

Molnár Kinga¹, Tóth Erika¹, Varró Petra¹, Koronczai Beatrix², Zsáka Annamária¹ –
MTA-ELTE EGYK Kutatócsoport

¹Eötvös Loránd Tudományegyetem, TTK, Biológiai Intézet

²Eötvös Loránd Tudományegyetem, PPK, Pszichológiai Intézet



Szexuális nevelés elektronikus tananyag (tuti.elte.hu) – tanári segédlet 2.

A kutatást a Magyar Tudományos Akadémia Közoktatás-fejlesztési Kutatási Programja támogatta.

Az elektronikus tananyagot tartalmazó weboldalt a [MedInnoScan Kutatás-fejlesztési Kft.](#) készítette és üzemelteti.

Az ivarsejtek képződése

Tartalom

Bevezető a sejtosztódásokhoz	1
Az ivarsejtek képződése	2
Különbség a fiúk és lányok között	6
Miért ilyen bonyolult?	7
Miért van belőlünk csak egy?	7

Bevezető a sejtosztódásokhoz

Az állati sejtek alapvetően kétféle osztódással növelhetik számukat. Amikor egy feladatot fokozott ütemben vagy hosszabb ideig kell ellátni, és ehhez több olyan sejtre van szükség, ami a kellő funkciót be tudja tölteni, a szervezet az adott funkciót betöltő sejtet osztódásra bírja. Mivel minden feladatot a sejt génjeiről átíródó géntermékek látnak el, az ellátás mértéke fokozható, ha több géntermék keletkezik. A sejtek azonban nem hajszolhatók korlátlan mértékig, kíméletesebb belőlük többet létrehozni – így mindenki teherbírásának megfelelő mértékben dolgozhat. Azt, hogy az azonos munkában résztvevő sejtek mindegyike ugyanolyan képességekkel, azaz géntermékekkel, végső soron génekkel rendelkezzen, a **számartó osztódás**, tudományos nevén **mitózis** biztosítja. A magyar elnevezés magyarázata, hogy az osztódásba kezdő szülői sejt génkészletével azonos génkészletet biztosít az utód- vagy leánysejteknek. A gének kromoszómákon foglalnak helyet, a számartó osztódás tehát egyben a kromoszómák számának sejtgenerációk közti fenntartását biztosítja. A **testi, szomatikus sejtek** a szervezet létfenntartáshoz és szaporodáshoz szükséges szerveit építik fel és mitózissal tartják fenn a szükséges sejtszámot.

Az ivarsejtek feladata egy új utód teljes szervezetének létrehozása, aminek során olyan kihívásokat kell teljesíteni, amik a testi sejtek élete során fel sem merülnek. A megtermékenyítésben két ivarsejt vesz részt, a kettő által az utódban „összehozott” génállomány, azaz kromoszómaszám azonos kell legyen a szülőkével. Egyértelműen meg kell határozni az utód nemét, és mivel annak csakúgy, mint a szüleinek, két ivari kromoszómája lesz, az egyik ivari kromoszómát az egyik, a másikat a másik ivarsejttől kell kapnia. Mindkét kihívás megoldása az, ha az ivarsejteket létrehozó ún. ivarsejtképző sejt a génállományát (kromoszómaszámát) megfelelzi és a belőle képződő ivarsejteknek csak a fele készletet adja. Az az osztódási típus, ami ezt biztosítja, a számfelező osztódás.

TUDTAD?

