazai Anita

1. Mit valószínűsít az, hogy az élesztősejtekben is megtalálható gén az emlős fehérjéket is kódolja? A helyes válasz betűjelét írja a négyzetbe!

A) A vizsgált szervezetek közös eredetét.
B) Az emlősök élesztőtartalmú ételek fogyasztásakor veszik fel a kérdéses fehérjéket.
C) Az emlős- és az élesztőgének egyaránt húszféle fehérjét kódolnak.
D) A kérdéses fehérje mindkét csoportban lehet ingerületátvivő anyag.
E) Egy-egy gén más szervezetben egészen más felépítésű fehérjéket kódolhat.

Tanulmányozza az ábrán a sejten belüli membránrendszert, majd oldja meg a feladatokat!
Írja az állítások melletti üres négyzetekbe az ábra megfelelő betűjelét!

2.	Itt fehérjék szintézise történik.	
3.	Az mRNS-molekulák itt lépnek szintézisük helyéről a sejtplazmába.	
4.	Ez a tér tartalmazza a DNS megkettőződését katalizáló enzimeket.	



A „B”-vel jelölt membránhólyag a sejthártyába olvad, a benne lévő váladékot leadja a sejt a sejten kívüli térbe.

5. Nevezze meg ezt az anyagleadási módot!

……

6. Nevezze meg pontosan a váladékhólyagban levő anyagot, ha az ábrázolt anyagleadás a hasnyálmirigy belső elválasztású mirigysejtjéből történik!
……

7. Közvetlenül hova kerül a membránhólyag anyaga, ha ingerületátvivő anyagként szolgál?

A) A sejttestbe.
B) A szinaptikus résbe.
C) Az axon plazmájába.
D) Az endoplazmatikus hálózatba.
E) A mitokondriumba.

8. Idegsejtek termelhetnek hormonokat is. A felsoroltak közül melyik ilyen?

A) Az ADH (vazopresszin).
B) A tiroxin.
C) A pajzsmirigyserkentő hormon (TSH).
D) A kalcitonin.
E) Az auxinok.

„Az összeolvadás során a vezikulum és a célbavett membránfelület speciális fehérjéi, mint a cipzár, összekapcsolódnak.” Az alábbi folyamatokban szintén molekulák specifikus kapcsolódása történik. Egészítse ki a mondatokat a megfelelő szakkifejezésekkel!

A timint tartalmazó nukleotidokkal szemben specifikusan 9. …… tartalmazók kapcsolódnak össze a 10. …… folyamata során.

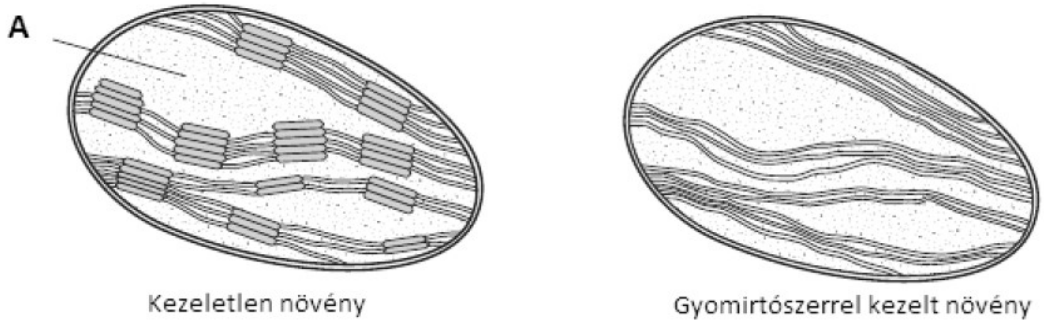
Az mRNS- molekulákhoz komplementer (kiegészítő) bázissorendű antikodont tartalmazó 11. …… kapcsolódnak a fehérjeszintézisben.

Megoldás

1. A
2. C
3. E
4. D
5. exocitózis / membrán áthelyezéssel történő transzport
6. inzulin / glukagon
7. B
8. A
9. adenint
10. DNS megkettőződés / szintézis / replikáció / átírás / transzkripció / RNS szintézis
11. tRNS (molekulák)

II. Egy gyomirtószer hatása 8 pont

Az alábbi rajz egy gyomirtószer hatását mutatja be egy növény zöld színtestjére.



1. Nevezze meg, hogy a színtestnek melyik részét károsította a gyomirtó a képen látható módon! ……..…..

A kezelt növény oxigéntermelése drasztikus mértékben csökken a normálishoz képest.

