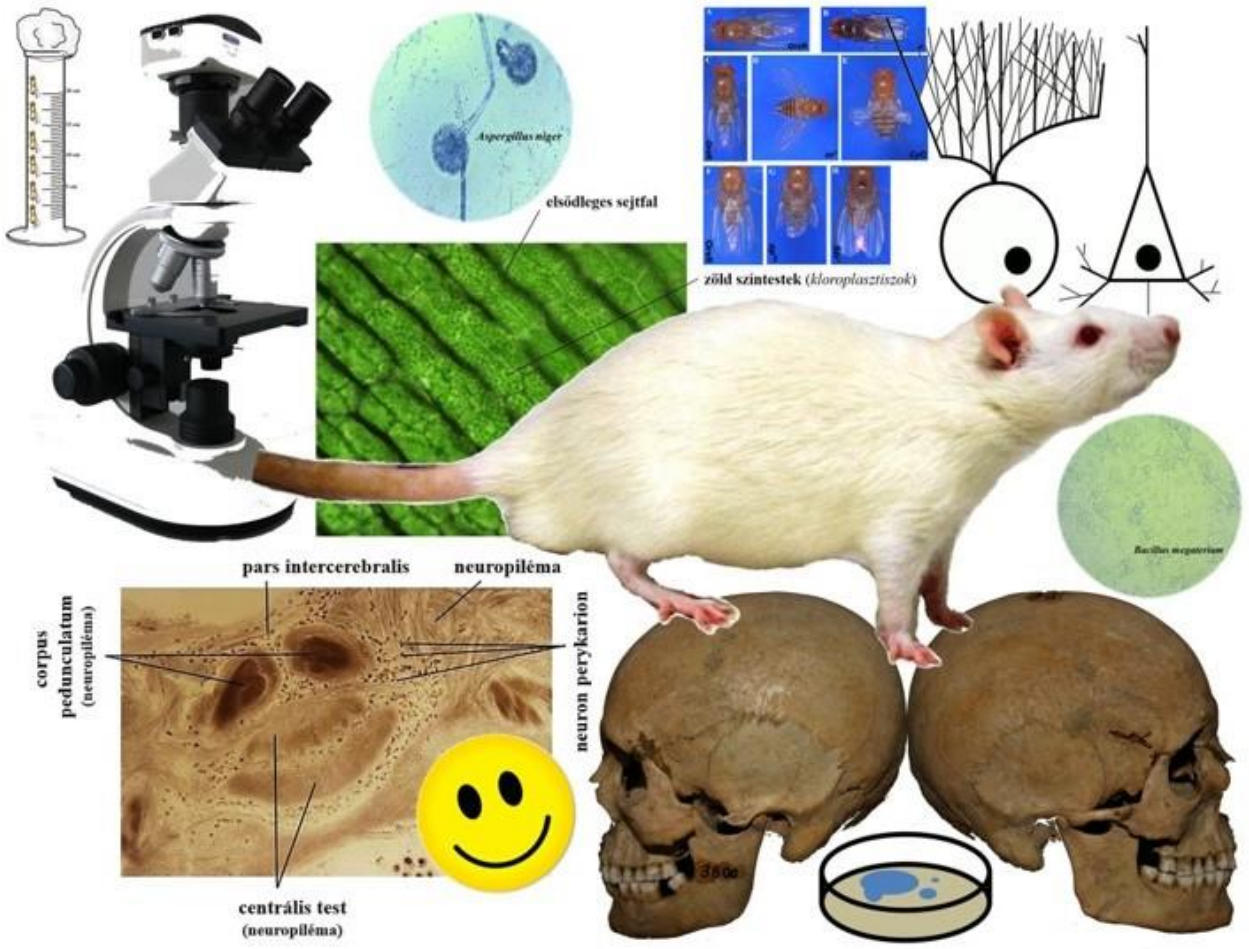
Balázs – Hegyi – Poór – Sinka – Vörös

Makroszkópos és mikroszkópos biológiai megfigyelések



Makroszkópos és mikroszkópos biológiai megfigyelések

Balázs János
SZTE TTIK Élettani, Szervezettani és Idegtudományi Tanszék; Embertani Tanszék
(1. és **5. fejezet**)

Hegyi Andrea
SZTE TTIK Élettani, Szervezettani és Idegtudományi Tanszék; Embertani Tanszék
(1. és **4. fejezet**)

Poór Péter
SZTE TTIK Növénybiológiai Tanszék
(1. és **3. fejezet**)

Sinka Rita
SZTE TTIK Genetikai Tanszék
(1. és **6. fejezet**)

Vörös Mónika
SZTE TTIK Mikrobiológiai Tanszék
(1. és **2. fejezet**)

Szerkesztette:
Balázs János

Lektorálta:
Nagy Lászlóné
SZTE TTIK Élettani, Szervezettani és Idegtudományi Tanszék, Biológiai Szakmódszertani Csoport

Borítókép: Balázs János. Készült az EFOP-3.4.4-16-2017-00015 pályázati azonosítójú, „A Szegedi Tudományegyetem készségfejlesztő és kommunikációs programjainak megvalósítása a felsőoktatásba való bekerülés előmozdítására és az MTMI szakok népszerűsítésére” című pályázat keretében.
© 2019 Szegedi Tudományegyetem. E könyv oktatási célokra szabadon használható.

ISBN 978-963-306-682-9

ELŐSZÓ

Könyvünket elsősorban azon fiataloknak szánjuk, akik a „Biológus leszek?” kérdésre keresik a választ, ehhez szeretnénk hozzájárulni biológus és biológiatanár képzésből válogatott feladatokkal, melyek elvégzéséhez szükséges elméleti hátteret is megadjuk. Természetesen ezek a gyakorlatok nem alkalmasak sem az egyetemi hétköznapok, sem a biológusok és biológiatanárok hétköznapjainak realisztikus bemutatására, de alkalmasak a természettudományos gondolkodás kialakulásának elősegítésére, a biológia érettségi témakörök szélesítésére, szemléletfejlesztésre és pályaorientációra (biológus és biológiatanár, de közvetve zoológus, agrármérnök, kertészmérnök, biomérnök, általános orvos, fogorvos, állatorvos, gyógyszerész). Írásainkat természetesen tanároknak is ajánljuk szakkörökhöz, fakultációs órákhoz vagy emelt szintű érettségire való felkészítéshez. Ellenben nem célunk sem az érettségire való direkt felkészítés, sem az egyetemi tanulmányok megalapozása, ennek megfelelően szemelvényeink csupán egy-egy tudományterületből adnak ízelítőt a biológus „szakma” szépségeinek bemutatására koncentrálva. Ennek megfelelően könyvünk nem egységes szerkezetű, az egyes fejezetek lazán kapcsolódnak egymáshoz és az adott tudományterület jellegzetességei szerint íródtak, ezért a középiskolai tankönyvekhez képest nehezebb olvasmány.

Könyvünk eredetileg MTMI (matematikai, természettudományos, műszaki vagy informatikai), azon belül biológia pályaorientációs egyetemi előkészítő táborhoz készült, de a gyakorlatok egy része középiskolában (esetenként múzeumban), biológiatanári irányítás mellett is kivitelezhető.

a Szerzők

Szeged, 2019. április

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS 1
1.1. Megfigyelési technikák a biológiában 1
1.2. A biológiai vizsgálatok emblematikus eszköze: a mikroszkóp 1
1.3. A metszet 14
1.4. A fénymikroszkóp használata 16
1.5. Kiegészítés 18
1.6. Anatómiai helyzet- és iránymegjelölések 18
1.7. Felhasznált és ajánlott irodalom 19
2. MIKROORGANIZMUSOK LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA 20
2.1. Táptalajok készítése, baktériumok és gombák izolálása környezetből 20
2.2. Baktériumok morfológiai vizsgálata 22
2.3. Baktériumok antibiotikum érzékenységének vizsgálata 24
2.4. Élesztőgombák morfológiai vizsgálata 27
2.5. Fonalasgombák morfológiai vizsgálata 29
2.6. A feladatok megoldásai 31
2.7. Felhasznált és ajánlott irodalom 38
3. MIKROSZKÓPOS NÖVÉNYANATÓMIA 39
3.1. A növényi sejt 39
3.2. Az osztódó szövetek 44
3.3. A bőrszövet-rendszer 45
3.4. Az alapszövetek 47
3.5. A szállítószövet-rendszer 49
3.6. A gyökér 51
3.7. A szár 53
3.8. A levél 56
3.9. A virág 57
3.10. A mag 60
3.11. A termés 61
3.12. A feladatok megoldásai 62
3.13. Felhasznált és ajánlott irodalom 62
4. AZ EMBER CSONTVÁZRENDSZERÉNEK FEJLŐDÉSI RENDELLENESSÉGEI 63

4.1. A fejlődési rendellenesség fogalma 63
4.2. A csontvázrendszert érintő fejlődési rendellenességek kialakulásának okai 63
4.3. A csontvázrendszert érintő fejlődési rendellenességek előfordulási gyakorisága 66
4.4. A csontvázrendszert érintő fejlődési rendellenességek vizsgálati módszerei 66
4.5. A koponya fő részei és a koponyát érintő fejlődési rendellenességek 67
4.6. A vázcsontok és a vázcsontok fejlődési rendellenességei 73
4.7. Összefoglaló kérdések és feladatok 80
4.8. A feladatok megoldásai 84
4.9. Felhasznált és ajánlott irodalom 88
5. SZEMELVÉNYEK AZ IDEGRENDSZER ÖSSZEHASONLÍTÓ NEUROANATÓMIÁJÁBÓL 90
5.1. Bevezetés 90
5.2. Az idegszövet jellegzetességei 90
5.3. Összehasonlító neuroanatómiai összefoglaló 93
5.4. Mikroszkópos megfigyelések 107
5.5. Feladatok 113
5.6. A feladatok megoldásai 115
5.7. Felhasznált és ajánlott irodalom 115
6. GENETIKAI KÍSÉRLETEK AZ ECETMUSLICA FELHASZNÁLÁSÁVAL 116
6.1. Az ecetmuslica mint genetikai modellszervezet 116
6.2. Az ecetmuslica életciklusa 117
6.3. Az ecetmuslica tenyésztése 118
6.4. Az ecetmuslica külső morfológiai bélyegei 120
6.5. Genotípusok 126
6.6. A nemhez kötött öröklődés vizsgálata ecetmuslicán 127
6.7. A mozgás vizsgálata 130
6.8. A feladatok megoldásai 133
6.9. Felhasznált és ajánlott irodalom 134

1. BEVEZETÉS

1.1. Megfigyelési technikák a biológiában

Az élőlények és az őket felépítő struktúrák igen széles skálán mozognak a méreteiket illetően (1.1. ábra), egy részük (pl. ember) vagy akár a részeik (pl. ujjak) is megfigyelhetőek szabad szemmel. A szabad szemmel végzett vizsgálatokat makromorfológiai megfigyelésnek nevezzük, ezek során azonban nemcsak megfigyeléseket, de méréseket is végezhetünk, például egy hitelesített ásatásból származó emberi (*Homo sapiens*) combcsonton (*femur*) megfigyelhetjük az izomtapadási helyeket, vagy megmérhetjük hitelesített tolómérővel a combcsont fejének átmérőjét mm-ben (mindkettőt nemiség becslése céljából), továbbá megmérhetjük a combcsont hosszát (testmagasság becslése céljából). Ha kézi nagyítóval vagy 10-szeres nagyítású sztereomikroszkóppal végzünk megfigyeléseket, az már határeset a mikromorfológiai megfigyelések felé vezető úton. Ekkor is vizsgálhatunk finomabb részleteket, például egy combcsont felületének elváltozásait, de akár egész élőlényeket, például ecetmuslincát (*Drosophila melanogaster*) is. Ha nem csak a felületre vagyunk kíváncsiak, a kültakaró megbontásával (pl. boncolás), metszetkészítéssel vagy képalkotó módszerekkel juthatunk új információhoz. A már említett ásatásból származó combcsont esetében felfűrészeléssel vagy röntgenfelvétel készítésével pillanthatunk a belsejébe, az előbbi invazív módszer, vagyis visszafordíthatatlan károsodást okoz a vizsgált mintában, míg a röntgenfelvétel (rtg), a számítógépes rétegvizsgálat (Computed Tomography, CT) vagy mágneses rezonanciás képalkotás (Magnetic Resonance Imaging, MRI) nem. A mindennapi biológiai vizsgálatok során képalkotó berendezések használatára nincs lehetőség, ezért itt nem részletezzük őket.

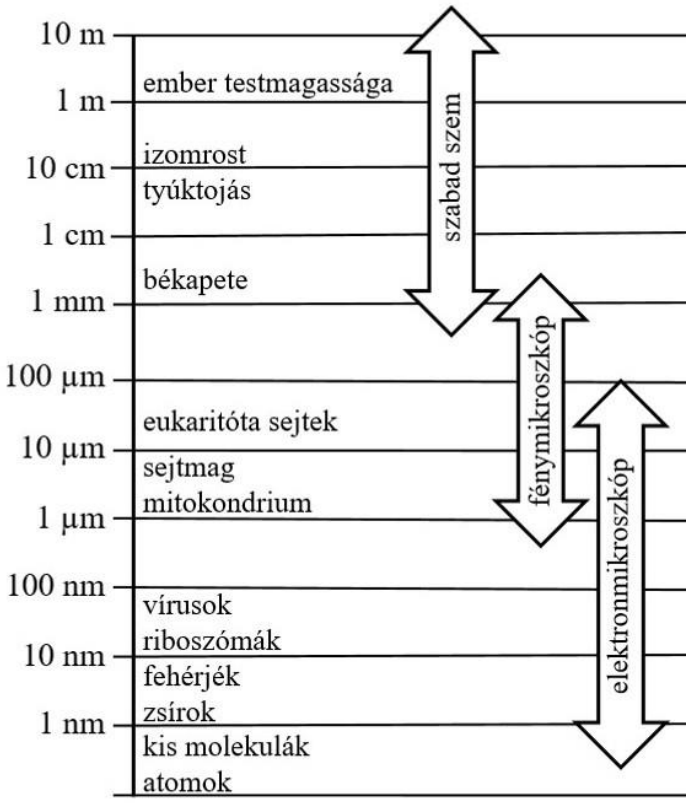
Számos olyan biológiai struktúra van, például az átlagos méretű eukarióta sejtek, melyek szabad szemmel nem láthatóak (1.1. ábra), ezért csak összetett lencserendszerek által nagyított képen, vagyis mikroszkópokban vizsgálhatók. De a mikroorganizmusok vizsgálatánál is fontos lehet a szabadszemes megfigyelés, mert bár magát a mikroorganizmust csak mikroszkóp segítségével tanulmányozhatjuk, oltókaccsal a Petri-csésze táptalajára szélesztett baktériumok és gombák növekvő telepeinek mérete és színe is sok információt szolgáltat az értő szem számára.

1.2. A biológiai vizsgálatok emblematikus eszköze: a mikroszkóp

1.2.1. A nagyítólencsék, a mikroszkóp és a mikroszkópi megfigyelések rövid története

Az optikai mikroszkópok (és a teleszkópok) története az optikai lencsék történetének része, a legújabb korokig tulajdonképpen a nagyítólencsék története, így előzményei az ókorig nyúlnak vissza. Kezdetben az olvasás segítése volt a fő cél, Seneca (i. e. 4?–i. sz. 65) vízzel töltött üveggömbjével, Nero (37–68) smaragdból csiszolt lencséjével és Roger Bacon (1214?–1294) üveg nagyítólencséjével egyaránt. 1286-ban elkészült az első szemüveg Itáliában, és a megfelelő minőségű üvegek előállításához vezető fejlődés első állomásának a muranói üveggyár 1291-es alapítása tekinthető. Az első egyszerű és összetett mikroszkóp megépítését Zacharias **Jansen** (1585–1632) nevéhez kötik, aki szemüvegek készítésével foglalkozott, de kétlencsés, bikonvex

és bikonkáv lencsékből álló összetett mikroszkópot is készített (1.2. ábra). Esetleges mikroszkópi vizsgálatairól nem maradtak fenn adatok.

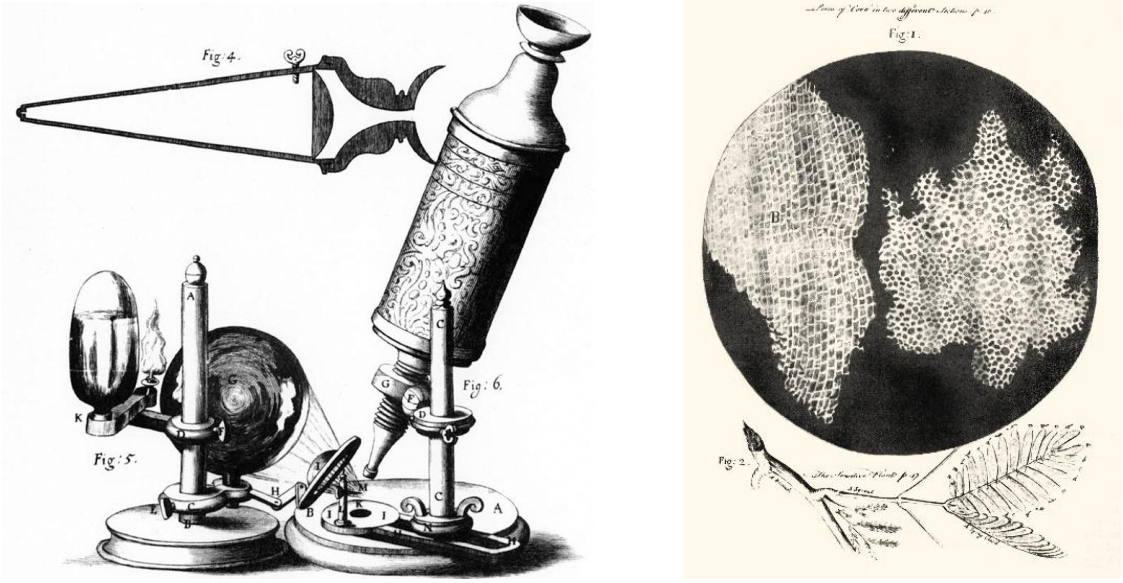


1.1. ábra: Mérettartományok és vizsgáló módszerek logaritmikus skálán,
1 mm = 1000 µm = 1000000 nm

1.2. ábra: Jansen mikroszkópja a XVII. század elejéről (Zeeuws Museum, Middelburg)

1625-ben Johannes Faber először használta a mikroszkóp kifejezést (gör. *mikron* = kicsiny, *skopein* = nézni), ugyanebben az évben a mikroszkópot már tudományos célra használta Francesco Stelluti (1577–1653) itáliai természetbúvár, és leírta a lépes méz szerkezetét.