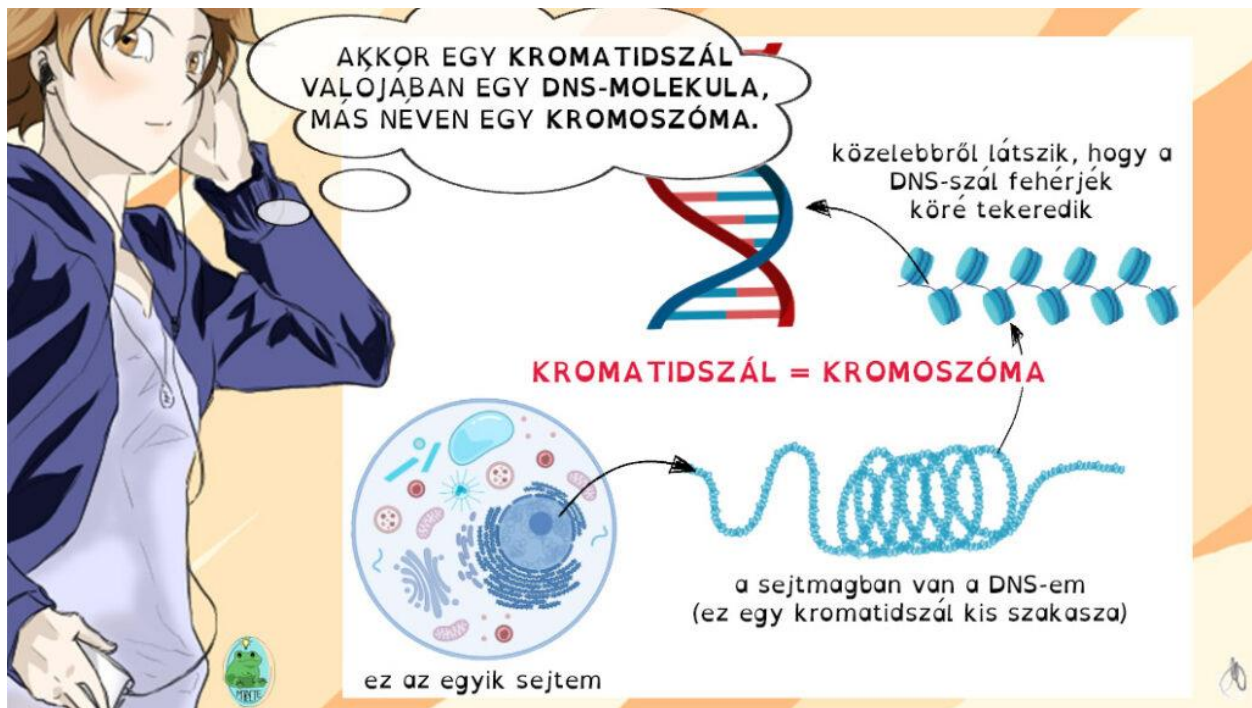
Amikor a sejtek megszületnek, még nem képesek specializált feladatok ellátására, mert az ehhez szükséges génjeik nem működnek, ezért például az alakjuk a feladat elvégzéséhez nem felel

meg: pl. egy újszülött idegsejtnek nincsenek nyúlványai, egy hímivarsejtnek nincsen ostora. A sejteknek ahhoz, hogy a számukra kijelölt feladatot el tudják látni, „fejlődniük” kell. Ennek során más-más sejtípusok más-más feladatokra specializálódnak, így egymástól különbözővé válnak. A különbség tudományos néven differencia, tehát a sejtek fejlődésük során differenciálódnak. A folyamat neve differenciáció.

Az ivarsejtek képződése

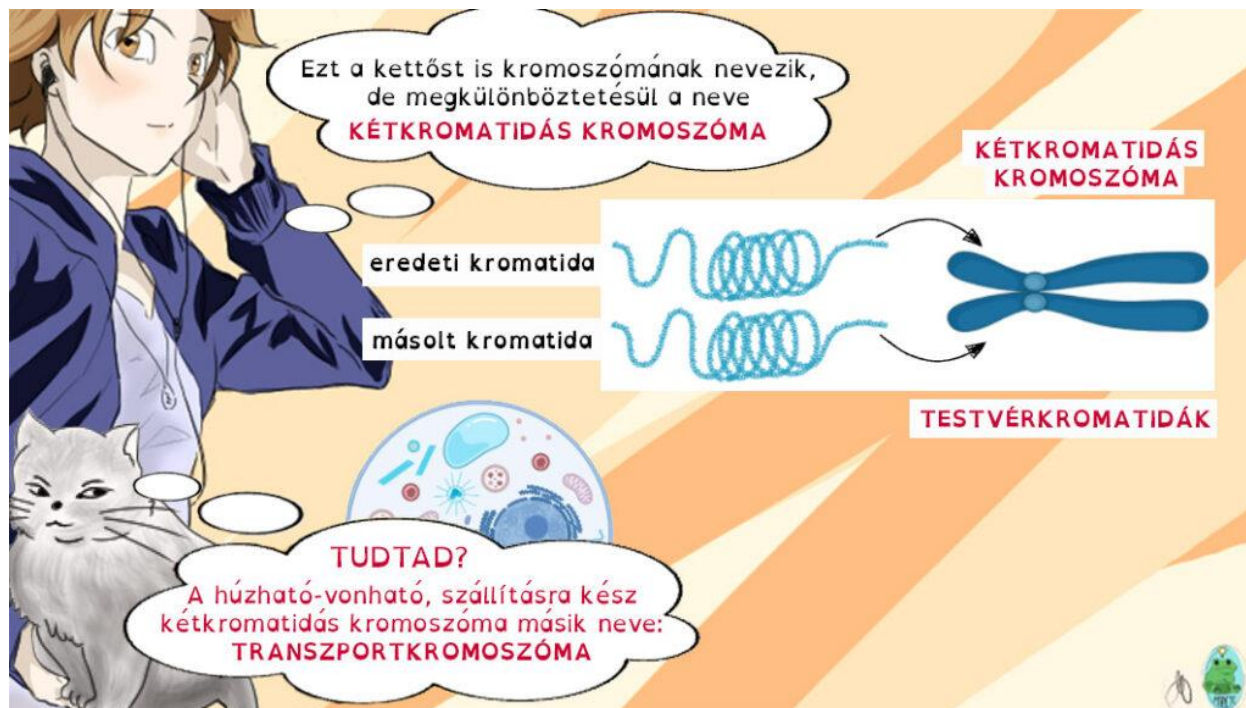
Hogyan is zajlik egy **számfelező osztódás**, tudományos nevén **meiózis**? A lényeg megértéséhez érdemes a számtartó osztódás folyamatából kiindulni.