2. Melyik biokémiai folyamat színtere lehet az a részlet, amely eltűnt a színtestből a gyomirtó hatására? A helyes válasz betűjelét írja a négyzetbe!

A) A glikolízis.
B) A citromsavciklus.
C) Terminális oxidáció.
D) A fotoszintézis fényszakasza.
E) A fotoszintézis sötétszakasza.

A szén-dioxid redukciója kezeletlen növényben az „A" jelű részletben megy végbe.

3. Mi jellemzi a sejtszervecske „A"-val jelölt részletét? *A helyes válaszok betűjelét írja a négyzetekbe!* (2 pont)

A) Tartalmazza a glikolízis enzimrendszerét.
B) Tartalmazza a citromsavciklus enzimrendszerét.
C) Tartalmazza a fotoszintézis sötétszakasz enzimrendszerét.
D) Alapanyaga apoláros oldószer.
E) DNS-t tartalmaz.

A kezelt színtestben jellemzően csökkent két, normálisan az ép színtestben keletkező szerves anyag koncentrációja, melyeket a sötétszakaszban használ fel a növény.

4. Nevezze meg ezt a két anyagot! (2 pont)

…… ……..

A gyomirtószeres kezelés következtében a növény elsárgul, majd elpusztul.

5. Mi lehet a növény pusztulásának oka ebben az esetben? (2 pont)

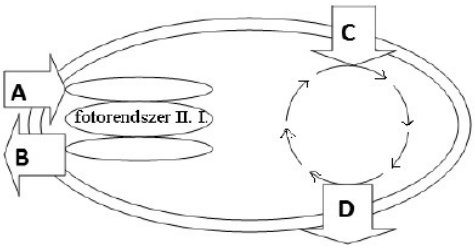
A) A lebontó anyagcserében felhasználható szerves anyagok hiánya.
B) A növény intenzív gázcseréje miatt színanyagai xantofillá alakulnak.
C) A növény pusztulását az erjedés enzimeinek hiánya okozza.
D) A növény nem képes hasznosítani a Nap fényenergiáját.
E) A növény mutáció következtében pusztul el.

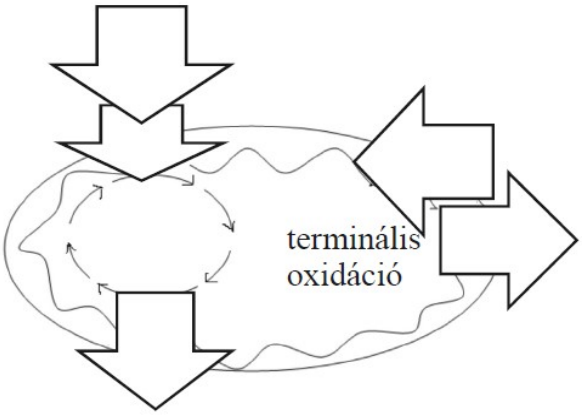
Megoldás

1. gránum/a belső membránrendszer (része) / tilakoid 1 pont
2. D 1 pont
3. C és E 1+1 = 2 pont
4.
- ATP; 1 pont
- NADPH (+ H^+)/ $NADPH_2$ / redukált állapotú NADP 1 pont
5. A és D 1+1 = 2 pont

VI. Színtest és mitokondrium 14 pont

Az autotróf felépítő és a lebontó biokémiai folyamatok kölcsönhatása és egyensúlya a növények esetében az egyedek szintjén, míg a termelők és fogyasztók között az ökoszisztéma szintjén is megnyilvánul. Az ábra tanulmányozása után válaszoljon az alábbi kérdésekre!
(A terminális oxidáció a végső oxidációt jelenti.)





1. …… 2 ……

Írja a megfelelő sejtszervecske ábrája alá a fotoszintézis, illetve a biológiai oxidáció reakcióegyenletét! A reakcióban mindkét esetben a glükóz szerepeljen! (2 pont)

Az egyenletekben szereplő molekulaképleteket rendelje az ábrák vastag nyilaiban látható nagybetűkhöz! Az összegképletet írja a betűjelek melletti vonalra! A „D" jelentését megadtuk. (3 pont)

3. A: …….
4. B: …….
5. C: …….

D: $C_6H_{12}O_6$

6. Írja a jobb oldali ábra üres vastag nyilaiba az egyenletekben szereplő vegyületek összegképletét! Az egyik nyíl belseje maradjon üresen! (4 pont)

Az ábra a zöld színtestben és a mitokondriumban is egy-egy körfolyamatot mutat (az ábrán a vékony nyilakkal jelölve). Az ezekkel kapcsolatos megállapítások mellé írja a megfelelő betűjeleket.