1665-ben Robert **Hooke** (1635–1703) angol tudós kiadta 83 táblát tartalmazó *Micrographia* című munkáját (1.3. ábra), ebben leírta azokat a „sejteket", amiket a parafa vizsgálatakor látott mesterséges megvilágítású, állványos mikroszkópjával, továbbá részletesen leírta például a levelek szerkezetét, a méh fullánkját, a puhatestűek raduláját és a légy lábát. Hook összetett mikroszkópokkal dolgozott, a szemlencsét és a tárgylencsét magukba foglaló részeket egy henger alakú cső (tubus) két végére erősítette, az egész együttest fénymentesen zárta és egy olyan állványra szerelte, amelyen a mikroszkóp magasságát és ezzel a kép élességét állítani lehetett. „Mikroszkóplámpát" is használt, a gyertya fényét egy vízzel töltött üveggömb segítségével fókuszálta és irányította a vizsgálandó tárgyra (felülvilágítós rendszer).



1.3. ábra: Hook rajzai az általa használt mikroszkópról és a parafa sejtjeiről,
Hooke (1665): *Micrographia,* London (Smithsonian Institution, Washington, DC)

Antonie van **Leeuwenhoek** (ejtsd: Léüvenjúk) (1632–1723) holland lencsecsiszoló és természettudós (valamint a városháza kapusa) számos mikroszkópot épített, és 1670-ben elérte a 270-szeres nagyítást. A lencsét egy rézlemez furatába helyezte, a tárgytartót, amelyre a vizsgált objektumot fel lehetett tűzni vagy rögzíteni, két irányban lehetett mozgatni úgy, hogy az a lencséhez képest optimális helyzetbe kerüljön (1.4. ábra), majd a készüléket a Nap felé tartotta. 1674-ben leírta az általa *animalculus*-oknak nevezett ázalékállatkákat, 1683-ban a fonálférgeket, 1694-ben a mohaállatokat és a kerekesférgeket. (Megfigyeléseiről szóló levelei 1673 és 1724 között jelentek meg a Philosophical Transactions-ben, eredményeit Hook hitelesítette a Royal Society nevében.)

1.4. ábra: Leeuwenhoek egyik mikroszkópja a XVIII. század elejéről
(Musee des Confluences, Lyon)

1667-ben Huygens összeállította a róla elnevezett okulárt, 1685-ben Tortoni átvilágításos mikroszkópot épített, 1691-ben Bonanni fókuszálható kondenzorral látta el mikroszkópját, Musschenbroek 1702-es mikroszkópja fényszűkítővel és revolverkoronggal rendelkezett. 1757-ben a Dollond fivérek (Newton megállapításait cáfolva) áttörést értek el az objektívek terén, és akromatikus lencsepárt készítettek. 1761-ben George Adams gazdag díszítésekkel ellátott ezüst mikroszkópot készített III. György király részére. Az 1850-es évekre megjelentek a kis dobozzal ellátott és faalapra épített preparálómikroszkópok, amelyeket ki lehetett vinni a terepre, például a begyűjtött rovarok ivar- vagy szájszerveit vizsgálni. Természetesen a mikroszkópokkal párhuzamosan fejlődött a preparátumkészítés is, például Johann Christian Reil (1759–1813) alkoholt használt a metszendő anyagok rögzítésére és keményítésére, így sokkal jobb készítményeket tudott előállítani, mint hőkezelt (főzött) vagy természetes állapotú szervekből. 1872-ben Ernst **Abbe** (1840–1905) német kutató Zeiss mikroszkópgyárában kidolgozta a mikroszkóp felbontóképességének elméleti hátterét (Abbe-egyenlet). Az ő nevéhez fűződik a máig is alkalmazásban lévő, erős és homogén fényt (megvilágítást) biztosító kondenzor megalkotása, továbbá 1877-ben Stephensonnal együtt kidolgozta a homogén immerziós objektívek működési elvét. Ugyanebben az évben Otto Schott, Ernst Abbe, Carl Zeiss és Roderich Zeiss létrehozta azt az üveglaboratóriumot, amelyben később eredményes kutatások folytak a lencsék készítésével kapcsolatosan. 1888-ban Carl **Zeiss** (1816–1888) gyárában elkészült az első 108-szoros nagyítású és 1,6 numerikus apertúrájú objektív. 1893-ban August Köhler (1866–1948) kidolgozta a mikroszkópok optimális beállításának algoritmusát, melyet a napjainkban gyártott kutatómikroszkópokon egy automatika állít be. Köhler és Siedentopf közös munkájaként létrejött a fluoreszcens mikroszkóp. Köhler vezette be azt a gyártási eljárást a Zeiss Műveknél, melynek eredményeképpen az objektíveket revolver foglalatba helyezve egyszerű elfordítással lehet változtatni a nagyítást. 1953-ban a Zeiss cég megalkotja a modern operáló mikroszkópot, mely alkalmas különböző mikrosebészeti beavatkozások elvégzésére. Ugyanebben az évben Frits Zernike (1888–1966) Nobel-díjat kapott a fáziskontraszt eljárás kifejlesztéséért, amivel az igen kis kontraszttal rendelkező élő, festetlen sejtek vizsgálhatók.

1.2.2. Az elektronmikroszkóp rövid története

1897-ben fedezte fel az elektront Joseph John **Thompson** (1856–1940, fizikai Nobel-díj, 1906). Az elektronsugár inhomogén mágneses térben való fókuszálását Hans Busch (1884–1973) végezte el először 1927-ben elektromágneses lencsével. Az első elektronmikroszkópot Ernst **Ruska** (1906–1988) és Max **Knoll** (1897–1969) építette 1931-ben, Berlinben. Ruska 1933-ban épített elektronmikroszkópja már 12000-szeres nagyításra volt képes, és Ruska részt vett az első, 1939-ben a Siemens által kereskedelmi forgalomba került mikroszkóp megalkotásában. Az 1954-ben piacra dobott Elmiskope 1-et világszerte több mint 1200 intézetben használták. Az 1986-os fizikai Nobel-díjat Ernst Ruska (az elektromágneses lencsék és az elektronmikroszkóp kifejlesztésében végzett úttörő munkásságáért), Gerd Binnig és Heinrich Rohrer (a felület atomonkénti letapogatására alkalmas technológia kidolgozásáért) kapták. Az első pásztázó elektronmikroszkópot Manfred von Ardenne (1907–1997) állította össze 1938-ban, de csak 1964-ben került kereskedelmi forgalomba.

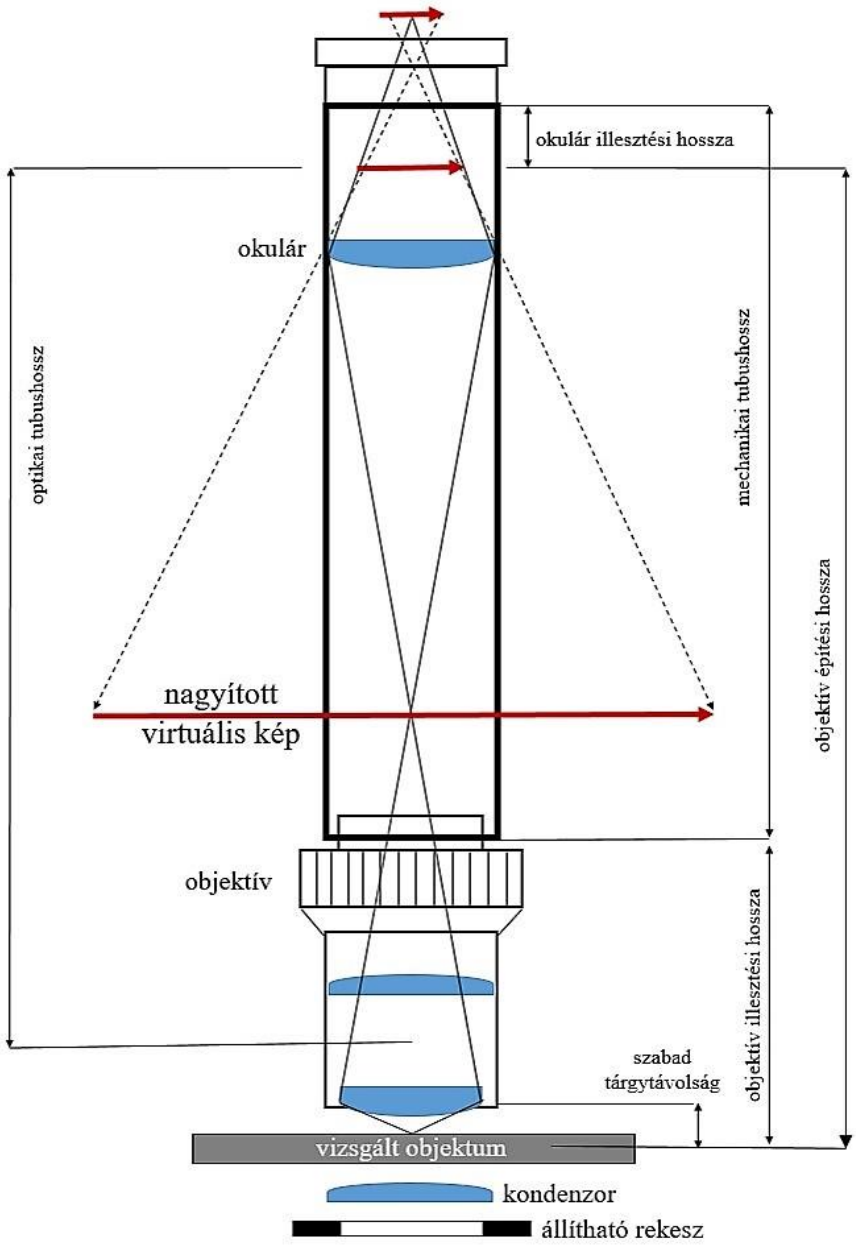
1.2.3. A fénymikroszkóp képalkotása

A fénymikroszkóp képalkotó rendszere (1.5. ábra) két optikai gyűjtőrendszerből áll, amelyeket a tubus fog össze. A tubus tárgy felőli részén van az objektív (tárgylencse), a szem felé eső részén az okulár (szemlencse). Az objektív a tárgyasztalra helyezett tárgy valódi, fordított, nagyított képét alkotja a tubus belsejében. Az okulár erről a képről virtuális, egyenes állású és nagyított képet ad.

A mikroszkóp jellemzéséhez a nagyítást és a feloldóképességet adják meg. A nagyítás mértéke a megfigyelt tárgy egyes részeinek lineáris növekedése, a felbontóképesség pedig, megközelítéstől függően, az a szög vagy távolság, amikor két különálló pontot még külön pontként érzékelünk.

Szabad szemmel akkor látunk két pontot különállónak, ha a két pontból kiinduló sugarak 1 ívpercnél (1') nagyobb szögben keresztezik egymást a szemünkhöz érve, ez az emberi szem felbontóképességének határa. Egy ívperc 1 m távolságból 0,3 mm-nek felel meg, míg retinánkon az 1 ívperhez tartozó távolság 5 μm, ez körülbelül egy csap átmérője is. Két pontot akkor tudunk megkülönböztetni, ha képeik különböző csapokra esnek.

A mikroszkóp milyenségének jellemzésére használható még a penetrálóképesség megadása is. A mikroszkóp penetrálóképessége, vagyis a kép mélységélessége nem más, mint a képen élesen látszó legközelebbi és legtávolabbi tárgyrészlet közti távolság az optikai tengely mentén mérve (azt fejezi ki, hogy az objektív a minta milyen mélységéig tud képet adni).



1.5. ábra: A fénymikroszkóp képalkotó rendszere

Mivel a csiszolt lencsék számos olyan tulajdonsággal és hibával bírnak, melyek negatívan befolyásolják a látott képet, lencserendszereket használnak, melyekben a pluszban beépített lencsék korrigálják az objektív optikai hibáit. Ennek ellenére, a fény hullámtermészete miatt, a lencse befogadó nyílásán fényelhajlás lép fel, aminek következtében egy pontszerű tárgy képe nem pontszerű lesz, helyette egy kis fénylő korongot kapunk. Mivel ezek a kis korongok átfedik egymást, megakadályozzák, hogy tetszés szerinti finomságú struktúrát észlelni tudjunk.

A diffrakció miatti feloldóképesség-határt az Abbe-egyenlet írja le:

$$d = 0{,}61\lambda/n\sin\alpha$$

ahol:

d = a felbontóképesség;

λ = a megvilágító sugárzás hullámhossza (a látható fény tartománya $380<\lambda_0<780$ nm, amelynek részleteit a látott színek szerint nevezünk el);

n = a frontlencse és a tárgy közötti közeg törésmutatója (a levegő törésmutatója 20 °C-on és 1013 mbar nyomáson: n = 1,0003);

α = a tárgyról a frontlencsébe (objektív lencse) még éppen bejutó fénysugár nyílásszöge (az optikai tengelytől mérve).

A 0,61 érték az Airy-korong átmérőjével, vagyis a kör alakú nyíláson történő fényelhajlás elsőrendű minimumhelyével van kapcsolatban.

Az „nsinα” értéket numerikus apertúrának nevezzük, és a gyártók fel szokták tűntetni a tubus oldalán. Minél nagyobb a numerikus apertúra, annál kisebb az a távolság, amely két, a szemünk által külön érzékelhető pont között van. Túlzott nagyítást eredményező lencsekombinációkkal a feloldóképesség nem javítható, ún. holt nagyítást eredményeznek. Az Abbe-egyenlet egyes tagjainak megváltoztatása a feloldóképesség növelését eredményezi, és ezen probléma gyakorlati megoldásai (pl. levegő lecserélése nagyobb törésmutatójú immerziós olajra, vagy a látható fény lecserélése elektronsugárzásra) új típusú mikroszkópok megépítéséhez vezettek.

Leképezési hibák tökéletes lencséknél is fellépnek a fény természetéből és a fénytörés törvényszerűségeiből adódóan. A kromatikus aberráció (színi hiba) a fény hullámtermészetéből következik, a spektrum különböző színei eltérően törnek meg az optikai közegek határán (ezért látjuk a szivárványt is). A kromatikus aberráció mérséklésére összetett lencserendszert használnak, amelyek különböző törésmutatójú anyagokból épülnek fel. Az akromatikus lencsék (akromátok) a kromatikus aberrációt 2 szín esetén korrigálják, az apokromatikus lencsék (apokromátok) pedig 3-5 színre. A képmező-elhajlás oka, hogy a tárgy egy adott síkban elhelyezkedő pontjairól a lencse által alkotott kép nem síkban, hanem a lencse görbületéhez hasonló gömbfelületen keletkezik, ezért a kép nem minden részén éles. Korrekciójára összetett lencsét, illetve a tárgy felőli oldalon sík, ún. plan lencsét alkalmaznak. Az asztigmatizmus oka, hogy az optikai tengelytől távol eső pontból kiinduló fénysugarak közül a lencsén való áthaladást követően a vízszintes síkban haladó sugarak nem ugyanabban a pontban egyesülnek, mint a függőleges síkban haladók, ezért a pont képe nem pont lesz. Az asztagmatizmus a beesési szög növekedésével növekszik, az apertura csökkentésével viszont mérsékelhető. A mikroszkóp objektíveket úgy állítják elő, hogy a fedőlemez okozta eltérést korrigálják. Egyes objektíveknél a lemez vastagsága is beállítható bizonyos korlátok között, másokon feltüntetik, hogy milyen vastag fedőlemezhez van korrigálva.

1.2.4. A mikroszkópok főbb típusai

1.2.4.1. Fénymikroszkóp

Az optikai rendszer főbb egységei az objektívek (tárgylencse-rendszerek), az okulárok (szemlencse-rendszerek), a kondenzor és a fényforrás. Az optikai rendszer működését a mechanikai szerkezetek biztosítják. A mikroszkópállvány (stativ) feladata az optikai részek biztos, rezgésmentes rögzítése, talapzatát általában kisúlyozzák, hogy súlypontja alacsonyan maradjon. A tubus köti össze az objektívet az okulárral, vagyis a tárgylencsét a szemlencsével. A monokuláris mikroszkóp egy szemlencsét tartalmaz, a binokuláris kettőt, ez utóbbinál a tárgylencse felől érkező képet nyalábosztó segítségével kettéosztják a két okulár irányába. Az ilyen mikroszkópokon az okulárok távolsága mechanikusan hozzáigazítható a két szem távolságához, és általában a dioptria is korrigálható az egyik okulár távolságának változtatásával. A trinokuláris mikroszkóp tubusa rendelkezik egy harmadik taggal, amelyhez kamera csatlakoztatható. Az objektívek revolverfoglalatba vannak csavarozva, így a különböző nagyítású objektívek között egyszerűen, a revolverfej elforgatásával válthatunk. Ha az optikai rendszert úgy alkották meg, hogy ha az egyik objektív esetén élesre állítottuk a távolságot, akkor a revolverfoglalat elforgatása után a másik objektívvel is éles képet eredményez, akkor a mikroszkópot parfokálisnak nevezzük, mert különböző nagyítás mellett megőrzi a fókuszt. A tárgyasztal tartja a preparátumot hordó tárgylemezt, és két csavarral egy síkban egymásra merőleges két irányban elmozdítható. Az élességállítás a tárgyasztal mikrométer pontosságú fel-le mozgatásával történik, a durva- és finombeállító csavarok segítségével. A fényforrásban a fényt egy egyenletesen sugárzó izzószál bocsátja ki. A fénymikroszkópok általában transzmissziós mikroszkópok, vagyis a fényforrás alulról világítja át a tárgyat (biológiai mintát). A megvilágítási rendszer tartalmaz egy kollektor (gyűjtőlencse) és egy kondenzor lencsét is, e kettő távolsága változtatható, hogy a tárgyat a megfelelően fókuszált fény érje el. A tárgyasztal alatt, függőleges irányba mozgathatóan helyezkedik el a kondenzor. A kondenzorrekesz (írisz diafragma) a megvilágítási nyílásszög beállítására szolgál, ezáltal a tárgykontrasztot szabályozza. A teljesen nyitott kondenzorrekesz fényes, de kontraszt nélküli, míg a zárt sötét, kontrasztos képet ad. A kondenzorlencse feladata, hogy a fényforrásból érkező sugarakat a vizsgálandó tárgyra sűrítse. A kondenzor fel-le mozgatható, ezzel érhető el, hogy a kondenzor olyan távolságban legyen a tárgysíktól, amelyben az írisz diafragma képe a tárgysíkban jelenik meg. Az objektívet magába foglaló tubuson általában feltüntetik a lineáris nagyítást, a numerikus apertúrát, a tubushosszt és az alkalmazható fedőlemez vastagságát (1.6. ábra) az alábbi számpárokban:

(lineáris) nagyítás/numerikus apertúra

tubushossz/fedőlemez korrekció.

A tubushossz helyén szerepelő „∞” tetszőleges hosszúságú tubushosszt jelent, vagyis az objektívlencsét elhagyó fénysugarak párhuzamosak, és a tubusban elhelyezkedő ún. tubuslencse képezi le azokat az objektív fókuszsíkjára, ezért az objektív és a tubuslencse távolsága bármekkora lehet.