A sejt génjei DNS-ben kódoltak. A sejtmagban lévő DNS-molekula fehérjék köré tekeredik, így jön létre a **kromatidszál** (egy DNS-molekula egy kromatidszálat képez). Minden kromatidszál egyben egy (**egy**kromatidás) **kromoszóma** is, hiszen egy DNS-molekula egy **kromoszóma**. A kromoszóma elnevezés onnan származik, hogy a sejtmag belsejét kitöltő DNS-állomány, az ún. kromatinállomány az osztódások előtt mikroszkóppan is látható, festékekkel színesre festhető (kromo- előtag) kis testekké (görögül szóma) szerveződik.

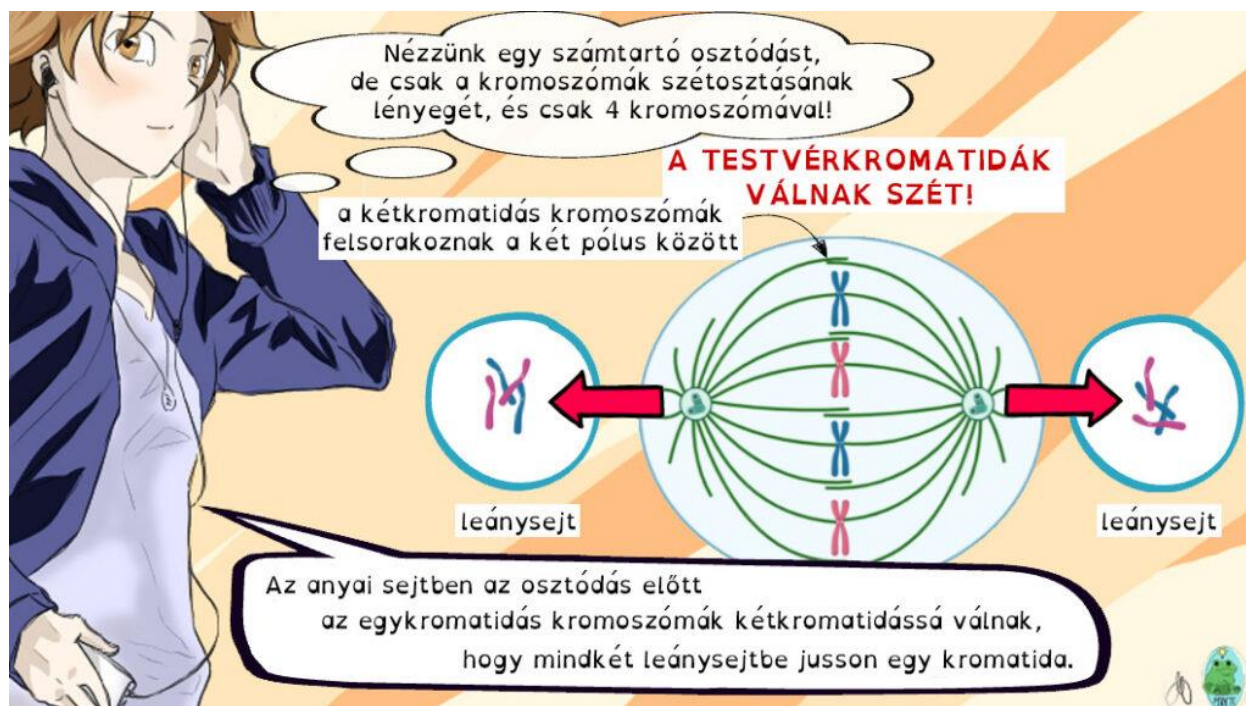


A számtartó osztódásra készülő sejt első lépésben megduplázza kromatidszálljait (kromoszómáit!), azaz mindegyikről egy tökéletes másolatot készít (DNS-szintézis). Az eredeti és a másolt szál leginkább az egyetétjű ikrekhez hasonlóan egyforma, ezért testvérkromatidáknak is hívják őket. A másolás után a **testvérkromatidák** összekapcsolódva együtt is maradnak: ezzel létrejön a **kétkromatidás kromoszóma**. Ennek