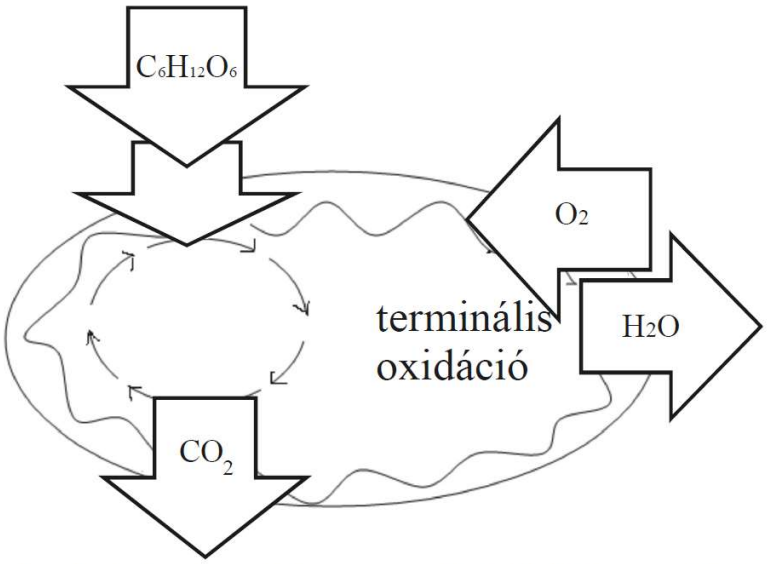
A) citrátkör (citromsav-ciklus, Szent-Györgyi-Krebs ciklus)
B) sötét szakasz (Calvin-ciklus)
C) mindkettő
D) egyik sem

7.	A körfolyamat során a köztestermékek szénatomjai oxidálódnak.	
8.	A szén-dioxid ebbe a körfolyamatba lép be.	
9.	Redukált NADPH+H koenzimek képződnek a körfolyamatban.	
10.	Csak sötétben megy végbe.	
11.	A sejtekben csak oxigén jelenlétében megy végbe.	

Megoldás

1. $6H_2O + 6CO_2 = C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ — 1 pont
2. $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6H_2O + 6\ CO_2$ — 1 pont
3. A = H_2O — 1 pont
4. B = O_2 — 1 pont
5. C = CO_2 — 1 pont

6. *Minden jó helyre írt képlet 1 pont, összesen* — 4 pont

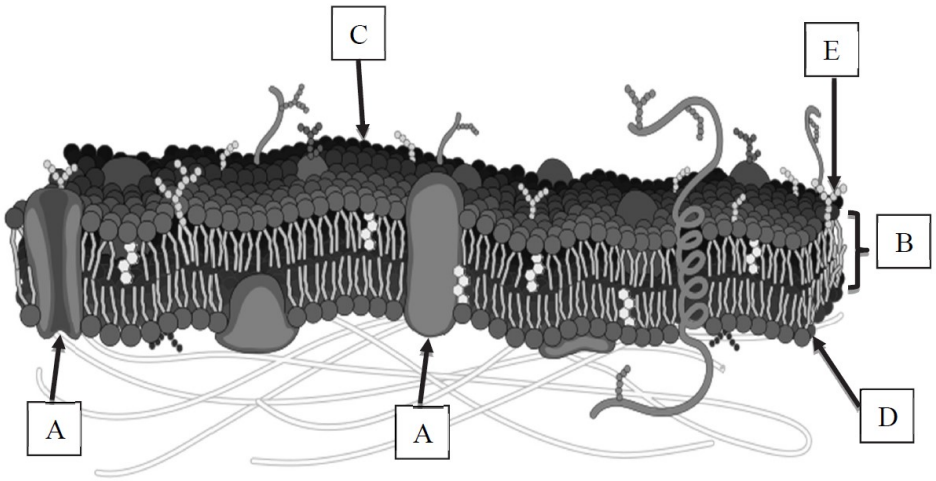


(Egy képlet csak egy helyen szerepelhet. Ha két vagy több helyen is szerepel, nem adható érte pont.)

7. A — 1 pont
8. B — 1 pont
9. D — 1 pont
10. D — 1 pont
11. A — 1 pont

II. A membránok 12 pont

Az alábbi rajz a biológiai membránok felépítését mutatja. A „C” jelű molekula szteránvázrészletet, az „E” jelű monoszaharid egységeket tartalmaz.