Az objektívlencsék tubusain még az alábbi feliratok fordulhatnak elő:

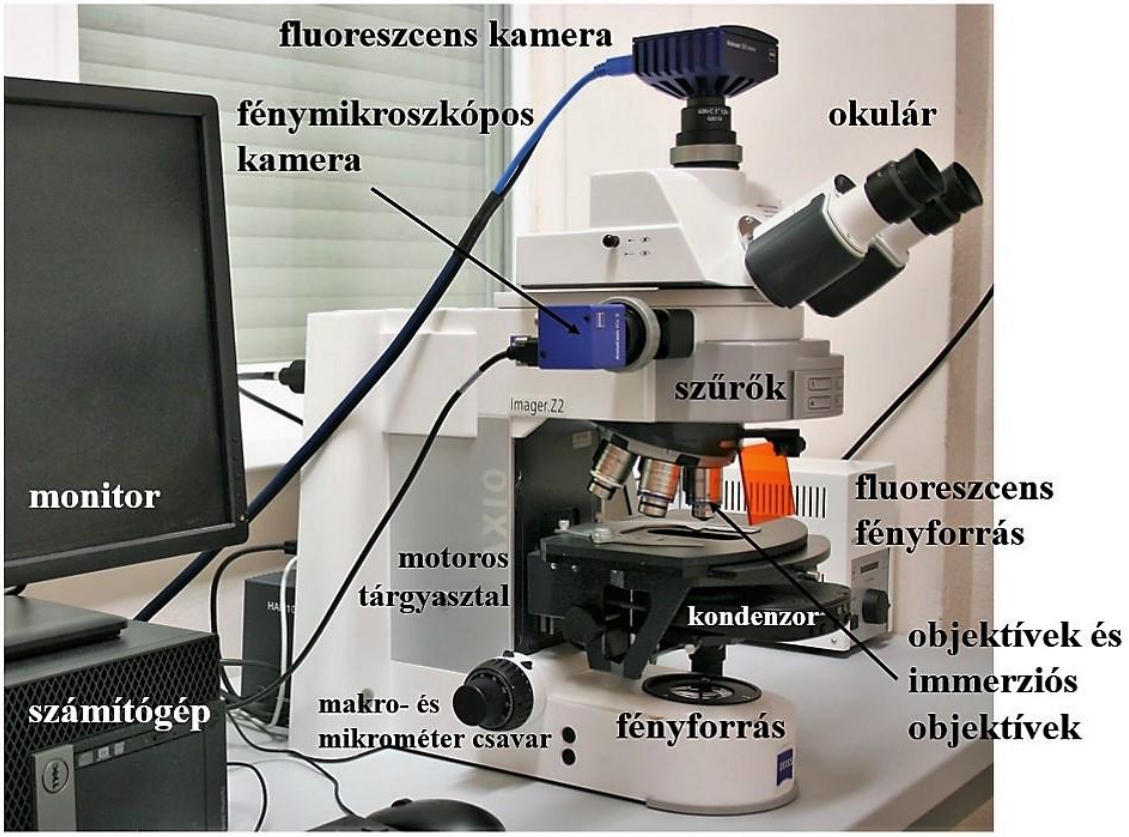
- plan: a lencse tárgy felőli oldala sík, képmező elhajlásra korrigált;
- achromat, apochromat, apo: a lencserendszer kromatikus hibára korrigált;
- oil: immerziós olajjal használható lencse;
- spring: az objektívet rugóval látták el, hogy ha fókuszálás közben a fedőlemez rátolódna a lencsére, akkor ne törje el.

1.6. ábra: Az objektívlencséhez tartozó feliratok, jelen esetben a lencse nagyítása: 10x, a numerikus apertúra: 0,25, a tubushossz: 160 mm és a fedőlemez korrekció: 0,17 mm

Különböző típusú fénymikroszkópokat mutat be az 1.7, 1.8, 1.9. és 1.10. ábra.

1.2.4.2. Binokuláris mikroszkóp

Két okulárral rendelkezik (1.8. és 1.9. ábra), egy féligáteresztő tükörrel „megfelezi" a fényt, és mindkét szembe bevezeti ugyanazt a képet. Tisztábban látjuk a képet, de nincs térlátás.



1.7. ábra: Kutatómikroszkóp: összetett mikroszkóp, mely több alaptípust foglal magába: fénymikroszkóp, fluoreszcens mikroszkóp, és optikai szeletelésre is képes

1.8. ábra: Binokuláris mikroszkóp

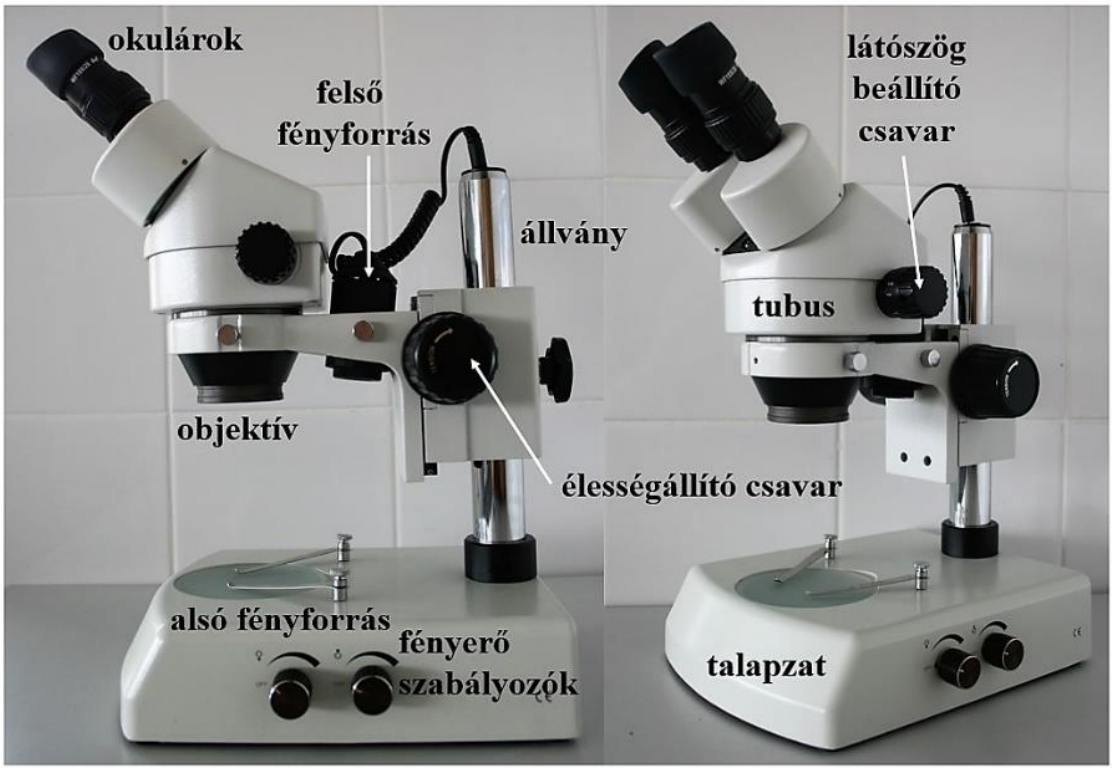
1.9. ábra: Binokuláris mikroszkóp digitális kamerával

1.2.4.3. Sztereómikroszkóp (preparálómikroszkóp)

Nagy átmérőjű objektívvel és két okulárral rendelkezik (1.10. ábra), a két szemnél lévő két okulár két független irányból jövő képet vetít a bal és jobb szembe. Ezáltal valódi térlátás alakul ki.

Preparálómikroszkópnak is nevezik, mivel az (ún. Porro-prizmák segítségével létrehozott) egyenes állású kép és a térbeli (sztereoszkópikus) látás biztosítása, valamint az objektívek nagy szabad tárgytávolsága lehetővé teszi a különböző preparáló eszközök (csipeszek, bonctűk, szikék) akadálymentes mozgatását, és ez által kisebb állatok vagy növényi és állati szervek vizsgálatát, boncolását és preparálását.

A nagyobb szabad tárgytávolság biztosítása céljából a sztereómikroszkópok gyengébb objektívekkel vannak felszerelve, a kellő össznagyítást erősebb okulárok használatával érik el. A gyenge nagyítás a mikormétercsavart fölöslegessé teszi, az élesre állítás makrométercsavarral végezhető. A sztereómikroszkópoknak egyetlen (közös) objektív frontlencséjük van, ami egy nagy átmérőjű síkdomború lencse. A mikroszkóp használható mind áteső fényű (alsó), mind ráeső fényű (felső) megvilágítással.



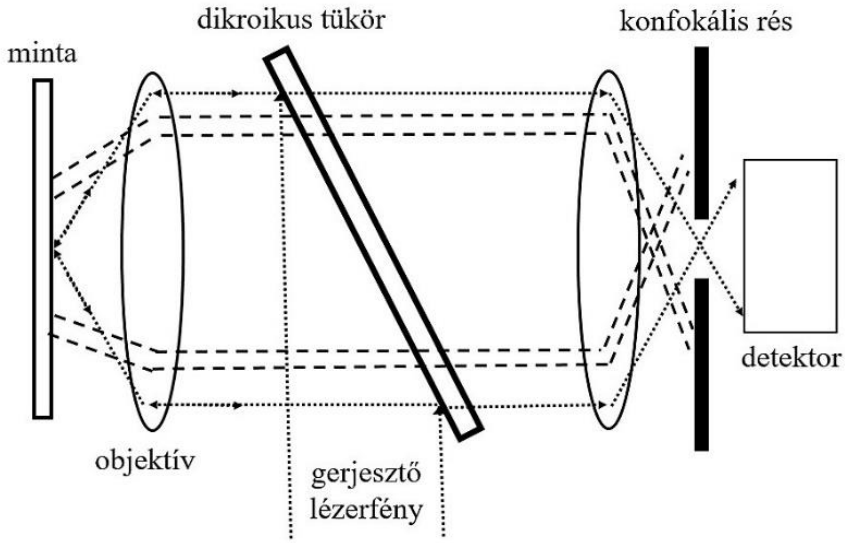
1.10. ábra: Sztereómikroszkóp

1.2.4.4. Fluoreszcens mikroszkóp

A fluoreszcens anyagok a megvilágító fény hatására gerjesztett állapotba kerülnek, és ez a gerjesztés a megvilágító fénynél nagyobb hullámhosszú fény kibocsájtásával szűnik meg. Ez a kibocsájtott fluoreszcens fény a gerjesztő fénytől szűrők segítségével elkülöníthető, így a fluoreszcens anyagok a mikroszkópban sötét háttér előtt világítanak. Egyik leghatékonyabb típusuk a konfokális lézer scanning mikroszkóp (Confocal Laser Scanning Microscope, CLSM). Ennél a megvilágító fényforrás lézer, mely pontról-pontra végigpásztázza a mintát, és detektálja a kiváltott fluoreszcens fény erősségét, a pontokból számítógép segítségével képet alkot. Mivel a sajátos konfokális optikai elrendezés miatt a detektált pont tulajdonképpen egy kis térfogategység (voxel), optikai szeletelésre és ezáltal térbeli képalkotásra is alkalmas.

1.2.4.5. Konfokális mikroszkóp

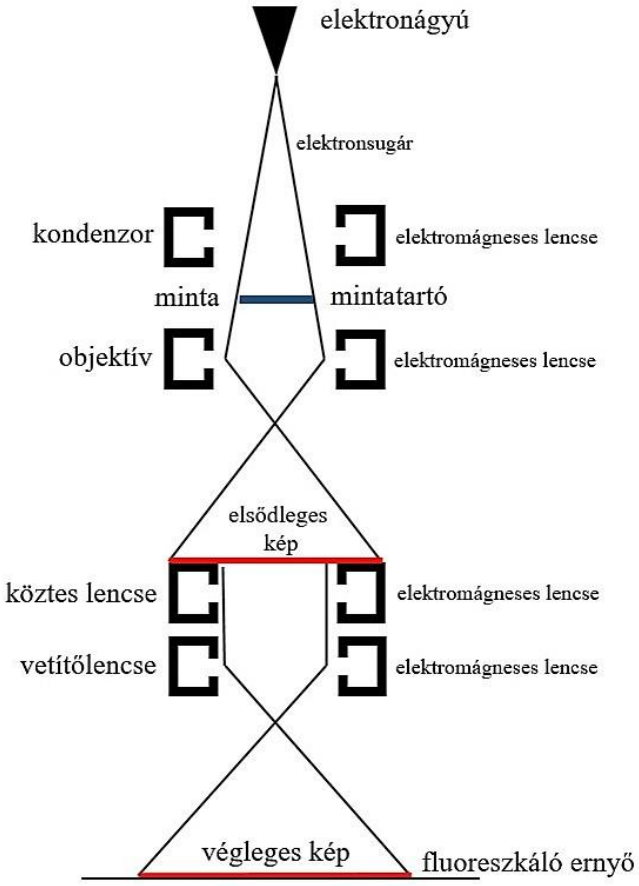
Egy optikai rés segítségével a vizsgált objektumban pontszerű megvilágítást alkalmaznak. A fluoreszcens festék által emittált sugarakat egy, a megvilágító résnek megfelelő, azzal konfokális nyíláson keresztül továbbítják a mikroszkóp detektorába. A nem fókuszpontból érkező sugarakat a fényrekesz kizárja (1.11. ábra). A detektorba jutott képet videokamera rögzíti, a kép további „tisztítása” digitális úton történik. A megvilágított pont változtatásával a vizsgált minta végigpásztázható, sőt, annak különböző mélységű rétegeinek leképezéséből a komputer háromdimenziós képet tud szerkeszteni (optikai metszetkészítés).



1.11. ábra: A konfokális mikroszkóp képalkotásának elve

1.2.4.6. Elektronmikroszkóp

A fénymikroszkópok feloldóképességénél a fény hullámhossza a fő korlátozó tényező, felgyorsított elektronokkal nagyságrendekkel rövidebb hullámhossz és ezáltal sokkal jobb feloldóképesség és nagyítás érhető el. A transzmissziós elektronmikroszkóp (Transmission Electron Microscope, TEM) a minta átvilágításával működik, elektromágneses lencsékkel fókuszált gyorsított elektronokat használ (1.12. ábra). A TEM-ben csak nagyon vékony (kb. 50-100 nm) mintákat vizsgálhatunk, mivel az elektronok áthatolóképessége igen gyenge. A fluoreszkáló ernyőn létrehozott kép egyfajta árnykép, ahol a mintában az elektronokat eltérítő nagy rendszámú elemek vannak, onnan kevés elektron jut el a detektorig, és sötét lesz a kép, ahol pedig könnyű elemek vannak, melyek nem tudják olyan mértékben eltéríteni az elektronokat az eredeti irányuktól, ott világos lesz a kép. A kontraszt létrehozásához nehézfémekkel kell a mintákat kezelni. A scanning vagy pásztázó elektronmikroszkóp (Scanning Electron Microscope, SEM) ugyanúgy rendelkezik elektronforrással és megvilágító lencserendszerrel, mint a TEM, de a mintába becsapódó elektronok nem a hagyományos képalkotási elvek szerint hozzák létre a képet. Az elektronsugár pontról-pontra végigpásztázza a mintát, és az onnan visszaszóródott, vagy a mintában ionizáció révén keletkezett elektronokat detektálja. Ebből a pontonként kiváltott jelből a számítógép hozza létre a képet. Mivel a kép csak a felszíni rétegből származó elektronokból jön létre, a SEM kép térhatású, viszonylag nagy mélységélességű felszíni leképezés.



1.12. ábra: Az elektronmikroszkóp képalkotásának elve

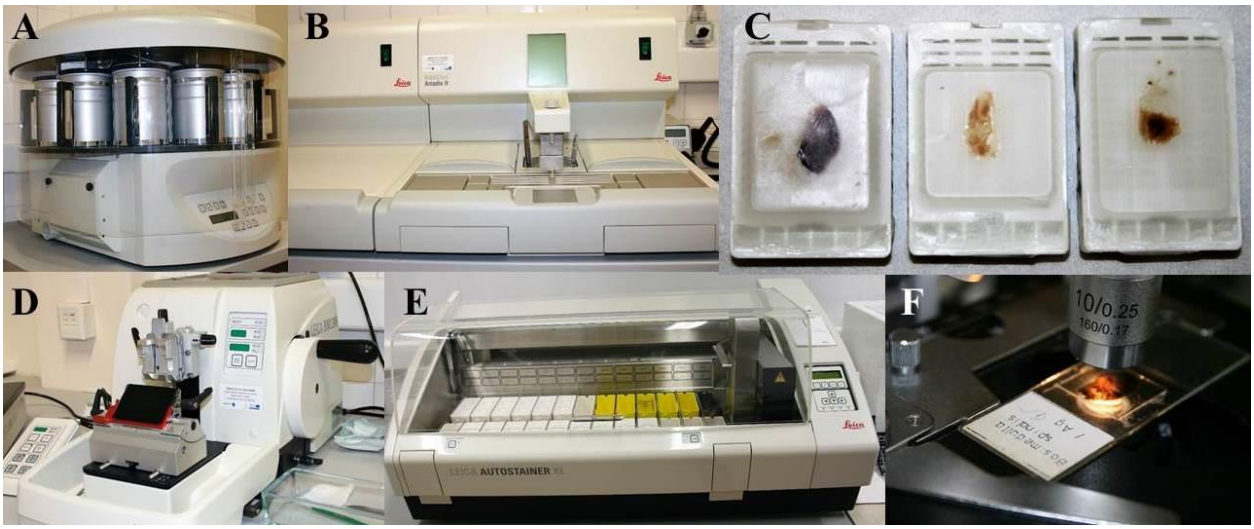
1.3. A metszet

A mikroszkópos vizsgálatok kritikus lépése, különösen állati minták esetén, a megfelelő minőségű metszet elkészítése (1.13. ábra). A hagyományos, 5-12 μm vastag, nem specifikus festéssel készült metszetek előállításának főbb lépései:

1. fixálás (pl. formalin),
2. víztelenítés (felszálló alkoholsor + xilol),
3. beágyazás (paraffin),
4. metszés (mikrotóm),
5. deparaffinálás (xilol + leszálló alkoholsor),
6. festés (pl. hematoxilin-eozin),
7. lefedés.

A fixálás során megakadályozzuk a szövetek bomlásából származó műtermékek képződését, a paraffinba való ágyazás pedig keménységet, metszhetőséget ad a puha szervdarabkáknak. Mivel a paraffin víztaszító tulajdonságú, előtte felszálló alkoholsorral és xilollal el kell távolítani a vizet a mintából, hogy paraffinblokkba tudjuk ágyazni, és elég kemény legyen ahhoz, hogy mikrotómmal vékony szeleteket vághassunk belőle. Összefoglalóan

mikrotómoknak nevezzük azokat a gépeket, amelyeken előre beállítható, hogy az éles penge hány µm-es szeleteket vágjon le a blokkból. Mivel a hagyományos szövettani festékek vízbázisúak, el kell távolítani a paraffint xilol és leszálló alkoholsor segítségével a festés előtt. A festésre a kontraszt fokozása végett van szükség, mert az állati szövetek a fénymikroszkópban homogének (1.14.A ábra), festés nélkül a különböző struktúrák nem különülnek el annyira egymástól, hogy vizsgálatra alkalmasak legyenek. Végül lefedjük a metszetet, ami nem csak a tartósság, de a képalkotás szempontjából is fontos.