kromatidszálljai kezdetben laza hurkokat, kanyarokat képző cérnaszálhoz hasonlóak. Szerkezetük csakhamar tömörödni kezd, a szálak sűrű hurkokba hajtogatódnak és mindkét szál egyre rövidebbé és vastagabbá válik: kialakul a fénymikroszkóppan is látható **transzportkromoszóma**. Mivel ebben a szerkezetben a DNS-szállhoz szorosan fehérjék kapcsolódnak, gének nem íródhatnak át, ám „cserébe” a DNS

sebezhetősége, káros hatásokkal szembeni védekezése maximálisra nő. A DNS ezzel szállíthatóvá, húzófonalak által húzhatóvá-vonhatóvá válik, mint egy becsomagolt bőrönd.



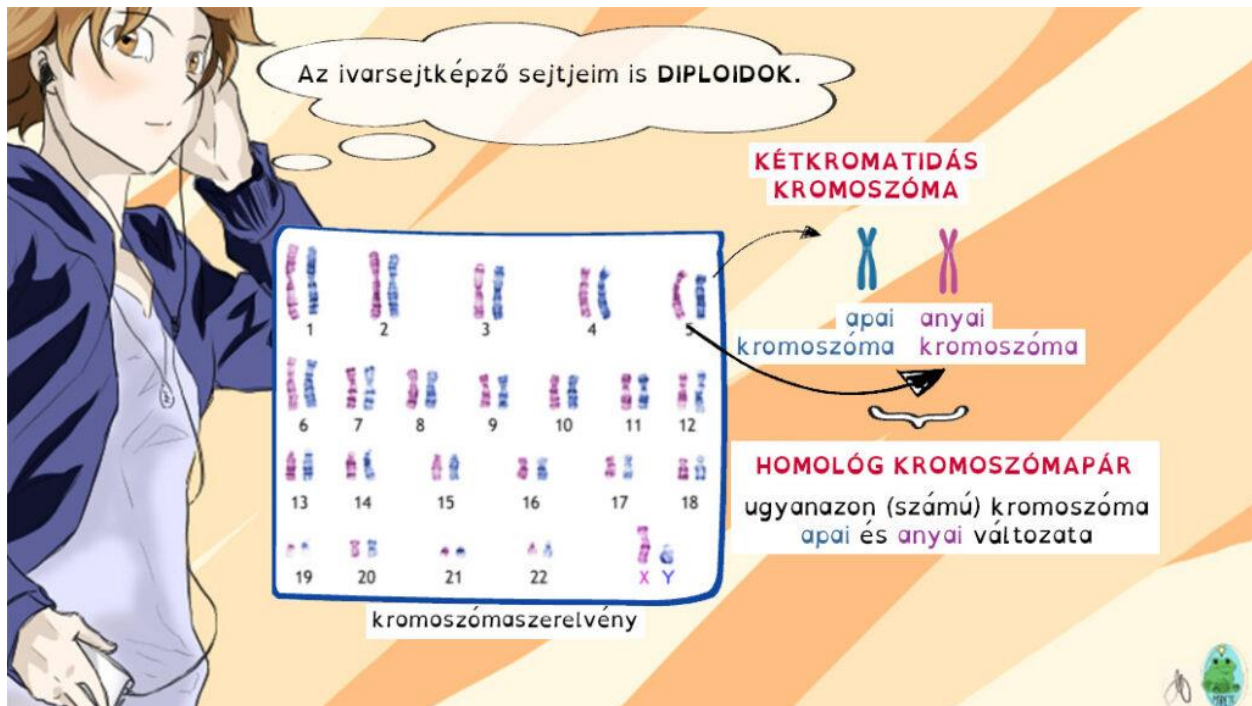
A számfelező osztódás lényege, hogy ezután a sejt a két-kromatidás transzportkromoszómáit a középsíkjába rendezi, majd az utódsejtek között a testvérkromatidákat egyenlően osztja szét. Mindkét utódsejt minden két-kromatidás kromoszómából megkapja az egyik kromatidszálat, az örökség így azonos lesz; a szülői sejt végül mindenét, a citoplazmáját is szétosztja utódai között.