Egészítse ki a hiányos mondatokat az alábbi szavak közül a megfelelővel! Nem minden szót kell felhasználnia!

karotinoidok,	**aminosavak,**	**szénhidrátok,**	**lipidek,**	**hidrofóbok (víztaszítók),**
hidrofilek (vízkedvelők),	**riboszómák,**	**lizoszómák,**	**mitokondriumok,**	**fehérjék**

A membrán „A”-vel jelölt részei kémiailag (1) ……..……., amelyek a (2) …….…… felszínén szintetizálódnak. A „C” és a „D” jelű molekulák a(z) (3) ……..……. közé tartoznak. Oldódási tulajdonságaik alapján a „D” jelű molekulák sejt belseje és külső felszíne felé mutató részei (4) ……..……, a sejtmembrán belsejében lévő részei (5) ……... . Az „E” jelű molekula a(z) (6) ……... közé tartozik.

7. A felsoroltak közül mely sejtalkotókat határolják mindig membránok? A helyes válaszok betűjeleit írja a négyzetekbe! (2 pont)

   A) A sejtfalakat.
   B) A riboszómákat.
   C) A mitokondriumokat.
   D) A zárványokat.
   E) A lizoszómákat.

Hasonlítsa össze a membrán „A”-val és „B”-vel jelölt részeit! Írja a megfejelő betűjeleket az állítások után! (A feladattípusnak megfelelő betűkkel válaszoljon!)

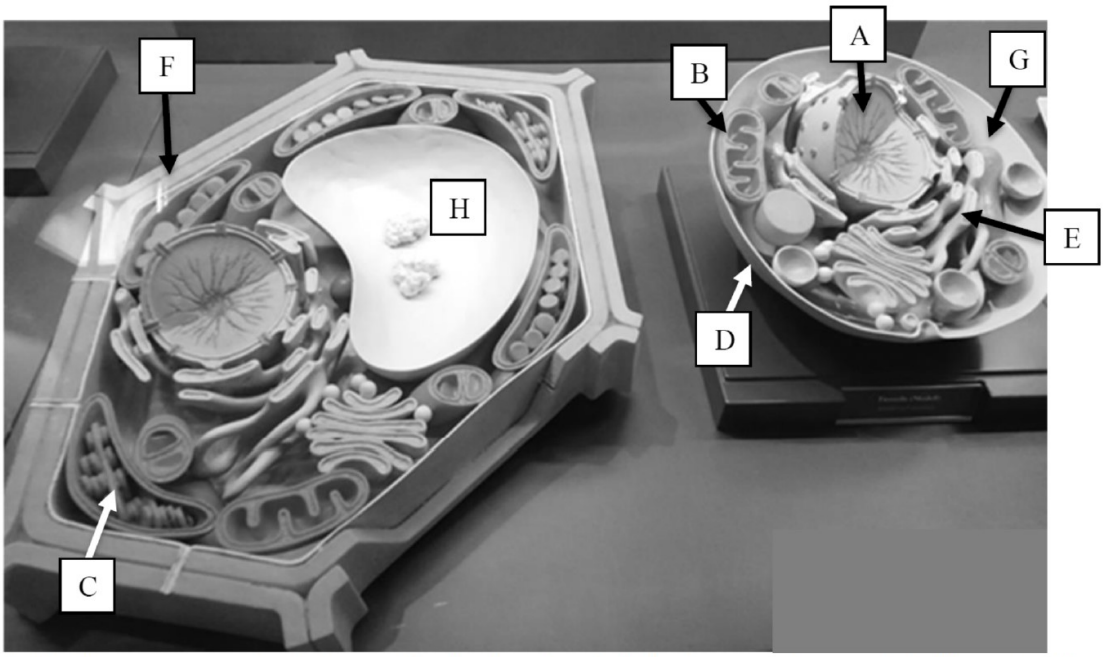
A) „A”-val jelölt részlet
B) „B”-vel jelölt részlet (a membrán kettős rétege)
C) mindkettő
D) egyik sem

8.	Az oxigén ezen keresztül diffúzióval jut át a membránon.	
9.	Ezen keresztül juthatnak át az ionok a membránon.	
10.	A szteroid hormonok ezen keresztül jutnak be a sejtbe.	
11.	A víz ezen keresztül aktív transzporttal jut át.	