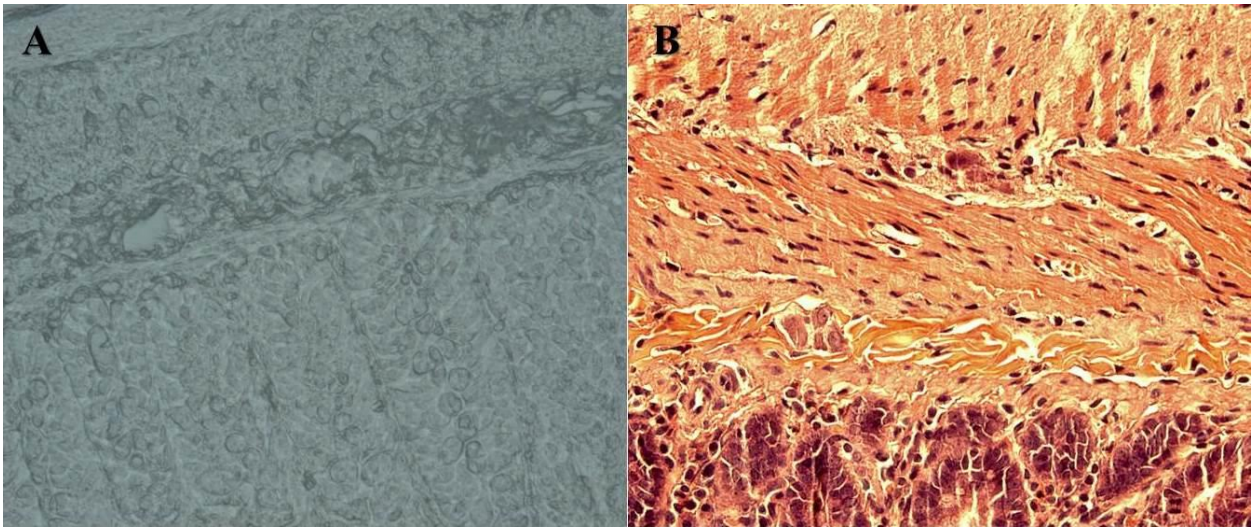


1.13. ábra: Szövettani metszet elkészítéséhez szükséges eszközök egy szövettani laboratóriumban, A: víztelenítő automata (víztelenítés + minta paraffinba ágyazása), B: paraffinblokk öntésére szolgáló gép, C: blokk, D: rotációs (kerekes) mikrotóm, E: festőautomata (deparaffinálás + festés), F: véglegesen lefedett metszet mikroszkópban

A főbb festési eljárások és festékek:

1. nem specifikus festékek
   - bázikus (pl. hematoxilin, metilinkék)
   - savas (pl. eozin, pikninsav)
   - neutrális (pl. szudánvörös, szudánfekete)
2. specifikus festési eljárások
   - enzimhisztokémia (pl. torma peroxidáz és diaminobenzidin)
   - immunhisztokémia (pl. fluorokrómmal jelölt anitestek)

A nem specifikus festések során leggyakrabban kombinált festést alkalmaznak, mint például a hematoxilin-eozin (HE) (1.14.B ábra). A hematoxilin a negatív töltésű molekulákhoz (nukleinsavakhoz, fehérjék karboxil-csoportjához) kötődik, így liláskék színűre festi a sejtmagot, riboszómákat, endoplazmatikus retikulumot, az eozin pedig jól kötődik a fehérjék pozitív töltésű végéhez, rózsaszín vagy vöröses színűre festi a citoplazmát, a mitokondriumokat és a kollagén rostokat.



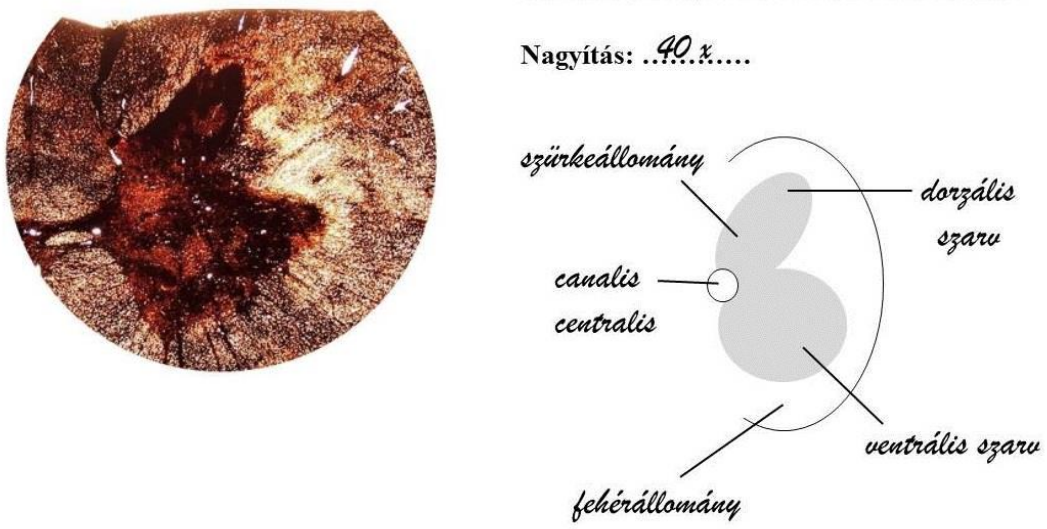
1.14. ábra: Patkány (*Rattus rattus*) vékonybél, 400x, A: festetlen metszet, B: hematoxilin-eozin festés

Nem minden biológiai minta mikroszkópi megfigyelésre való előkészítése jár metszéssel vagy festéssel, például a zöld hidra (*Clorohidra viridissima*) kisméretű és könnyen átvilágítható, tehát nem metszet, hanem preparátum készül, továbbá festés sem szükséges, mert a vele szimbiózisban élő algáktól zöld színű. A baktériumok előkészítése során általában mikroorganizmusokat tartalmazó vizet cseppentenek a tárgylemezre, vagy oltókaccsal baktériumtenyészetet kennek a tárgylemezre, majd a tárgylemez alsó oldalát néhányszor áthúzzák Bunsen-égő lángja felett, ezzel rögzítve a mintát. Ezután festékoldatot (pl. metilinkék) cseppentenek a mintára, majd szűrőpapírral leitatják lefedés előtt. A többsejtű élőlények esetében is van két szövet, amelyik kivétel a metszés alól: a vérből kenetet készítenek, mert folyékony, a csontból pedig csiszolatot, mert túl kemény a metszéshez (kivéve, ha dekalcinálják, de a szerves anyagok eltávolítása befolyásolja a csont eredeti szerkezetét). A növényi minták vizsgálatánál gyakran alkalmazzák a kézzel, zsilettpengével készített metszeteket, ilyen esetekben is használható beágyazó anyag a vágás megkönnyítése érdekében, például bodzabél (a bodzafa ágának elhalt parenchimasejtekből álló, száraz és fehér bélszövete). A növényi metszetek is festhetők, például kongövörös és krizoidin keverékével (a háncs pirosra, a faedények fala barnássárgára színeződik).

1.4. A fénymikroszkóp használata

A mikroszkóp használata során először is bekapcsoljuk a mikroszkóp talpában levő **izzólámpát**. Benézünk mindkét szemünkkel egyszerre a két **okulárba**, és úgy mozgatjuk a két okulárt, hogy egyetlen kerek látóteret lássunk. Ellenőrizzük, hogy a látótér egyenletesen és elég erősen van-e megvilágítva. A vizsgálat megkezdése előtt a **legkisebb nagyítású objektívet** választjuk a revolverfoglalatból, és leengedjük a **tárgyasztalt**, majd ráhelyezzük és rögzítjük a tárgylemezt a fedőlemezzel felfelé. A csavarok segítségével a vizsgálandó mintát beállítjuk az optikai tengelybe a tárgyasztal nyílása fölé (a metszetet átvilágítsa a fény). Ha a tárgy nagyon kicsi, a kondenzort a felső határig emeljük, és szabad szemmel oldalról nézve beállítjuk a tárgyat az erős

fénynyaláb irányába, majd lesüllyesztjük a kondenzort. Ezután oldalról nézve a tárgyasztalt a **makrométercsavar** segítségével az objektív frontlencséjének közelébe emeljük. Ezután az okulárokba nézünk, és a **mikrométercsavarral** a lehető legélesebbre állítjuk a képet. Az egyik kezünket a mikrométercsavaron tartjuk, hogy az újabb és újabb területrészeket mindig élesen lássuk és a mélységélességet is átállíthassuk, a másik kezünkkel a tárgylemezt mozgató csavarokat kezeljük. Amikor a kis nagyítású objektívvel már átnéztük az egész metszetet, a legjellegzetesebb részt a látótér középpontjába állítjuk, és áttérünk nagyobb nagyításra úgy, hogy a revolver elforgatásával a következő objektívet hozzuk a tárgy fölé. Az objektív akkor van az optikai tengelyben (és tud képet továbbítani), amikor egy kis kattanást hallunk az átfordítás során. Normális esetben a mikroszkóp objektívei összehangoltak, vagyis a tubus felemelése nélkül, csupán a revolver elforgatásával egyből bejön a kép a nagyobb nagyítású objektívre való áttéréskor, és nem érintkezik a fedőlemezzel. Tehát nagyobb nagyításra való áttéréskor nincs szükség makrométercsavarra, hanem a létrejött képet az új objektív esetében is újra élesre állítjuk a mikrométercsavar segítségével. (A fenti eljárás alól kivételt képez az immerziós objektív alkalmazása.) A látottakat színes ceruzákkal lerajzoljuk a jegyzőkönyvbe (több látótéren átnyúló megfigyelésből montázsrajzok is készíthetők) és magyarázatokkal látjuk el (1.15. ábra). A vizsgálat befejezésekor leengedjük a tárgyasztalt, kivesszük a metszetet és kikapcsoljuk a fényforrást.



1.15. ábra: Példa mikroszkópos látótérre és jegyzőkönyvre

1.5. Kiegészítés

A mikroszkóp csak egy eszköz, egy korrekt megfigyelés nem feltétlenül vezet helyes következtetések levonásához. Vegyük például a sejteket, melyek felfedezésétől az igazi biológiai jelentőségükig hosszú utat kellett bejárni. Az elsőkként mikroszkópot használók többsége nem volt felkészülve arra, amit felfedezett, nem volt szemlélete arra nézve, hogy mit is keres az eszközzel, ezért nem jöttek rá sokáig, hogy az élőlényeket sejtek alkotják. **Hook** használta először a sejt (latinul *cella, cellula*, görögül *kytos, cyta*) elnevezést, bár igazából nem is sejteket, csak azok helyét látta mikroszkópjában, miközben parafából készült metszetet vizsgált. Megbecsülte a sejtek számát egységnyi parafában, feltételezte, hogy az általa vizsgált üres cellák valamiféle létfenntartó nedvekkel lehettek tele, de nem jutott el a feltételezésig, hogy az élőlények sejtekből állhatnak. **Leeuwenhook** 1677-ben írta le a spermiumot (amit Jan Swammerdam már 1658-ban felfedezett), majd később csatlakozott a tudománytörténet egyik legnagyobb vitájához (preformáció kontra epigenezis), mert úgy gondolta, hogy „kizárólag a hímivarú magvak képezik a magzatot" (animalkulista szemlélet), vagyis a spermiumban egy nagyon picike, de teljesen kifejlett ember van. Még rajzokon is szemléltette (1.16. ábra) e ma már megmosolyognivaló elméletet. Annál is érdekesebb ez a tévút, mert Leeuwenhook megfigyelte, hogy állatokban közösülés után a női ivarutakban is találhatók spermiumok, és ezzel egyrészt igazolta tanítványának, Jan Hamnak az elméletét, másrészt felhívta a figyelmet annak az elképzelésnek a téves voltára, ami szerint egy állat fejlődése csak a petétől függ (*ex ovo omnia*, Harvey, 1651). Egészen 1838-ig kellett várni, hogy **Schleiden** és **Schwann** megfogalmazzák azt, hogy minden élőlény szervezete sejtes szerkezettel rendelkezik. Nem sokkal utánuk **Virchow** ismerte fel azt, hogy a sejtek kizárólag élő sejtekből jöhetnek létre.

1.16. ábra: Leeuwenhoek (1719): *Epistolae ad societatem regiam anglicam*, Langera (Fisher Library, Sydney). Leeuwenhoek rajza a spermiumról és a benne lévő kicsiny emberkéről.

1.6. Anatómiai helyzet- és iránymegjelölések

Állatok és emberek testrészeinek leírásakor az ún. anatómiai alaphelyzetet használjuk, néhány iránymegjelölés pedig általánosan használható a biológiában. Az alaphelyzet ember esetében álló testhelyzetet jelent előrefelé néző lábakkal, nyújtott, a tenyereket előre fordított helyzetben tartott (*supinalt*) felső végtagokkal, egyenesen előrenéző arccal. A főbb anatómiai helyzet- és iránymegjelölések:

- felső – *superior*, a fej felé eső irány – *cranialis*;
- alsó – *inferior*, a törzs alsó része vagy a farok felé eső irány – *caudalis*;

- elülső – *anterior*, has irányú – *ventralis*;
- hátulsó – *posterior*, háti irányú – *dorsalis*;
- jobb oldali irány – *dexter*;
- bal oldali irány – *sinister*;
- oldalsó, oldal felé eső irány – *lateralis*;
- középvonal felé eső irány – *medialis*;
- végtagokon a törzs felé eső irány – *proximalis*;
- végtagokon a törzstől távolabb eső irány – *distalis*.

1.7. Felhasznált és ajánlott irodalom

Ábrahám G, Wenzelné Gerőfy K, Antal Á, Kovács G (2015) Műszaki optika. Budapesti Műszaki Egyetem, Budapest

Kiss J (2000) A biológiai ismeretek a XVII. században. In: Ropolyi L, Szegedi P (szerk.) A tudományos gondolkodás története. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest

László L (2012) Szövettani és sejtbiológiai vizsgálómódszerek. Elektronikus könyv. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest

Leeuwenhoek (1719) Epistolae ad societatem regiam anglicam, Langera (digitalizálta, jegyzetekkel ellátta: The University of Sydney, https://library.sydney.edu.au, 2019. 02. 05.)

Mara Gy (2010) Általános biológia laboratóriumi gyakorlatok. Elektronikus jegyzet. Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Csíkszereda

Röhlich P (2014) Szövettan. Semmelweis Kiadó, Budapest

Sánta I (2012) Optika és látórendszerek. Elektronikus könyv. EDUTUS Főiskola, Budapest

Szabó A, Vass G, Zádor Z, Boros M (2004) A mikrosebészet alapjai. Jegyzet orvostanhallgatóknak. Medicina Könyvkiadó, Szeged

Szentágothai J, Réthelyi M (2006) Funkcionális anatómia I. Medicina Könyvkiadó Zrt., Budapest

Toller G, Kovács Á (2004) Keresztmetszeti anatómia. Medicina Könyvkiadó Zrt., Budapest

2. MIKROORGANIZMUSOK LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA

2.1. Táptalajok készítése, baktériumok és gombák izolálása környezetből

A mikroorganizmusok vagy mikrobák szabad szemmel nem látható, mikroszkopikus méretű élőlények. Az élővilágot 3 nagy csoportra oszthatjuk, a baktériumokra, az ősbaktériumokra (*Archea*) és az eukariótákra. Ezen csoportok közül a baktériumok, az ősbaktériumok, valamint az eukarióták közül a gombák és a protiszták sorolhatók a mikrobák közé. A mikrobiológia foglalkozik továbbá a vírusokkal is, melyek fertőző genetikai információk. A mikroorganizmusok Földünk minden olyan területén megtalálhatóak, ahol számukra szabadon felvehető víz van. Jelen vannak a talajokban, a vizekben, a levegőben lebegő porszemcsék felületén, de még a mélytengeri hőforrásoknál is megtaláljuk őket. Az oxigén jelenléte azonban nem minden mikroorganizmus számára szükséges, sőt, egyesek számára a pusztulást jelenti. Így megkülönböztethetünk aerob élőlényeket, melyek életműködéseihez oxigén szükséges, valamint anaerobokat, melyek oxigénmentes körülmények között élnek.

A mikroorganizmusok környezetből való elkülönítésére, tiszta tenyészetek fenntartására, különböző vizsgálatok elvégzéséhez tápközegeket alkalmazunk. Ezek a tápközegek tartalmazzák a mikroorganizmusok számára szükséges szén- és nitrogénforrást, ásványi anyagokat és a vizet. Lehetnek folyékonyak, ekkor tápoldatoknak, tápleveseknek nevezzük, és lehetnek szilárdak, ekkor táptalajoknak hívjuk őket. Táptalajok készítésekor a tápoldatokat szilárdító anyaggal egészítjük ki, mely a leggyakrabban agar-agar, de használhatunk zselatint vagy szilikagélt is.

2.1.2. Gyakorlat célja

Baktériumok és gombák tenyésztése levegőből, talajból, használati tárgyak/bútorok felületéről, bőrfelületről, ezáltal annak bemutatása, hogy környezetünkben számos mikroorganizmus megtalálható, noha szabad szemmel nem látjuk őket.

2.1.3. Anyagok, eszközök, mikroorganizmusok

húskivonat, pepton, glükóz, élesztőkivonat, agar, klóramfenikol-oxitetraciklin oldat (4-4 mg/ml, dimetil-szulfoxidban), nisztatin oldat (4 mg/ml, dimetil-szulfoxidban), talajminta, 8 db Petri-csésze, steril fültisztító pálcika, pipetta, steril pipettahegyek, infúziós üveg/hőálló csavaros kupakos üveg

2.1.4. A gyakorlat menete

Készítsünk 100-100 ml táptalajt a következő recept alapján: 0,4% húskivonat, 0,4% pepton, 1% glükóz, 0,1% élesztőkivonat, 2% agar. Mérjük össze a szilárd táptalaj összetevőket az üvegekbe, öntsük fel desztillált vízzel 100-100 ml-ig. Infúziós üveg esetén az üveg száját alufóliával fedjük be. A táptalajokat sterilizáljuk, ehhez használjunk elektromos autoklávot vagy kuktafazekat. A kuktafazék esetén a szelep egyenletes mozgásától számított 25 percig

kuktázzunk. A sterilizálási idő letelte után várjuk meg, míg a túlnyomás megszűnik, csak ezután nyitható ki az edény. A steril táptalajokat 60-70 °C-ra hűtjük, majd a baktérium szelektív táptalajba 1 ml nisztatin oldatot, a gomba szelektív táptalajba 1 ml klóramfenikol-oxitetraciklin oldatot mérünk. A táptalajokat összekeverjük, és steril Petri-csészébe körülbelül 25-25 ml táptalajt öntünk. 1-1 gomba- és baktérium szelektív csészén a következők szerint izolálunk:

1. A csészéket fedetlenül hagyjuk 15 percig a helyiségben.
2. Steril fültisztító pálcika segítségével mintát veszünk egy általunk választott használati tárgy/bútor felületéről, majd a táptalaj felületén cikk-cakk vonalban végighúzzuk.
3. Mosatlan ujjunkat a táptalaj felületére nyomjuk.
4. Talajmorzsát hintünk a táptalaj felületére.