HASONLAT

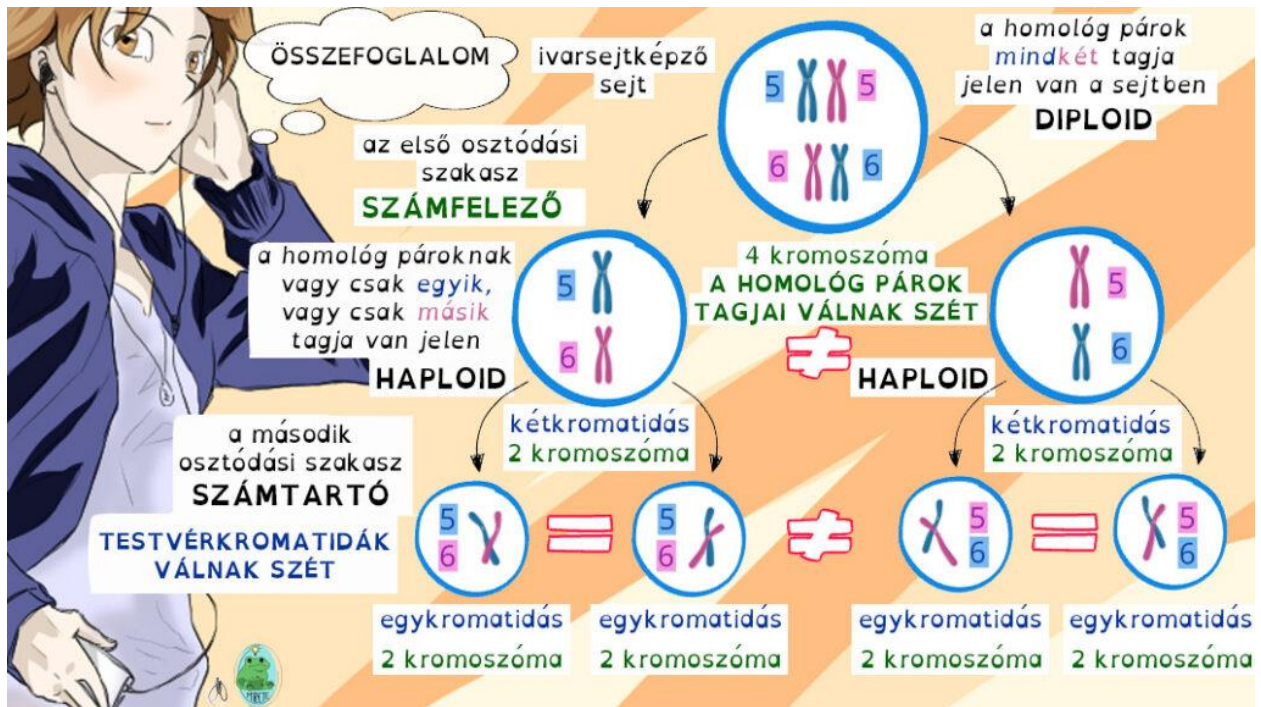
A mesebeli király, ha azt akarja, hogy mindkét fia ugyanolyan örökséget kapjon, minden birtokát megduplázza és minden vagyontárgyáról másolatot készít. A két királyfi így ugyanazt az örökséget kapja, ráadásul ez mindenben egyezik az apja királyságával – persze így a királynak semmije nem marad. Most pedig nézzük a király és a királyfik hasonlóságát!