Megoldás

1.	fehérjék	1 pont
2.	riboszómák	1 pont
3.	lipidek	1 pont
4.	hidrofilek	1 pont
5.	hidrofóbok	1 pont
6.	szénhidrátok	1 pont
7.	C és E	1+1 = 2 pont
8.	B	1 pont
9.	A	1 pont
10.	B	1 pont
11.	D	1 pont

III. Sejtalkotók 9 pont



A fényképen egy növényi és egy állati sejt makettje látható egy múzeum vitrinjében. Az ábra alapján ismerje fel és jellemezze a betűkkel jelölt sejtalkotókat. A „H” jelű sejtalkotó folyékony anyagcseretermékeket tárol, de néha szilárd kristályok is megjelennek benne. A maketten mind az „E”-vel, mind a „G”-vel jelölt sejtalkotó tartalmaz riboszómákat. A helyes válasz betűjelét írja a négyzetbe!

1. Kettős (két, egyenként két lipidréteget tartalmazó) hártya határolja

   A) A „B”, és a „D” jelű sejtalkotókat.
   B) A „B” és a „C” jelű sejtalkotókat.
   C) Csak az „A”, a „B” és a „D” jelű sejtalkotókat.
   D) Csak a „H” jelű sejtalkotót.
   E) Csak az „F” jelű sejtalkotót.

2. DNS-t tartalmazó sejtalkotók

   A) Az „A”, a „B” és az „E” jelű sejtalkotó.
   B) Az „A”, a „B”, a „C” és „E” jelű sejtalkotó.
   C) Csak az „A”, és a „C” jelű sejtalkotó.
   D) Az „A”, a „B” és a „C” jelű sejtalkotó.
   E) Csak az „A” jelű sejtalkotó.

3. Sejtalkotó, mely béta-glükóz tartalmú poliszacharidot tartalmaz, és nincs benne kettős lipidréteg:

4. Sejtalkotó, melyben glikolízis megy végbe:

5. Sejtalkotó, melyben a Calvin-ciklus (a szén-dioxid redukciója) megy végbe:

6. Sejtalkotó, melyben ATP-szintézis zajlik

   A) A „B”, a „C” és az „E” jelű sejtalkotóban.
   B) A „B”, a „C” és a „G” jelű sejtalkotóban.
   C) Csak az „E” jelű sejtalkotóban.
   D) A „B”, a „C” a „G” és a „H” jelű sejtalkotóban.
   E) Az „A”, a „B” és a „C” jelű sejtalkotóban.

7. Sejtalkotó, mely molekuláris oxigént használ fel.

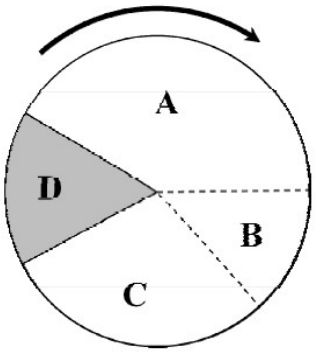
8. A felsorolt (1-7. pontban szereplő) jellemzők közül melyek támasztják alá egyes sejtszervecskék endoszimbionta elméletét? Indokolja állításait! (2 pont)

   .....

Megoldás

1. B — 1 pont
2. D — 1 pont
3. F — 1 pont
4. G — 1 pont
5. C — 1 pont
6. B — 1 pont
7. B — 1 pont
8. A kettős membrán, melynek belső membránja a mitokondriumot, ill színtestet létrehozó egysejtű eredeti sejtmembránjából származtatható. — 1 pont
   A mitokondrium és zöld színtest DNS-tartalma, mely az eredeti sejtek DNS-éből származtatható. — 1 pont
   Mindkét állítás másként is megfogalmazható. Csak indoklással fogadható el.

V. A sejtek élete 12 pont



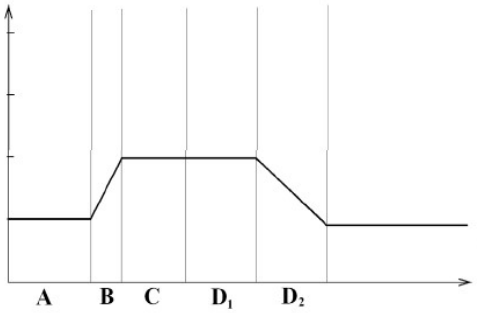
Az ábra a sejtek osztódási ciklusát mutatja. A *D* betű a feladat első részében (az 1-4. feladatokban) a számtartó sejtosztódást (mitózist) jelöli.