A baktérium szelektív csészéket 48 órán át, a gomba szelektív csészéket 5 napon keresztül szobahőmérsékleten tároljuk, majd megvizsgáljuk a csészén megjelenő telepeket.

Ha nem állnak rendelkezésünkre a fent szereplő receptben leírt táptalajkomponensek, a következő, kereskedelemben beszerezhető anyagok felhasználásával készített táptalajt is alkalmazhatjuk: 2% szacharóz (kristálycukor), 10% húsleveskocka, 2% agar.

2.1.5. Feladatok

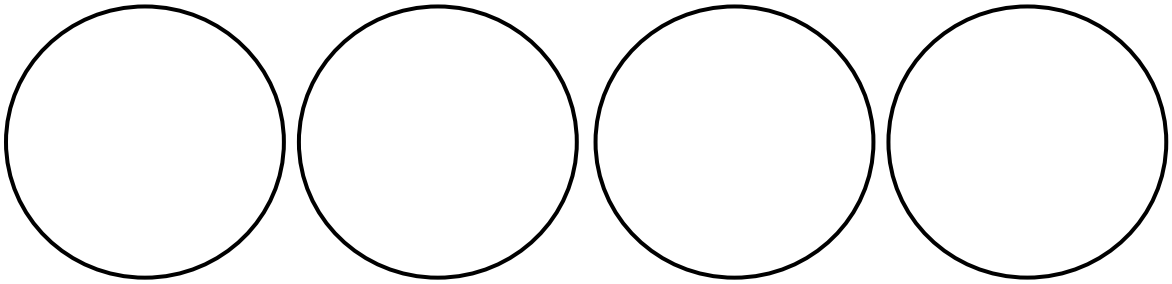
2.1.5.1. Számold ki a következő mennyiségű táptalajok pontos összetételét a megadott recept alapján!

Összetétel: 0,4% húskivonat, 0,4% pepton, 1% glükóz, 0,1% élesztőkivonat, 2% agar

	100 ml-be	**250 ml-be**	**700 ml-be**	**1500 ml-be**
húskivonat				
pepton				
glükóz				
élesztőkivonat				
agar				

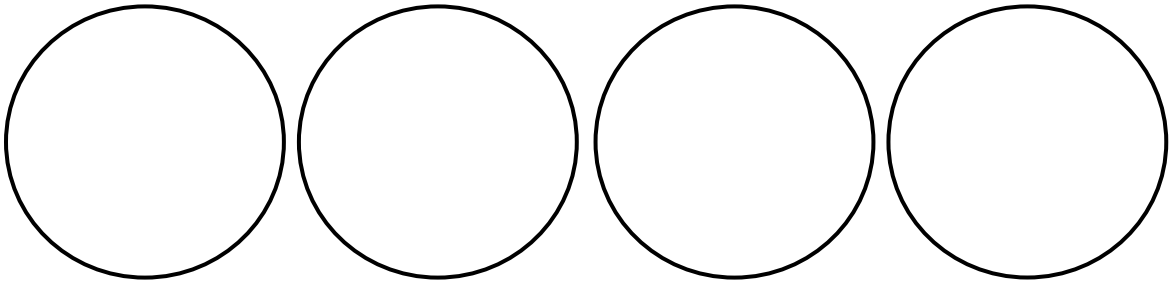
2.1.5.2. Rajzold le a csészéken látottakat! Írd le a megjelenő telepek morfológiai jellemzőit (megjelenés: kerek, hullámos, szabálytalan, sima, érdes, nyálkás, gyűrűs; szín: sárga, piros, barna,…; perem: sima, gyűrűs felszínű)!

baktérium szelektív csészék:



levegő használati tárgy ujj talaj

gomba szelektív csészék:



levegő használati tárgy ujj talaj

2.1.5.3. Gyűjts össze 3-3 gomba és baktérium nemzetséget, melynek tagjai a talajban élnek! Milyen jelentőséggel bírnak ezek a mikroorganizmusok?

2.2. Baktériumok morfológiai vizsgálata

A baktériumok a legegyszerűbb sejtes szerveződésű élőlények, a Földön mindenhol megtalálhatóak, ahol szabadon felvehető víz van számukra. Az első sejtmag nélküli sejtek, melyek a mai baktériumok ősei voltak, kb. 3,5 milliárd évvel ezelőtt jelentek meg. A sejtmag nélküli élőlényeket prokariótáknak nevezzük, ide tartoznak a valódi baktériumok és az ősbaktériumok (*Archea*). Az ősbaktériumok nevüket onnan kapták, hogy hasonlóan az ősi baktériumokhoz, „extrém" élőhelyeken élnek (pl.: magas sótartalom, magas hőmérséklet, erősen savas pH, magas nyomás), azonban ezek a mikroorganizmusok nem tekinthetők a valódi baktériumok őseinek. A baktériumsejt plazmaanyagát a sejthártya veszi körül, melyet a szénhidrátokból és fehérjéből felépülő sejtfal határolja, meghatározva ezzel a sejtalakot. Egyes baktériumoknál a sejtfalat még egy nehezen bontható polimerekből felépülő baktérium tok is körülveszi, növelve a külvilággal szembeni védelmet. A citoplazmában található a maganyag, mely gyűrű alakú; ellentétben az eukarióta sejtekkel, itt nem találunk hiszton fehérjéket.

Sejtszervecskék nincsenek, a sejtmembrán betüremkedéseinek felületén zajlanak az életfolyamatok. A baktériumok gyakran rendelkeznek mozgást biztosító flagellumokkal (csilló, ostor), melyek elhelyezkedése és száma alapján több csoport különíthető el. A baktériumok mérete a mikrométeres tartományba esik, általánosságban 0,5-10 μm nagyságúak, ismert azonban ezen mérettartománynál kisebb és nagyobb baktérium is. A sejt alakja alapján a baktériumok lehetnek gömb (*coccus*), pálcika (*bacillus*) vagy pálcika-csavar (*spirillum, vibrio*) alakúak. A gömb alakú sejtek állhatnak magányosan, kettesével, négyesével, láncokban, csomókban. Gömb alakú sejtjei vannak például a *Staphylococcus* vagy *Streptococcus* fajoknak. A pálcika alak lehet rövid vaskos, hosszú karcsú, orsó vagy fonal alakú. Pálcika sejtalakkal rendelkeznek a talajlakó *Bacillus* fajok, a tejsav baktériumok (*Lactobacillus*), a szalmonella (*Salmonella*) és a tetanusz (*Clostridium tetani*) kórokozója is. A pálcika-csavar formának két változata ismert, a csavart pálca (*spirillum*) és a görült pálca (*vibrio*). *Spirillum* forma figyelhető meg a szifilisz kórokozójánál (*Treponema pallidum*), *vibrio* forma pedig a kolera okozójánál (*Vibrio cholerae*).

2.2.1. Gyakorlat célja

Baktériumok sejtalakjának vizsgálata mikroszkóp segítségével, egyszerű festésű baktériumkenetek készítése.

2.2.2. Anyagok, eszközök, mikroorganizmusok

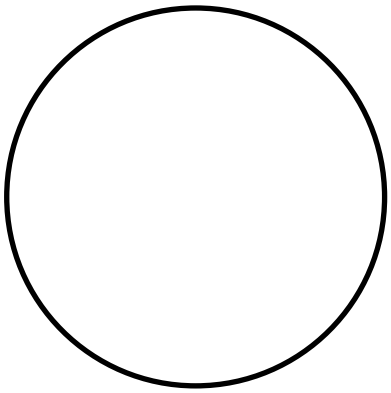
metilénkék festékoldat (50 mg metilénkék, 5 ml etanol (96%), 95 ml desztillált víz), steril desztillált víz, tárgylemezek, fedőlemezek, festőkád, fogpiszkáló, cseppentő, fénymikroszkóp, *Bacillus megaterium, Escherichia coli, Micrococcus luteus, Staphylococcus aureus* 24 órás tenyészete

2.2.3. A gyakorlat menete

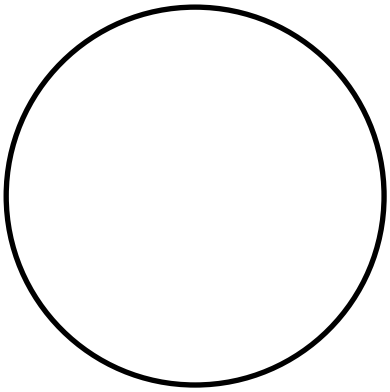
A tárgylemezeket zsírtalanítjuk, majd desztillált vízzel leöblítjük, törlés nélkül szárítjuk. Cseppentővel egy csepp desztillált vizet helyezünk a tárgylemez közepére, fogpiszkáló segítségével kis mennyiségű baktérium sejttömeget veszünk a tenyészetből, melyet eloszlatunk a cseppben. A cseppet szétkenjük a tárgylemez felületén és hagyjuk a levegőn beszáradni. A beszáradt kenetet hővel rögzítjük, mely azt jelenti, hogy a tárgylemezt láng felett 4-5-ször áthúzzuk. A rögzítést követően 1 csepp metilénkék festékoldatot teszünk a kenetre, 5 percig állni hagyjuk, majd desztillált vízzel leöblítjük. A preparátumot szárítjuk, fedőlemezt helyezünk rá, 40x-es nagyítású objektívvel vizsgáljuk.

2.2.4. Feladatok

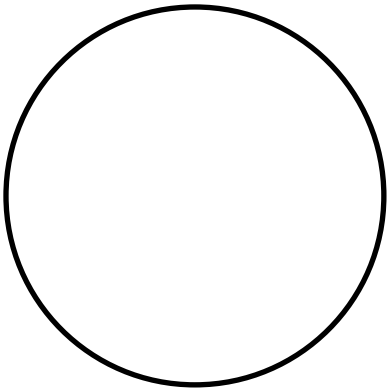
2.2.4.1. Rajzold le az egyes baktériumok mikroszkópos képét!



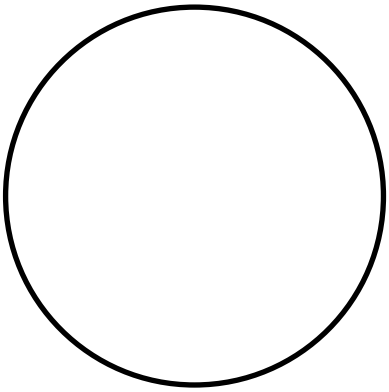
Bacillus megaterium



Escherichia coli



Micrococcus luteus



Staphylococcus aureus

2.2.4.2. Gyűjts további példafajokat gömb, pálcika és pálcika-csavar alakú baktériumokra!

2.2.4.3. Milyen betegség kórokozói az alább felsorolt baktériumok?

- *Bordetella pertussis:*
- *Corynebacterium diphtheriae:*
- *Mycobacterium tuberculosis:*
- *Streptococcus pyogenes:*
- *Yersinia pestis:*

2.3. Baktériumok antibiotikum érzékenységének vizsgálata

A környezetünkben élő baktériumok jelentős része ártalmatlan vagy kifejezetten hasznos számunkra. A talajban élő baktériumok fontos szerepet játszanak az elemek körforgásában, a

normál humán flóra tagjai védelmet biztosítanak a kórokozók ellen, a bélflóra tagjai segítik az emésztést és vitaminokat termelnek, melyeket szervezetünk felhasznál. A baktériumok kis hányada azonban az ember számára káros; egyes fajok képesek különböző súlyosságú betegségeket okozni az embernél, más fajok a haszonállatoknál, de még a termesztett növényeinknél is megjelennek bakteriális fertőzések. A bakteriális megbetegedések elleni elsődleges védekezési lehetőség a megelőzés, a megfelelő higiéniai körülmények biztosítása. Fertőzés esetén azonban, annak típusától és súlyosságától függően, ma már lehetőségünk van kezelni a betegséget antibiotikumok alkalmazásával.

Eredendően az antibiotikumok összefoglaló neve mindazon vegyületeknek, melyeket élőlények termelnek és képesek a baktériumokat elpusztítani (baktericid) vagy szaporodásukat gátolni (bakteriosztatikus). A mesterségesen előállított szereket kemoterapeutikumoknak nevezzük, azonban napjainkra, származásától függetlenül minden baktérium ellenes szert antibiotikumnak hívnak. Az első, gyakorlatban is alkalmazott antibiotikum a *Penicillium notatum* nevű penészgombából származó penicillin volt, melynek felfedezése a skót származású Alexander Fleming nevéhez fűződik. A napjainkban alkalmazott antibiotikumok jelentős része kémiailag módosított, félszintetikusan vagy szintetikusan előállított. Legismertebb csoportjuk a β-laktám típusú antibiotikumok.

A baktériumok azonban képesek arra, hogy egy vagy több antibiotikummal szemben ellenállók, rezisztensek legyenek. Ez azt jelenti, hogy az antibiotikum gátló vagy sejtölő hatására nem vagy csak kevéssé érzékenyek. Ez a képesség lehet kezdetektől fogva egy természetes tulajdonsága a baktériumnak, vagy szerzett képessége, melynek alapja a mutáció. Az antibiotikum-rezisztens baktériumtörzsek utódsejtjei is rezisztensek lesznek, illetve úgynevezett horizontális géntranszferrel más baktériumoknak is átadhatják a mutáns gént. Ennek következtében a baktériumok körében folyamatosan növekszik az antibiotikumokkal szembeni rezisztencia, szűkül az alkalmazható szerek száma, nagy valószínűséggel egyes baktériumok esetén ez a folyamat eljuthat odáig, hogy nem lesz ellene hatásos gyógyszer. Ezért minden esetben mérlegelni kell, valóban szükséges-e az antibiotikummal való kezelés.

A baktériumok antibiotikum érzékenységének vizsgálatára több módszer ismert. Leggyakoribb a direkt tenyésztésen alapuló szemikvantitatív korongdiffúzius eljárás. Ebben az esetben antibiotikummal átitatott papír korongot helyeznek a baktériummal leoltott táptalaj felületére, mely bediffundál a tápközegbe, és annak sebességétől, a hatóanyag koncentrációjától és a mikroba érzékenységétől függően különböző mértékű gátlási zónát hoz létre. A minimális gátló koncentráció (Minimum Inhibitory Concentration, MIC) értékének meghatározása történhet grádiens vagy mikrodilúciós teszttel. A grádiens teszt alapja egy hordozó anyagba koncentráció grádiens szerint felvitt antibiotikum. Az antibiotikum elliptikus zónában gátolja a baktérium növekedését, ahol a gátlási zóna és a teszt csík találkozik, az a koncentráció érték a MIC. Mikrodilúciós teszt esetén felező hígítási sort készítenek az antibiotikumból, amely értéknél nem nő ki a baktérium, az a MIC érték. Alkalmazhatók továbbá biokémiai-immunológiai és genetikai módszerek is a rezisztencia meghatározásához.

2.3.1. Gyakorlat célja

Baktériumok antibiotikum érzékenységének vizsgálata szemikvantitatív korongdiffúziós módszerrel.

2.3.2. Anyagok, eszközök, mikroorganizmusok

húskivonat, pepton, glükóz, élesztőkivonat, agar, steril fiziológiás sóoldat (0,9% NaCl), korongok antibiotikum érzékenységi vizsgálatokhoz (pl.: penicillin, sztreptomicin, klóramfenikol, oxitetraciklin, gentamicin, neomicin, …), 4 db Petri-csésze, csipesz, 4 db kémcső, *Bacillus subtilis, Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa* 48 órás tenyészete

2.3.3. A gyakorlat menete

A kísérlet csak fokozott tanári felügyelet mellett végezhető el!

Készítsünk 100 ml táptalajt a következő recept alapján: 0,4% húskivonat, 0,4% pepton, 1% glükóz, 0,1% élesztőkivonat, 2% agar. A táptalajt sterilizáljuk, 4 db Petri-csészébe lemezt öntünk. 4 db kémcsőben 3-3 ml fiziológiás sóoldatot sterilizálunk. A baktériumokból 2 kacsnyi mennyiséget a steril fiziológiás sóoldatokba szuszpendálunk, a bedermedt lemezeket masszívan leoltjuk a baktériumszuszpenziókkal: 1 csészére egyféle baktérium kerül, 3 ml baktériumszuszpenziót mérünk a táptalaj felületére, eloszlatjuk, majd a csészét enyhén megdöntve pipetta segítségével a szuszpenziót felszívjuk, a kémcsőbe visszamérjük, a csészéket steril fülkében beszárítjuk. A beszáradt táptalajok felületére steril csipesz segítségével felhelyezzük az antibiotikum korongokat, ha szükséges a csipesszel a táptalaj felületére simítjuk őket. A csipeszt a különböző korongok felhelyezése között alkoholba mártjuk, leégetjük. A lemezeket 24 órán keresztül 37 °C-on inkubáljuk.

2.3.4. Feladatok

2.3.4.1. Írd le a csészéken látottakat! Mely antibiotikum mely baktériumokat gátolta? Mérd le az egyes gátlási zónákat vonalzó segítségével!

2.3.4.2. Nézz utána és definiáld a következő fogalmakat!

- antibiotikum:

- antibiotikum-rezisztencia:

- multirezisztens baktérium törzs:

- antibiózis:

- bakteriosztatikus:

- baktericid:

- minimális gátló koncentráció (Minimum Inhibitory Concentration, MIC):

- minimális baktériumölő koncentráció (Minimum Bactericid Concentration, MBC):

- kombinált antibiotikum-terápia:

- antibiotikum hatásspektruma:

2.4. Élesztőgombák morfológiai vizsgálata

A gombák egy- vagy többsejtű, heterotróf, eukarióta élőlények. Megjelenésük, morfológiájuk alapján két csoportra oszthatók, az élesztőgombákra és a fonalasgombákra, mely csoportosítás semmilyen rendszertani alapokkal nem bír. Az élesztőgombák közé mindössze néhány száz faj tartozik, az ismert gombafajok 1%-át teszik ki, azonban a megjelenésük, az életműködésbeli sajátságaik, a tenyésztésben történő eltérések és felhasználási jelentőségük miatt a mikrobiológiában külön csoportként kezeljük őket. Az élesztőgombák egysejtű szervezetek, vegetatív szaporodásuk során, a sejtosztódást követően, önállóan funkcionáló sejteket hoznak létre. A vegetatív szaporodásuk történhet sarjadzással, más néven bimbózással (pl. *Saccharomyces cerevisiae*) vagy hasadással (pl. *Schizosaccharomyces pombe*). A legismertebb élesztőgomba a *Saccharomyces cerevisiae*, mely a köznapi használatban pékélesztő, sörélesztő néven ismert. Hétköznapi felhasználásán túl a biológiai kutatásokban is igen jelentős szereppel bír, az egyik legjobban tanulmányozott modellorganizmus.

2.4.1. Gyakorlat célja

Mikroszkópos kenetek készítése élesztőgombákból és kereskedelmi sütőélesztőből, az élesztősejtek alakjának megfigyelése.