Az állatokban a sejtek diploidok. A **diploiditás** azt jelenti, hogy a kromoszómakészletben (-szerelvényben) minden kromoszómának van egy apai és egy anyai példánya. Az egymásnak megfelelő kromoszómák a **homológ kromoszómapárok**. Az embernek 23 kromoszómapárja van: ezek közül 22 pár testi, 1 pár pedig ivari (a nemet meghatározó) kromoszóma.



A számfelező osztódás (meiózis) két fázisból áll. Az **első szakasz** ugyanúgy kezdődik, mint a mitózis: az ivarsejteket létrehozó sejt megduplázza a kromoszómaszámát, így kétkromatidás kromoszómákat alakít ki. Ezek, miközben felsorakoznak az egyenlítői síkba, a homológ párok tagjai megkeresik egymást és egymással szemben helyezkednek el. Ezután a **homológ párok tagjai válnak el egymástól**, ezért az utód- vagy leánysejtbe a párosnak vagy csak anyai, vagy csak apai tagja kerül. Ezzel a **diploiditás megszűnik, haploid** utódsejtek születnek, amelyekben a kromoszómák száma a felére csökken.

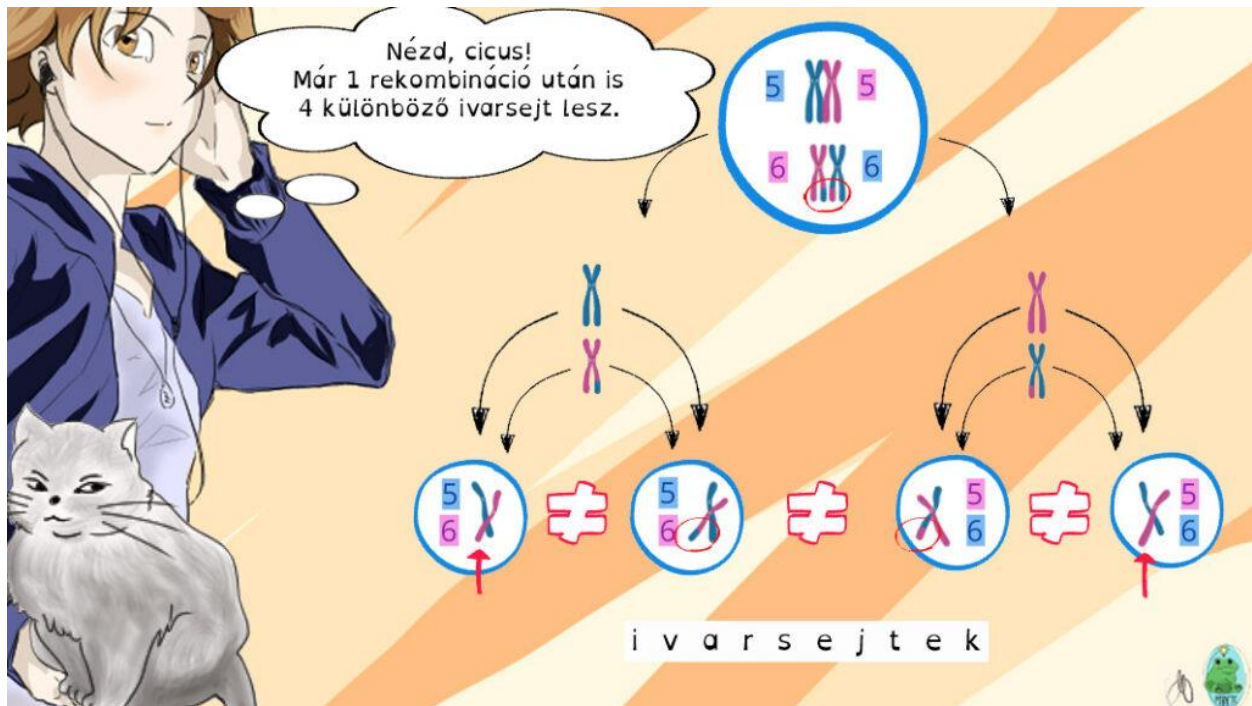
A méiózis **második szakaszában** DNS-szintézis már nincsen, a meglévő DNS-molekulák (kromatidák) szétosztása történik. Az első szakaszban kapott kétkromatidás kromoszómák mindkét utódsejtben felsorakoznak az egyenlítői síkban, majd a **testvérkromatidák válnak szét** és kerülnek két-két leánysejtbe. Összességében a méiózis során 4 haploid leánysejt keletkezik, amelyek kromoszómaszerelvény összetétele (a kromoszómák szülői eredete szempontjából) eltérő.