A megfelelő betűjelzés(ek) megadásával jellemezze az egyes szakaszokat! Az egyik esetben nincsen az állításnak megfelelő szakasz. Ehhez írjon *E* betűt!
A feladatban a DNS-fehérje kapcsolatot kromoszómaként értelmezzük az egész sejtciklus során.
Értelmezzük az egy-és kétkromatidás kromoszóma fogalmát is.

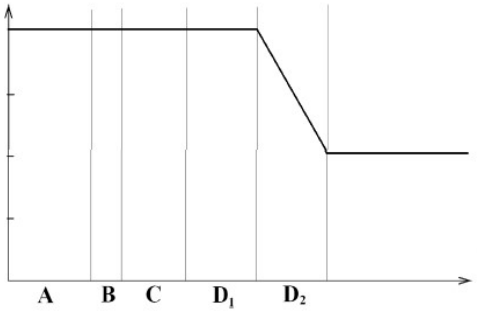
1.	E szakaszban megváltozik a sejt ploidiaszintje (kromoszómaszáma).		
2.	Ebben a szakaszban szétválnak egymástól a kromatidák.		
3.	E szakaszban történik a replikáció (DNS-megkettőződés).		
4.	Intenzív génműködéssel (azaz átírással, transzkripcióval) jellemezhető szakaszok.		

Bizonyos sejtek hormonális hatásra számfelező osztódásba (meiózis) kezdenek. A következő grafikonok a ciklus *A, B* és *C* szakaszaiban és a meiózis két szakaszában (D_1, D_2) az idő függvényében mutatják a sejt örökítő anyagának jellemző mennyiségi változásait. A megfelelő betű négyzetbe írásával azonosítsa, hogy melyik görbe melyik genetikai jellemző változását mutatja be! (Az egyik esetben két helyes válasz is van!)

5.
A) A sejt ploidiaszintje.
B) A kromoszómák kromatidáinak száma.
C) A sejt teljes DNS-tartalma.
D) A sejt kromoszómáinak a száma.
E) Egyik sem a felsoroltak közül.

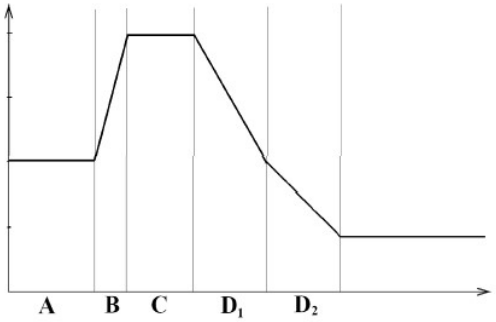


6.
A) A sejt ploidiaszintje.
B) A kromoszómák kromatidáinak száma.
C) A sejt teljes DNS-tartalma.
D) A sejt kromoszómáinak a száma.
E) Egyik sem a felsoroltak közül.



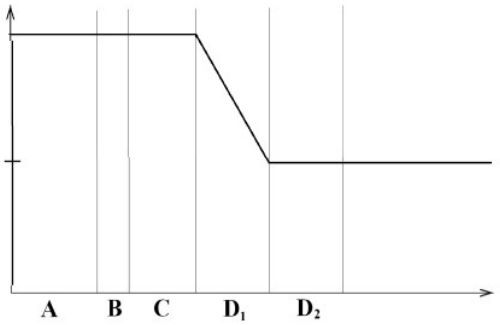
7.

A) A sejt ploidiaszintje.
B) A kromoszómák kromatidáinak száma.
C) A sejt teljes DNS-tartalma.
D) A sejt kromoszómáinak a száma.
E) Egyik sem a felsoroltak közül.



8.

A) A sejt ploidiaszintje.
B) A kromoszómák kromatidáinak száma.
C) A sejt teljes DNS-tartalma.
D) A sejt kromoszómáinak a száma.
E) A sejthártya felszíne.



9. Milyen sejttípus kialakulását mutathatják a grafikonok (azaz milyen sejt alakulhat ki a D_2-szakasz végére)?

A) Az állati ivarsejtekét.
B) A növényi ivarsejtekét.
C) A növényi spórákét.
D) A generatív sejtét.
E) A zigótáét.

Megoldás

V. A sejtek élete — 12 pont

A feladat a követelményrendszer 2.3.4., 3.3.1 és 6.1.1. pontjai alapján készült.

1. E		1 pont
2. D		1 pont
3. B		1 pont
4. A, C	1+1 pont =	2 pont
5. B		1 pont
6. E		1 pont
7. C		1 pont
8. A, D	1+1 pont =	2 pont
9. A, C	1+1 pont =	2 pont