2.4.2. Anyagok, eszközök, mikroorganizmusok

metilénkék festékoldat, steril desztillált víz, friss sütőélesztő (kereskedelemben kapható), tárgylemez, fedőlemez, cseppentő, főzőpohár, steril fogpiszkáló, mérőkanál, fénymikroszkóp, *Saccharomyces cerevisiae*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Trigonopsis variabilis* 24 órás tenyészete táptalajon

2.4.3. A gyakorlat menete

2.4.3.1. Kenetkészítés élesztőgombákból

A tárgylemezeket zsírtalanítjuk, majd desztillált vízzel leöblítjük, törlés nélkül szárítjuk. Cseppentő segítségével egy csepp desztillált vizet helyezünk a tárgylemez közepére. Fogpiszkálóval kis sejttömegű kenetet veszünk a 24 órás tenyészetekből, melyet eloszlatunk a tárgylemezen levő vízcseppben. A cseppet nagyobb felületen szétkenjük, hagyjuk magától beszáradni. A beszáradt kenetet láng felett 4-5-ször áthúzzuk, így rögzítjük, fixáljuk a sejteket. A rögzített preparátumra 1 csepp metilénkék oldatot cseppentünk, mellyel 5 percig festjük a mintát; majd desztillált vízzel lemossuk, amíg a festéket teljesen el nem távolítjuk. A kenetet szárítjuk, fedőlemezt helyezünk rá, 20x és 40x-es nagyítású objektívvel vizsgáljuk.

2.4.3.2. Kenetkészítés kereskedelmi sütőélesztőből

Mérjünk ki 1 gramm friss sütőélesztőt, helyezzük főzőpohárba és oldjuk fel 20 ml steril desztillált vízben. Cseppentő segítségével tegyünk egy kis cseppet a feloldott élesztőből tárgylemezre, helyezzünk rá fedőlemezt, 20x és 40x-es nagyítású objektívvel vizsgáljuk.

2.4.4. Feladatok

2.4.4.1. Rajzold le az egyes élesztőgombák mikroszkópos képét!

Saccharomyces cerevisiae

Schizosaccharomyces pombe

Trigonopsis variabilis

friss sütőélesztő (*Saccharomyces cerevisiae*)

2.4.4.2. Nézz utána, milyen élelmiszerek előállításához használják fel a *Saccharomyces cerevisiae*-t! Mely anyagcseretermékeinek köszönhetjük ezt?

2.4.4.3. Nézz utána a Candida fajoknak! Milyen jelentőséggel bírnak?

2.5. Fonalasgombák morfológiai vizsgálata

A fonalasgombák vegetatív formáját a gombafonalak, hifák alkotják, míg a gombafonalak szövedékét micéliumnak nevezzük. A hifák egyirányú, lineáris növekedést mutatnak, mely növekedés egységnyi idő alatt egységnyi méretű. A különböző gombacsoportokban a fonalak szerveződése eltérő. Az alacsonyabb rendű gombák harántfal nélküli, cönocitikus micéliumokat képeznek, mely lényegében egyetlen sokmagvú sejtként értelmezhető. Ilyen fonallal rendelkeznek például a *Rhizopus* vagy *Mucor* fajok. A valódi gombákra a harántfallal rendelkező, szeptált hifa jellemző. A két típus közötti átmeneti forma is ismert, ahol a harántfal kezdemények megvannak, de nem alakul ki válaszfal. Ez a jelenség figyelhető meg a *Pythium* és *Phytophthora* fajoknál. A fonalasgombák egyes csoportjai termőtestet képeznek, mely kifejezetten a gomba ivaros szaporodását biztosítja. Sok esetben ez a termőtest alkalmas emberi fogyasztásra (pl.: csiperke, laska, shiitake, bársonyos rókagomba), míg mások kifejezetten mérgezőek, emberi fogyasztásra alkalmatlanok (légyölő galóca, sátántinóru, rózsás kígyógomba).

2.5.1. Gyakorlat célja

Mikroszkópos kenetek készítése fonalasgombákból, a fonalak és vegetatív szaporító képletek alakjának megfigyelése.

2.5.2. Anyagok, eszközök, mikroorganizmusok

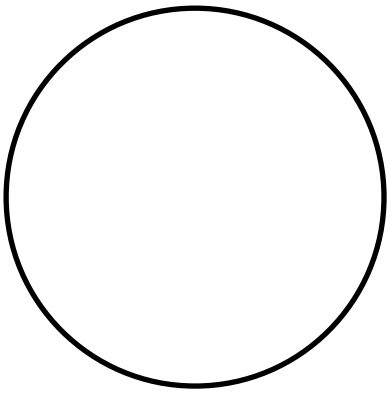
metilénkék festékoldat, tárgylemezek, fedőlemezek, festőkád, átlátszó ragasztószalag, fénymikroszkóp, *Aspergillus niger, Fusarium solani, Penicillium frequentans* 24 órás tenyészete, camembert sajt/egyéb nemespenészes sajt

2.5.3. A gyakorlat menete

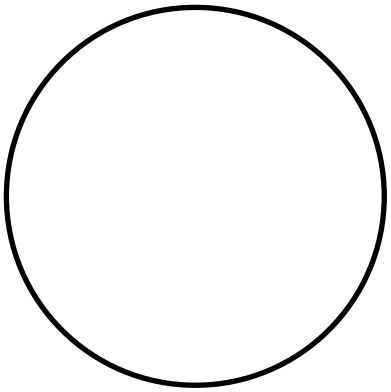
A tárgylemezre metilénkék festéket cseppentünk. Az átlátszó ragasztószalagból levágunk egy kis darabot, majd a ragasztós felületét óvatosan a gombatelep széléhez nyomjuk, sajtminta esetén a sajt külső, penészes felületéhez. A ragasztószalagot, a ragasztós felületével a festékcseppes tárgylemezre helyezzük, a preparátumokra fedőlemezt teszünk, 20x és 40x-es nagyítású objektívvel vizsgáljuk.

2.5.4. Feladatok

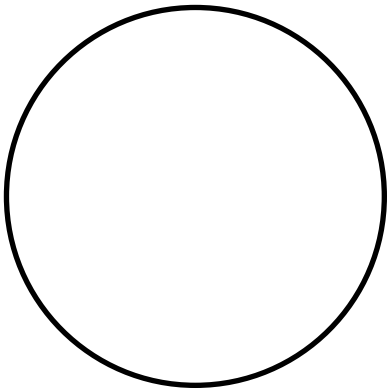
2.5.4.1. Rajzold le az egyes fonalasgombák mikroszkópos képét!



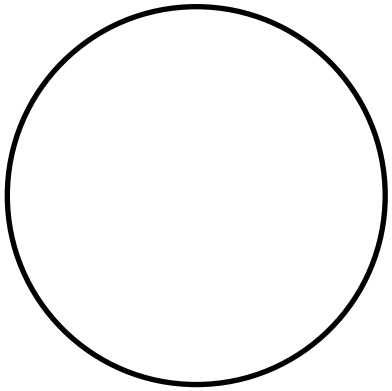
Aspergillus niger



Penicillium frequentans



Fusarium solani



camembert sajt

2.5.4.2. Keress olyan élelmiszereket, amelyek előállításához fonalasgombákat használnak fel!

2.6. A feladatok megoldásai

2.1.5.1.

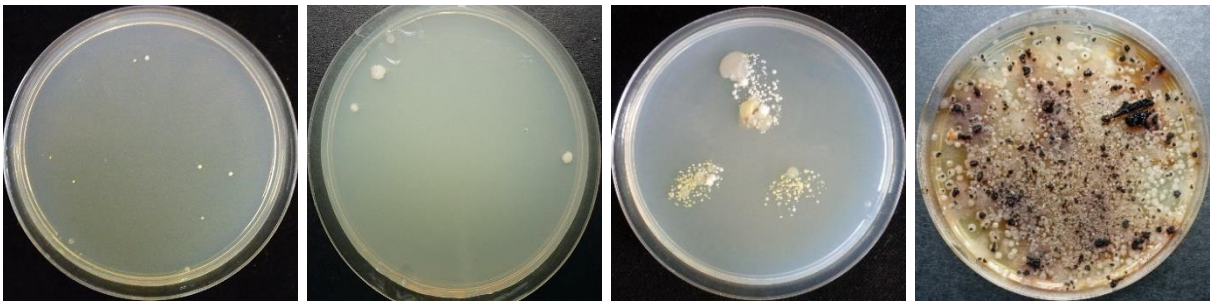
	100 ml-be	**250 ml-be**	**700 ml-be**	**1500 ml-be**
húskivonat	0,4 g	1 g	2,8 g	6 g
pepton	0,4 g	1 g	2,8 g	6 g
glükóz	1 g	2,5 g	7 g	15 g
élesztőkivonat	0,1 g	0,25 g	0,7 g	1,5 g
agar	2 g	5 g	14 g	30 g

2.1.5.2.

A csészéken kör alakú képződmények, baktérium- és gombatelepek jelentek meg. Telepnek nevezzük a táptalaj felületére került sejt vagy telepképző egység szaporodása során képződött különálló sejttömeget.

Egy elvégzett példakísérlet eredményei:

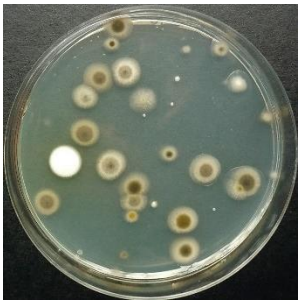
baktérium szelektív csésze:



levegő használati tárgy ujj talaj

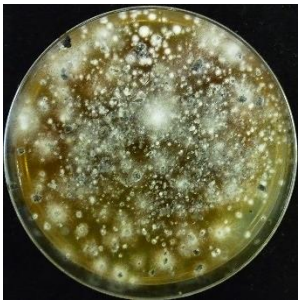
- A levegőből néhány fehér vagy sárga színű, apró, fényes telepet létrehozó baktériumot izoláltunk.
- Asztal felületéről vett pormintából 5 db fehér színű telepet izoláltunk.
- A bőr felületéről izolált baktériumok fehér vagy sárga színű, fényes, apró telepeket képeztek. Ezek között a baktériumok között megtaláljuk a normál humán flóra tagjait, illetve a különböző tárgyak felületéről rákerült, ideiglenesen ott levőket, melyek nem tagjai a normál flórának.
- A talajszemcséről fehér színű baktériumtelepeket izoláltunk igen nagy számban. A felszíni talajok 1 grammjában akár milliós számban is élhetnek baktériumok.

gomba szelektív csészék:


levegő

használati tárgy

ujj

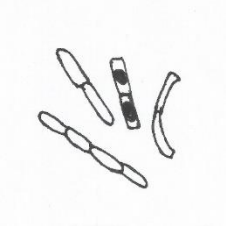

talaj

- A levegőből több fonalas gombatelepet tudtunk izolálni, néhány élesztőgomba is megjelent. A fonalasgombák fonalas, vattaszerű telepeket hoznak létre, míg az élesztőtelepek matt, krémszerű képződmények, megjelenésben nagyon hasonlítanak a baktériumtelepekre.
- A bútor felületéről vett mintából elsősorban fonalasgombák nőttek fel.
- A bőr felületéről izolált gombák közül csak néhány élesztőgomba képezi a normál humán flórát, a képen látható kísérlet során izolált fonalasgombák a környezetből kerültek a bőrre, a normál flórának nem tagjai.
- A talajszemcséről fehér színű gombatelepeket izoláltunk igen nagy számban.

2.1.5.3.
Példaként említhető baktérium nemzetség:
Azotobacter nemzetség: nem-szimbiotikus nitrogénfixálók a talajban
Bacillus nemzetség: szaprofiták
Rhizobium nemzetség: szimbiotikus nitrogénfixálók, szimbiózis hüvelyesekkel

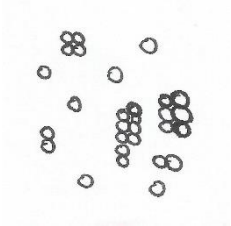
Példaként említhető gomba nemzetség:
Trichoderma nemzetség: szaprofiták
Mucor nemzetség: szaprofiták, néhány fajuk lehetséges humán kórokozó
Phanerochaete nemzetség: fehérkorhasztó gombák, szaprofiták

2.2. Baktériumok morfológiai vizsgálata
2.2.4.1.
Bacillus megaterium: pálcika forma, a sejtek kettesével vagy láncot képezve egymás mellett maradhatnak, de ekkor is minden sejt önálló
Escherichia coli: pálcika forma
Micrococcus luteus: gömb, *coccus* forma
Staphylococcus aureus: gömb, *coccus* forma, a sejtek szőlőfürtszerű csomókban együtt maradhatnak

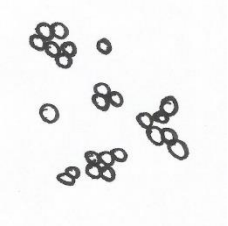


Bacillus megaterium

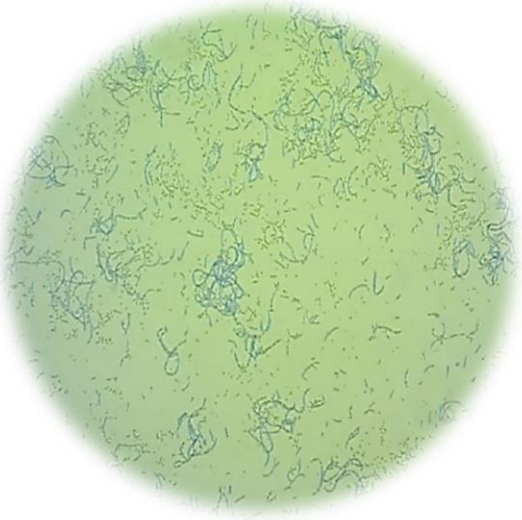
Escherichia coli



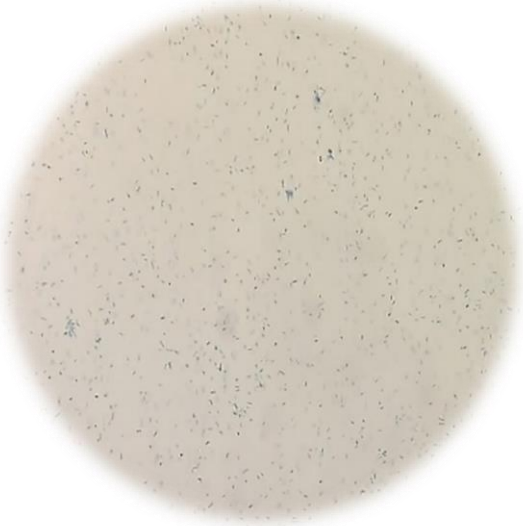
Micrococcus luteus



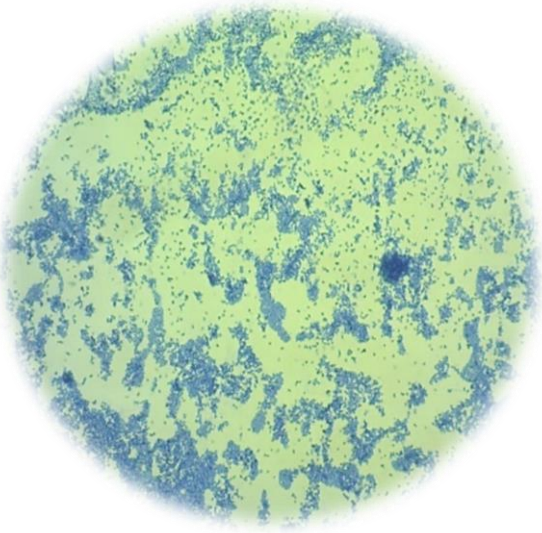
Staphylococcus aureus



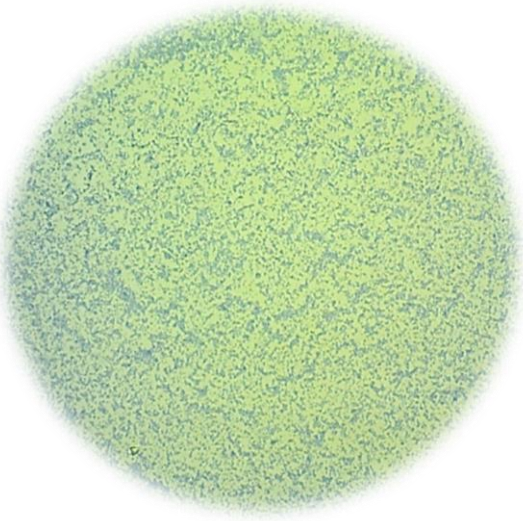
Bacillus megaterium



Escherichia coli



Micrococcus luteus



Staphylococcus aureus

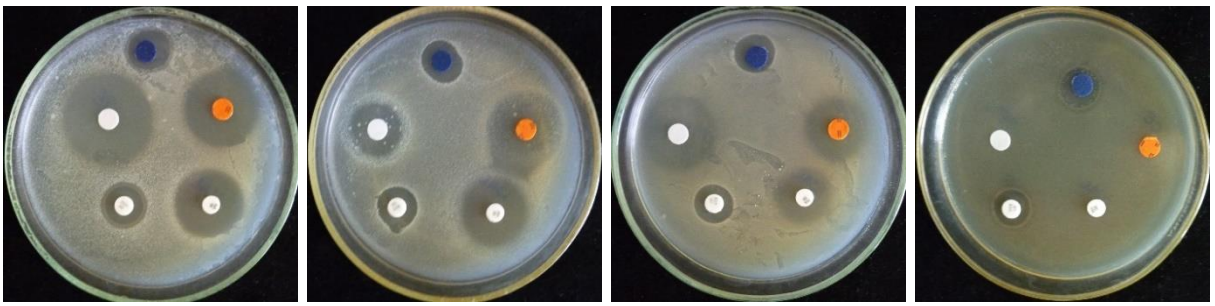
2.2.4.2.
gömb forma: *Staphylococcus aureus, Streptococcus pyogenes, Moraxella catarrhalis*
pálcika forma: *Lactobacillus bulgaricus, Clostridium tetani, Escherichia coli*
pálcika-csavar forma: *Helicobacter pylori, Bdellovibrio bacteriovorus, Spirosoma linguale*

2.2.5.3.
- *Bordetella pertussis:* szamárköhögés
- *Corynebacterium diphtheriae:* diftéria/torokgyík
- *Mycobacterium tuberculosis:* tuberkolózis/tüdőgümőkor/TBC
- *Streptococcus pyogenes:* skarlát/vörheny
- *Yersinia pestis:* pestis

2.3.4.1.
A táptalajok teljes felületén a baktériumok összefüggő tenyészetet, baktériumpázsitot hoztak létre. Egyes antibiotikum korongok körül ez a baktériumpázsit nem alakult ki, az antibiotikum gátolta a baktérium szaporodását. Gátlási zóna lemérésekor a teljes átmérőt lemérjük mm pontossággal.

Egy elvégzett példakísérlet eredményei:

A kapott gátlási zónák mérete a különböző kísérletekben ugyanazon törzs és antibiotikum használata mellett is eltérést mutathat!