Két homológ pár esetében is többféle végeredmény adódhat, nem is beszélve arról, hogy diploid sejtjeinkben nem 2, hanem 22 homológ kromoszómapár van. Az, hogy ezek anyai és apai tagjai milyen arányban kerülnek a haploid sejtekbe, illetve, hogy egy adott sejtbe éppen melyik kromoszóma anyai (vagy apai) kópiája kerül, az a véletlen mûlik. Ha a szülõi kromoszómákon ugyanazon génnek más-más változatai (alléljai) vannak, akkor nem mindegy, hogy egy adott sejtbe melyik szülõtõl származó kromoszóma kerül.



A meiózis eredményeként született sejtekben a szülői tulajdonságok „keverednek”, új kromoszóma-kombinációk jönnek létre. Van még egy esemény, ami a változatosságot növeli: ez a **genetikai rekombináció**. Ez a meiózis kezdetén történik, mégpedig a párba rendeződött homológ kromoszómák között: ezek egymásnak megfelelő szakaszai átfedésbe kerülnek, rajtuk keresztül a karok átkereszteződnek, az átfedő régiók kicserélődnek és beépülnek a homológ kromoszómába. Így az anyai kromoszómába apai, az apaiba pedig anyai eredetű szakaszok kerülnek, a rajtuk lévő génváltozatokkal együtt. Mondhatjuk, hogy emiatt egy kromoszómán belül is „keverednek” a szülői tulajdonságok, egy kromoszómán is új gén-kombinációk jönnek létre – a „re-kombináció” jelentése „újra kombinálódás”. Ha csak 1 rekombináció is történik, a 4 utódsejt mindegyike különböző lesz.



Különbség a fiúk és lányok között

A herében lévő ivarsejtképző sejteknek mind a 4 utódsejtje hímivarsejtté fejlődik. A fiúk ivarsejtképző sejtjei élethosszig képesek mitózissal megfelelő kiindulási sejt számot fenntartani és meiózissal folyamatosan ivarsejteket képezni. Az ivarsejtképzés normálisnak tekinthető, ha egy ejakulátumban a hímivarsejtek száma közelíti a 40 milliót (fontos persze az is, hogy ezek megfelelő számban legyenek életképes, ép spermiumok).

A lányokban más a helyzet: az ő ivarsejtjeik száma nagyságrendekkel kisebb. Ennek egyik oka, hogy a petefészekben létrejövő haploid sejteknek csak a negyedéből (egy osztódást tekintve a 4 utódsejt közül csak az egyikből) válik petesejt. A másik ok az, hogy a petefészekben már a magzati korban kialakul az ivarsejtképző sejtek végleges száma, és ezek szinte mindegyike be is lép a meiózisba. Ez azt jelenti, hogy születésükkor a kislány újszülöttek ivarsejtképző sejtekkel (gyakorlatilag) már nem rendelkeznek, bennük már fejletlen ivarsejtek, petesejt-kezdemények vannak. Ahány petesejt-kezdeménnyel születnek, annyival gazdálkodnak életük során. Ez a reprodukív kor kezdetén 200-400 ezer petesejt. A nők reprodukív kora átlagban 13 éves kortól

50 éves korig tart, azaz 37 év. Ez idő alatt havonta átlagosan csak egy petesejtjük érik meg, azaz a készletből csak 37 (év) x 12 (hónap) x 1, összesen 444 petesejtet „használnak fel”. Az ehhez képest nagyon tűnő felesleg (200-400 ezer) azért hasznos, mert a születéskor rendelkezésre álló sejtek nagy része az évek során elpusztul. Ez olyannyira igaz, hogy az 50-es évek elejére a petefészek kiürül (ennek az öregedésben is van szerepe). Az, hogy a lányok már petesejtkezdeményekkel születnek, azt is jelenti, hogy petesejtjeik, akárhány éves korukban is válnak azok éretté, annyi idősek, mint abban a pillanatban a nő maga – ezzel szemben a hímivarsejtek mindig frissen létrejöttek, „fiatal” sejtek.

Miért ilyen bonyolult?