Escherichia coli *Bacillus subtilis* *Staphylococcus aureus* *Pseudomonas aeruginosa*

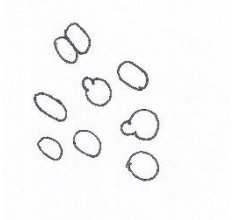
Vizsgált antibiotikumok az óramutató járásával megegyező irányban haladva: kék színű: kanamicin; naracssárga színű: cefetamet; fehér színű I.: penicillin, fehér színű II.: netilmicin; fehér színű III.: nalidixsav

	Escherichia coli	*Bacillus subtilis*	*Staphylococcus aureus*	*Pseudomonas aeruginosa*
kanamicin	12 mm	9 mm	6 mm	6 mm
cefetamet	18 mm	18 mm	15 mm	0 mm
penicillin	18 mm	15 mm	12 mm	0 mm
netilmicin	9 mm	6 mm	6 mm	6 mm
nalidixsav	21 mm	12 mm	15 mm	0 mm

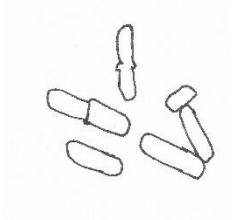
2.3.4.2.

- **antibiotikum**: mikroorganizmusok által termelt anyagok, melyek más mikroorganizmusok növekedését gátolják vagy elpusztítják azokat
- **antibiotikum-rezisztencia**: az antibiotikum károsító hatásával szemben kevésbé vagy egyáltalán nem érzékeny az adott baktérium
- **multirezisztens baktérium**: olyan baktérium, mely egy vagy több antibiotikum családdal szemben rezisztenciát mutat
- **antibiózis**: egy élőlény az általa kibocsátott anyagcseretermékek (pl. antibiotikum) által más élőlények életfolyamatait gátolja
- **bakteriosztatikus**: baktériumok szaporodását gátló (a baktérium életben marad, csak nem képes osztódni)
- **baktericid**: baktériumölő, elpusztítja a baktériumokat
- **minimális gátló koncentráció** (Minimum Inhibitory Concentration, MIC): az antibiotikum azon legkisebb koncentrációja, mely még hatásosan gátolja a baktérium növekedését
- **minimális baktériumölő koncentráció** (Minimum Bactericid Concentration, MBC): az antibiotikum azon legkisebb koncentrációja, mely a baktérium 99,9%-át elpusztítja
- **kombinált antibiotikum-terápia**: különböző antibiotikumok kombinációjának alkalmazása
- **antibiotikum hatásspektruma**: azon mikroorganizmusok csoportja, mely ellen az adott antibiotikum alkalmazható

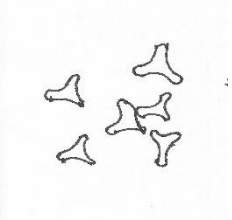
2.4.4.1. Mikroszkópos képek



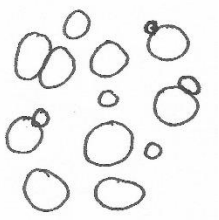
Saccharomyces cerevisiae



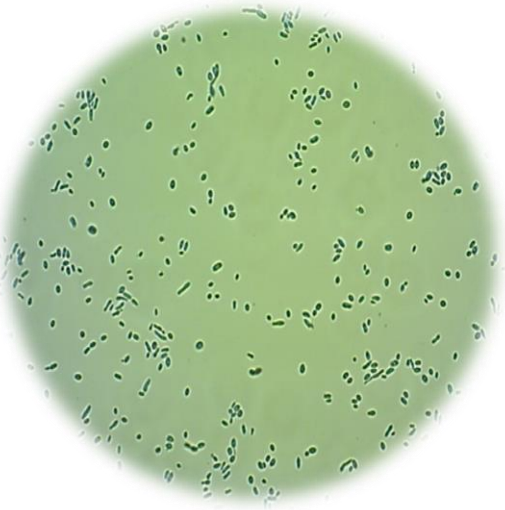
Schizosaccharomyces pombe



Trigonopsis variabilis



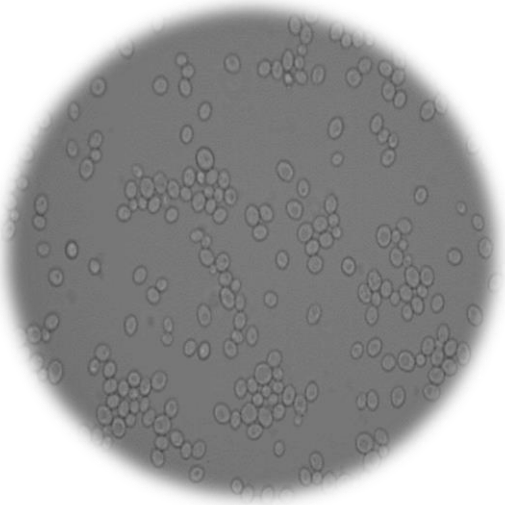
friss sütő élesztő



Saccharomyces cerevisiae
(ovális sejtek)

Schizosaccharomyces pombe
(henger alakú sejtek)

Trigonopsis variabilis
(háromszög alakú sejtek)



friss sütő élesztő
(*Saccharomyces cerevisiae*)

2.4.4.2.

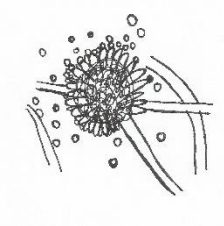
A *Saccharomyces cerevisiae aerob* és *anaerob* anyagcserére egyaránt képes, viszont nem tekinthető teljesen anaerob élőlénynek, mivel teljesen oxigénmentes körülmények között életműködése leáll.

- kelesztett pékáruk készítése: a tésztába kevert pékélesztő *anaerob* alkoholos erjesztés során etil-alkoholt és CO_2-t bocsájt ki, a képződő CO_2 apró buborékokat alkot a tésztában, ez térfogatnövelő hatással bír.
- sör készítése: az *anaerob* alkoholos erjedés során keletkező etil-alkoholnak
- bor készítése: az *anaerob* alkoholos erjedés során keletkező etil-alkoholnak

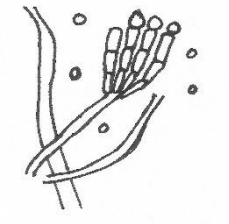
2.4.4.3.

A *Candida* nemzetség tagjai az élesztőgombák közé tartoznak. Számos faj veszélytelen, megtalálható növények felületén, az állatok és az ember normál flórájának tagja. Egyes, a normál humán flóra tagjai közé tartozó fajok (*Candida albicans, Candida parapsilosis*) azonban képesek gombás fertőzéseket okozni legyengült immunrendszerű betegeknél. Más fajokat biológiai növényvédelemben (*Candida oleophila*) és különböző iparágakban (*Candida antarctica, Candida krusei*) használnak fel.

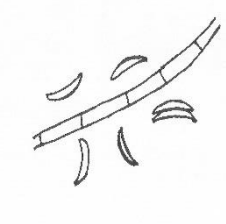
2.5.4.1.



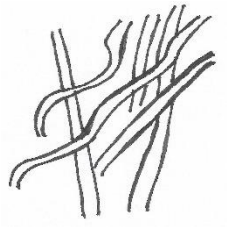
Aspergillus niger



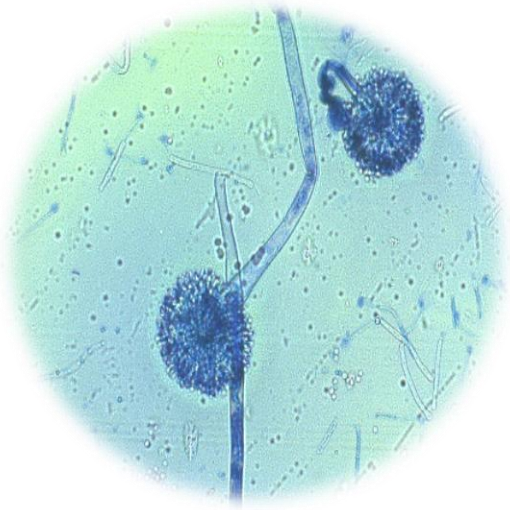
Penicillium frequentans



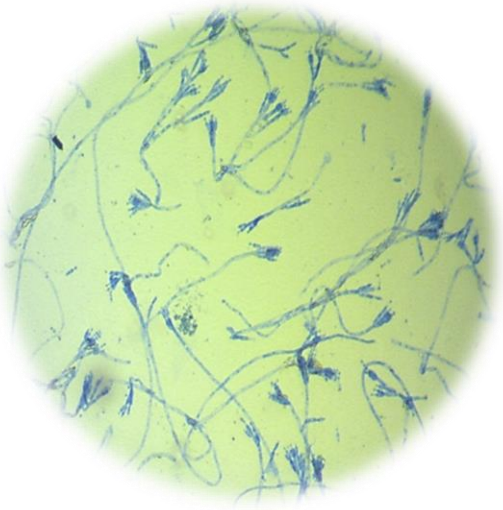
Fusarium solani



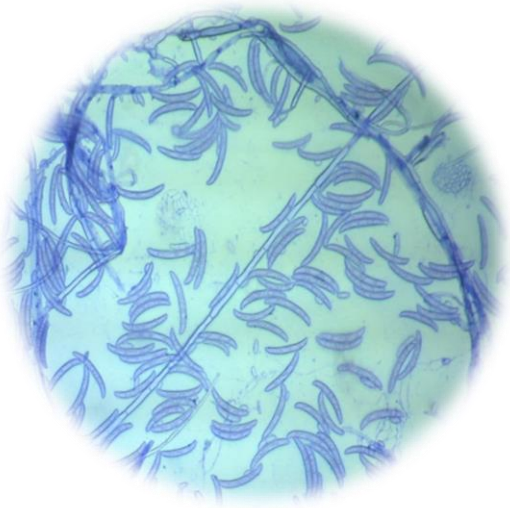
camembert sajt



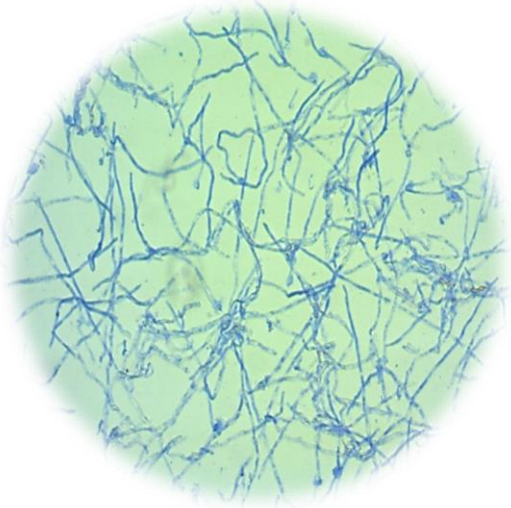
Aspergillus niger



Penicillium frequentans



Fusarium solani



camembert sajt felületéről vett minta

2.5.4.2.
- fehérpenészes sajtok: camembert, brie
- belsőpenészes sajtok: rokfort sajt, gorgonzola, stilton
- nemespenészes szalámik
- szójaszósz: *Aspergillus oryzae*
- citromsav: *Aspergillus niger*

2.7. Felhasznált és ajánlott irodalom

Gál B (2010) Biológia 10. Az élőlények változatossága. Mozaik Kiadó, Szeged
Kevei F, Kucsera J, Manczinger L, Pfeiffer I, Varga J, Vágvölgyi Cs (1999) Mikrobiológiai gyakorlatok I. JATE Press, Szeged
Kevei F, Kucsera J (2004) Mikrobiológia I. JATEPress, Szeged
Kevei F, Kucsera J, Manczinger L, Vágvölgyi Cs (2004) Mikrobiológia II. JATEPress, Szeged
Perendy M (1980) Biológiai Gyakorlatok Kézikönyve. Gondolat Könyvkiadó, Budapest

3. MIKROSZKÓPOS NÖVÉNYANATÓMIA

3.1. A növényi sejt

3.1.1. Bevezetés

A növények teste, hasonlóan az állatok és emberek testéhez, sejtekből épül fel. A magasabb rendű növényeknél a **sejtek** egy adott funkció ellátása érdekében **szövetekké** állnak össze, a különböző, de összehangoltan működő szövetek pedig **szerveket** alkotnak (gyökér, szár, levél), így létrehozva a **szervezetet**.

3.1.2. A növényi sejtek alakja és mérete

A növényi sejt (legkisebb alaki egység) az állati és emberi sejtekhez képest számos eltérést és sajátosságot mutat. A növényi **sejtek alakja változatos**, akár egysejtűként, akár többsejtes szövet vagy szerv részeként (pl. gömb, sokszögletes, téglalap, csillag, elágazó, megnyúlt orsó vagy hengeres). A növényi sejtek **mérete szintén nagyon változatos**. Egysejtűként (több sejtmaggal!), akár több méteres is lehet (pl. *Caulerpa*). Többsejtes szövet vagy szerv részeként a **legkisebb sejtek az osztódó szövet (merisztémák) sejtjei** (6-10 μm), a **legnagyobbak a szállító szövet sejtjei**, a fa- és háncselemek (1 mm-től akár több cm is lehet, pl. kenderrost).

3.1.3. A növényi sejtek felépítése

A növényi sejtek felépítése az állati és emberi sejtekéhez nagyon hasonló (sejthártya, sejtplazma, sejtmag, mitokondriumok, endoplazmatikus hálózat, Golgi-apparátus), azonban a növényi sejtek számos egyedi jellegzetességgel is bírnak. **A növényi sejtek jellegzetes részei a sejtfal, a sejtnedvvel telt üregek és a színtestek.**

3.1.4. A növényi sejtfal

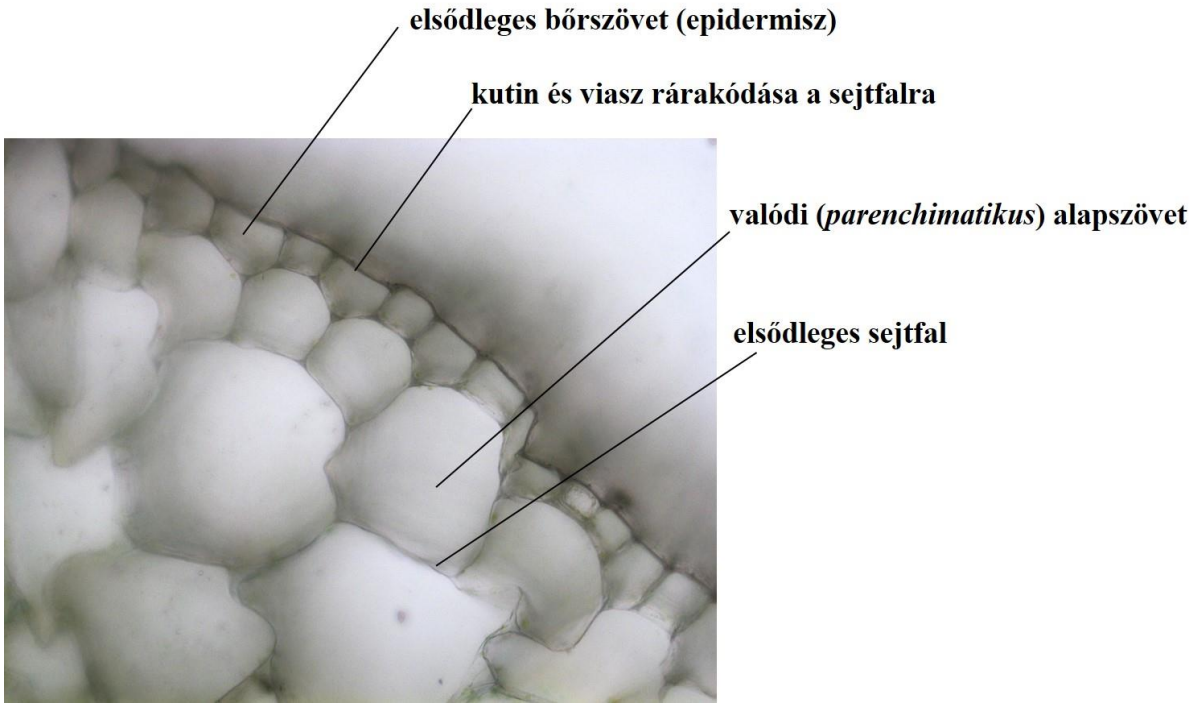
Növényi sejtfalnak nevezzük **a növényi sejteket kívülről borító, többé-kevésbé szilárd vázat, mely megszabja a növényi sejtek alakját és szilárdítja azt**. A növényi sejtfal **összetétele dinamikusan változó**, ezért nevezzük többé-kevésbé szilárd váznak! A növényeknél megkülönböztethetünk elsődleges, másodlagos és harmadlagos sejtfalat (3.1. ábra).

A növényi **elsődleges sejtfal négy fő anyagból épül fel:** a rostos vázat alkotó **cellulózból**, az alapállományt alkotó **hemicellulózból** és **pektinből**, valamint **fehérjékből**. A cellulóz (1-4-β-D-glükóz) a növényi sejtfal fő anyaga, mely egymás mellé rendeződött egyenes láncokból áll. Ezt köti keresztbe, hálózatot alkotva a hemicellulóz és a pektin, mely befolyásolja a sejtfal porozitását, a sejtek közötti kapcsolódást, és szerepet játszik különböző sejtfelismerési folyamatokban (pl. kórokozók felismerése). Ezeket a szénhidrátokat különböző oldatokkal vonhatjuk ki a sejtfalból (pl. lúg), mely alapján csoportosíthatjuk is őket. Az elsődleges sejtfal felépítésében fontos szerepet töltenek be a fehérjék, melyeket az őket felépítő jellegzetes aminosavak alapján csoportosíthatunk (pl. prolinban gazdag fehérjék). Egyes fehérjék hálózatot alkotva a növényi sejtfalban korlátozhatják, vagy éppen elősegíthetik a sejtfal fellazulását a

növényi sejtek megnyúlásos növekedése során, illetve szintén szerepet játszhatnak különböző sejtfelismerési folyamatokban is.

Idővel az elsődleges sejtfalba más anyagok is berakódhatnak (pl. lignin, para) vagy éppen rárakódhatnak (pl. kutin, viasz), így létrehozva a másodlagos sejtfalat. A **lignin** a második legnagyobb mértékben termelt szerves anyag a cellulóz után, mely a növényi sejtfal „fásodását" okozza, így szilárdságot és tartást, valamint védelmet biztosít például a többéves növények szárában. A **paraanyagok** feladata a vízszigetelés és a kórokozók bejutásának megakadályozása.

A rárakódó anyagok közül a **kutin** és a **viasz** szintén víztaszító (hidrofób) réteget képez a növények levelén, melynek szerepe lehet a párologtatás csökkentésében, a rovarok távoltartásában vagy éppen csalogatásában a fénytörés megváltoztatásával.