Végezetül egy kérdés: miért két osztódási szakaszból áll az ivarsejtek képzése? A válasz két részből áll. 1) A szülői genom diploid, és ezt az állapotot kell tovább örökíteni. Az embriót 50-50%-ban két sejt hozza létre, ezeknek tehát a szülőihez képest fele annyi kromoszómával kell rendelkezniük - ez a feltétel már az első osztódási szakasz végén is teljesül. Mire jó a második szakasz? 2) A második szakasz jelentősége akkor érzékelhető, ha genetikai rekombináció is történik: ha 1 rekombinációs esemény 4 eltérő sejtet ad, akkor az egész genomot érintő rekombinációk sokasága felmérhetetlen változatosságot hoz létre. Az ivaros szaporodás egyik előnye pedig új változatok létrehozása annak érdekében, hogy az utód hatékonyabban tudjon a régi, vagy képessé váljon az új környezeti kihívásoknak megfelelni.

Miért van belőlünk csak egy?

Az eddigiekből is látszik, hogy az ivarsejtek keletkezésének történetében számtalan előre meg nem jósolható, mondhatni, véletlenszerű esemény szerepel.

- Ilyen az, hogy a 23 homológ kromoszómapár melyike kerül éppen az embriót létrehozó hímivarsejtbe, illetve a petesejtbe.
- Az sem befolyásolható, hogy az aktuális megtermékenyítési versenyben a sok millió közül melyik hímivarsejt lesz a győztes.
- Az is véletlenszerűen alakul, hogy a születésig eljutó magzatnak mi a neme. Ugyan átlagban az Y-kromoszómát hordozó hímivarsejtek picit gyorsabbak, mint az X-kromoszómát hordozók, mégis több leány születik – a háttérben valószínűleg a fiú magzatok nagyobb halandósága áll (bizonyos kromoszómamutációk a fiúkban magzatkori elhalálozást okoznak, míg ugyanilyen mutációval a lányok megszületnek).
- A 23 homológ pár közti genetikai rekombinációk száma hatalmas; hogy a lehetőségek közül éppen melyek mely kromoszómapárok között zajlanak le, meg nem jósolható és nem irányítható. Éppen ezért megjósolhatatlan, hogy az éppen találkozó ivarsejtek milyen allélokat hordoznak és hogy ezek kifejeződése milyen viszonyban van egymással. Ugyan a gyermek a szülei alléljait örökli, de ezek benne új kombinációban és együtt jelennek meg: olyan szülői tulajdonság, ami az egyik szülőben fenotípusosan megjelent, a gyermekben csak akkor jelenik meg, ha a másik szülői allél ezt megengedi, „el nem nyomja”. És ki ismeri az összes tulajdonságunk esetében, hogy annak meghatározásában hány és milyen allél vesz részt?

Az eddigiek alapján miért is van belőlem csak egy?

23 pár kromoszómával az ivarsejtekben létrejövő kromoszóma-variációk száma sokkal több, mint 2 kromoszóma esetében.

Nem tudható, hogy a különböző kromoszóma-összetételű hímvarsejtek közül melyik nyeri a megtermékenyítési versenyt.

Az sem befolyásolható, hogy a győztes milyen nemet határoz meg (X- vagy Y-kromoszómat hordoz-e).

Kiszámíthatatlan, hogy a győztesre milyen kromoszómakészletű petesejt vár az adott ciklusban.

Az is megjósolhatatlan, hogy az éppen találkozó ivarsejtek milyen allélokat hordoznak, és hogy ezek milyen viszonyban vannak egymással.

Hát, ennyi véletlennel nem csoda, hogy egyedi vagy, barátom.
DE BELŐLEM AZÉRT LEHETNE KETTŐ...

TUDDAD?

A szüleinktől géneket öröklünk. Ez a „hardver” és a „szoftver készlet”. Az egy másik kérdés, hogy ezeket mennyire tudjuk használni, azaz, hogy ezek milyen mértékben működnek bennünk: ha úgy tetszik, a programok futtathatóságába a minket ért környezeti hatások is beleszólnak, mégpedig korai magzatkorunk óta. Ennek akkor van biológiai értelme, ha a magzat a szüleitől eltérő környezetbe születik: az, hogy a környezet „beleszólhat” a génjeink működésébe, lehetőséget ad az újszülöttnak, hogy alkalmazkodjon a változásokhoz.