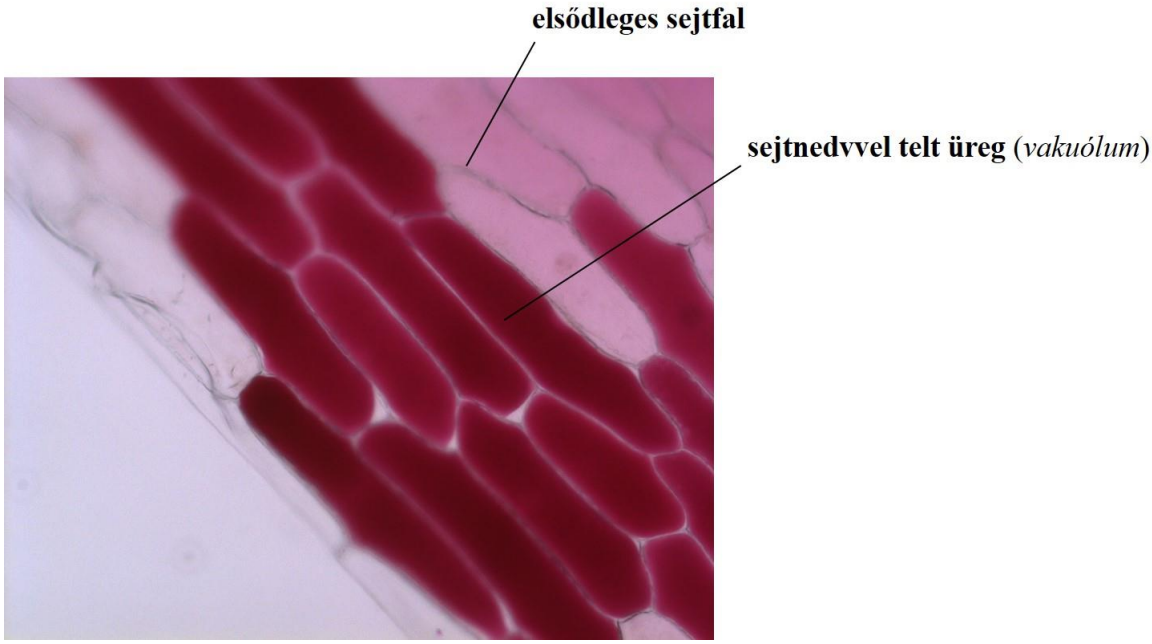


3.1. ábra: Kerti begónia (*Begonia semperflorens*) levélnyél keresztmetszet, 200x

3.1.5. A sejtnedvvel telt üreg (vakuólum)

A növényi sejtek másik jellegzetessége a **több kisebb vagy egy nagy, sejtnedvvel telt üreg** (vakuólum) megléte (3.2. ábra). A vakuólumot körülhatároló membrán (tonoplaszt) sajátos összetételű, mely biztosítja a vakuólumok működését. A vakuólumok **többféle anyagot tartalmazhatnak,** például vizet, vízben oldott anyagokat (pl. ionok, alkaloidok, színanyagok, szénhidrátok), fehérjéket, kristályokat és zárványokat, vagy éppen lebontásra váró más sejtalkotókat. **A vakuólumok feladata sokrétű.** Szerepet játszanak a **turgornyomás** (sejtfalra gyakorolt pozitív hidrosztatikai nyomás) fenntartásában, a **víz- és ionhomeosztázis kialakításában** (protonok felhalmozása, savas pH), a **kártevők elleni védelemben** (pl. alkaloidok felhalmozása). Továbbá a **mérgező és káros anyagok elkülönítésében és felhalmozásában** (pl. nehézfémek, NaCl), a **színanyagok felhalmozásában** a szaporító

képletekben (pl. antociánok), valamint a **raktározó** (pl. magvakban fehérjék, termésekben szénhidrátok) és a **lebontó folyamatokban** (savas közegben történő sejtalkotók lebontása) is.



3.2. ábra: Lilahagyma (*Allium cepa*) allevél bőrszövet (epidermisz) nyúzata, 100x

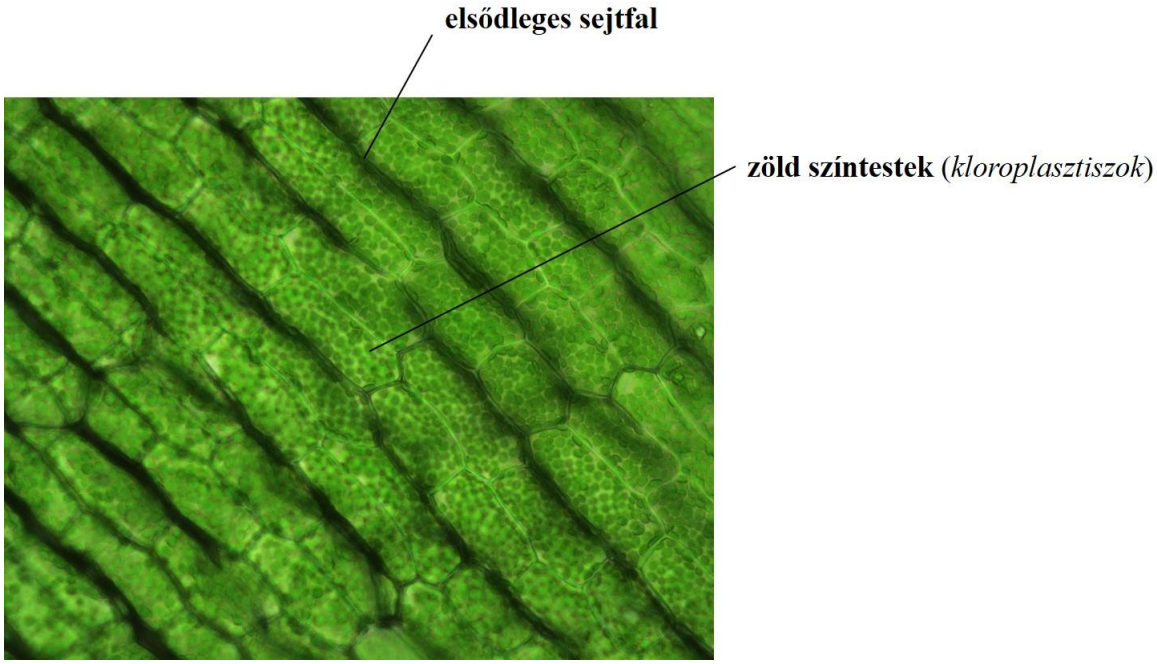
3.1.6. A növényi színtestek (plasztiszok)

A növényi színtestek (plasztiszok), olyan jellegzetes növényi sejtalkotók, melyek kettős membránnal határoltak. **A növényi színtesteket az általuk tartalmazott színanyag és élettani funkcióik alapján csoportosíthatjuk**, így megkülönböztetve színanyagot tartalmazó és fotoszintetizáló **zöld színtestet** (kloroplasztisz), színanyagot tartalmazó, de nem fotoszintetizáló **színes színtesteket** (kromoplasztiszok), valamint színanyagot nem tartalmazó és nem fotoszintetizáló raktározó **színtelen színtesteket** (leukoplasztiszok). A különböző színtestek egymásból alakulhatnak ki vagy át (pl. a termés érésekor a zöld színtest átalakul színes színtestté).

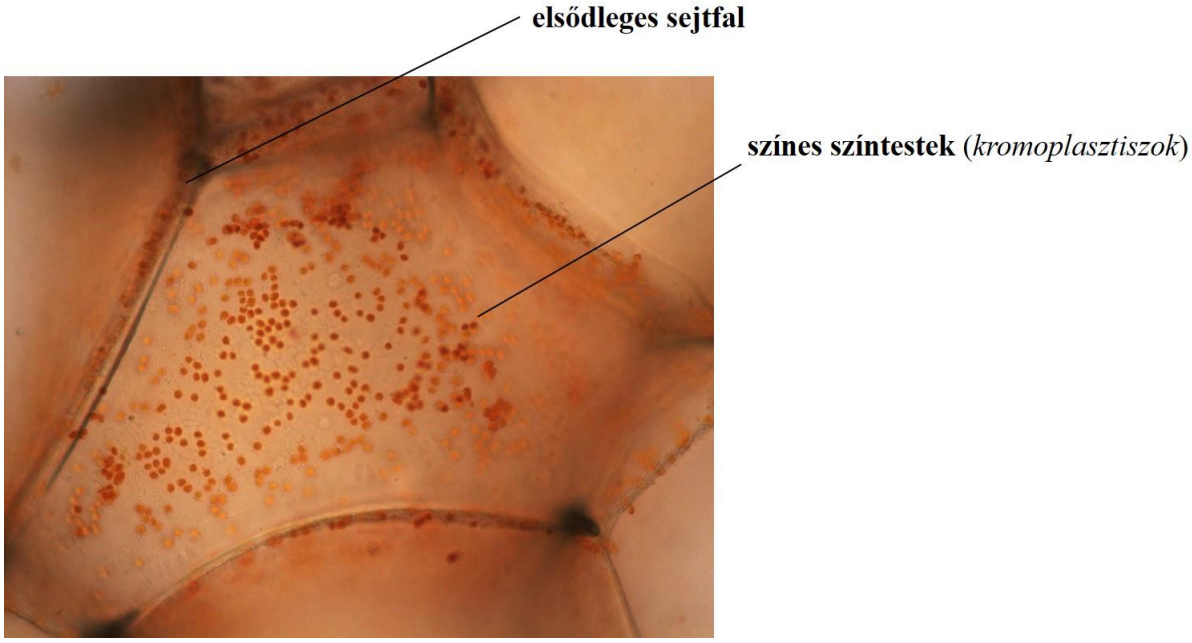
A **zöld színtestek** lencse vagy **korong alakú** sejtszervecskék, melyek **zöld** (klorofill a és b) és sárgás színű (karotinoidok) **színanyagokat** (pigmentek) **tartalmaznak** (3.3. ábra). Számuk általában 1-5 db sejtenként. A zöld színtestek **feladata a fotoszintézis**, mely során a fényenergia felhasználásával keményítőt vagy más szénhidrátokat szintetizálnak. A zöld színtestek fejlett belső membránrendszerrel (tilakoidok) rendelkeznek, melyek a belső alapállományban (sztróma) pénzérmék oszlopához hasonlítva felcsavarodhatnak (gránumok), így nagy felületet biztosítanak a fotoszintézisben szerepet játszó pigment-fehérjekomplexek (I. és II. fotokémiai rendszer) beágyazódásának.

A **színes színtestek sárgás, vöröses színanyagokat** (karotinoidok) **tartalmaznak** (3.4. ábra). Méretük kisebb, de sejtenkénti számuk nagyobb, mint a zöld színtesteké. A színes

színtestek különböző növényi részek, elsősorban termés (pl. paprika, paradicsom), virág (pl. körömvirág), gyökér (pl. sárgarépa) színét adják.



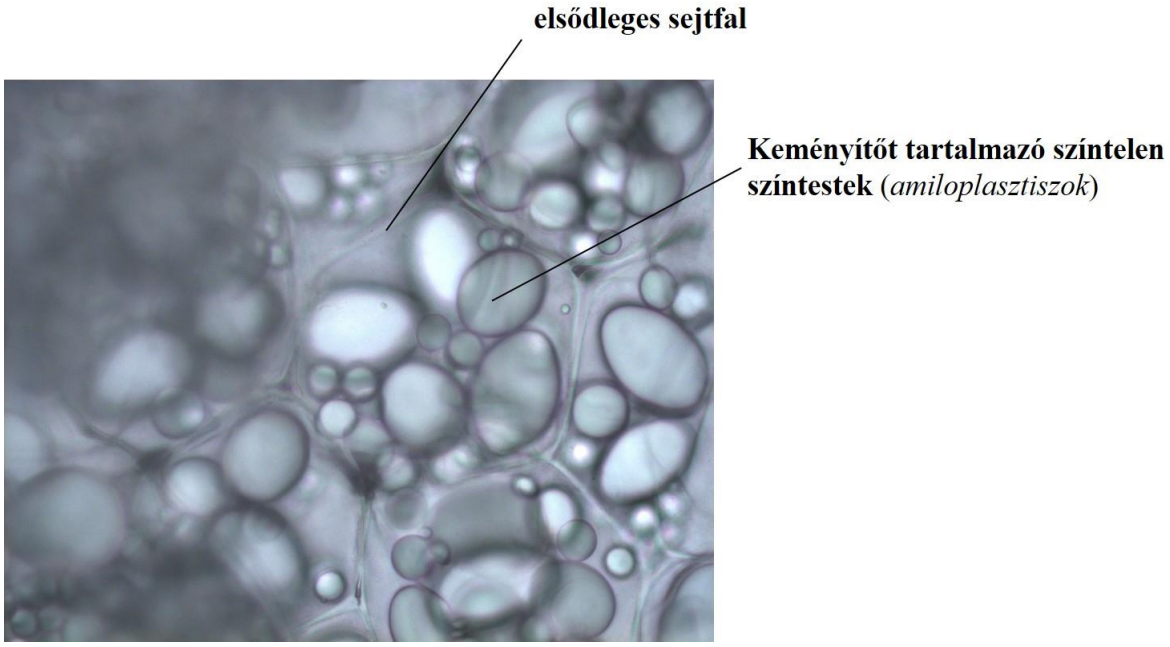
3.3. ábra: Kanadai átokhínár (*Elodea canadensis)* levélkéje, 400x



3.4. ábra: Kaliforniai paprika (*Capsicum annuum*) termésfal keresztmetszete, 400x

A **színtelen színtestek** elsősorban **raktározási feladatot látnak el** a különböző növényi részekben. A raktározott anyagok alapján megkülönböztethetünk keményítőt (amiloplasztisz)

(3.5. ábra), fehérjét (proteinoplasztisz) és zsírokat, olajokat (elaioplasztisz) raktározó színtesteket.



3.5. ábra: Burgonya (*Solanum tuberosum*) gumó keresztmetszete, 200x

3.1.7. Feladatok

3.1.7.1. Készíts kerti begónia (*Begonia semperflorens*) levélnyél keresztmetszet, és figyeld meg a sejtfal vastagságát a belső szövetet alkotó sejtek és a felszínen lévő sejtek esetében!

3.1.7.2. Készíts lilahagyma (*Allium cepa*) allevél bőrszövet (epidermisz) nyúzatot, és figyeld meg, hogy a sejtek méretéhez képest mekkora a lila színanyagot (antociánok) tartalmazó sejtnedvvel telt üreg (vakuólum) mérete!

3.1.7.3. Vizsgáld meg kanadai átokhínár (*Elodea canadensis)* levélkéjét, és számold meg, hogy átlagosan mennyi zöld színtestet (kloroplasztisz) tartalmaz egy sejt! Figyeld meg mozgásukat a fény hatására!

3.1.7.4. Készíts zöld és piros kaliforniai paprika (*Capsicum annuum*) termésfal keresztmetszetet, és hasonlítd össze a színes színtestek (kromoplasztiszok) alakját, számát és méretét a zöld színtestekével (kloroplasztisz)!

3.1.7.5. Készíts burgonya (*Solanum tuberosum*) gumó keresztmetszetet, és vizsgáld meg a színtelen színtestek (leukoplasztiszok) sejtenkénti alakját, méretét és számát! Fesd meg a szövetet Lugol-oldattal, hogy igazold, a színtelen színtestek (leukoplasztiszok) valóban keményítőt tartalmaznak-e (amiloplasztiszok)!

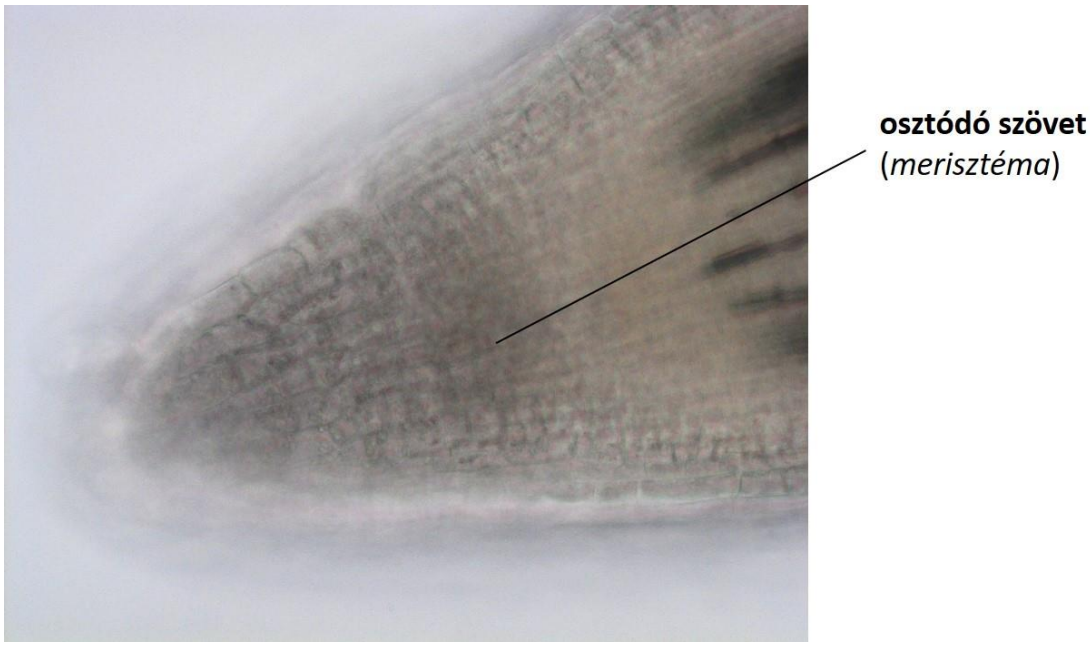
3.2. Az osztódó szövetek

3.2.1. Bevezetés

A hajtásos növények sejtjei egy adott funkció ellátására specializálódva szövetekké csoportosulva működnek, melyek származásuk szerint összetartoznak, összehangoltan fejlődnek és működnek. **Megkülönböztethetünk egyszerű és összetett szöveteket** az alapján, hogy hasonló vagy különböző sejttípusokat tartalmaznak. **A növényi szövetek sejtjei az osztódó szövetekből jönnek létre.**

3.2.2. Az osztódó szövetek (merisztémák) jellegzetességei

A növényi szövetek sejtjeit az **osztódó szövetek** (merisztémák) hozzák létre (3.6. ábra). Az osztódó szövetek sejtjei **állandó osztódásra képesek,** és **a növényi szervezet meghatározott részén** (lokalizáltan) működnek (pl. hajtás vagy gyökércsúcs), mely funkciót egész életük során megőrzik. A növényi sejtek jellemzője azonban, hogy bizonyos állandósult sejtek – melyek már elköteleződöttek egy adott élettani funkció ellátására – képesek újra osztódó szövetekké alakulni (differenciálódni). Az osztódó szövetek működésükkel hozzájárulnak a növények („növekvő lények") hosszanti (pl. csúcsmerisztémák) és vastagságbéli (pl. kambium) növekedéséhez és fejlődéséhez.



3.6. ábra: Veteménybors ó (*Pisum sativum*) gyökércsúcs, 100x

3.2.3. Az osztódó szövetek (merisztémák) sejttani sajátosságai

Az osztódó szövetek sejtjei szorosan, **hézagmentesen illeszkednek** egymáshoz. A sejtek többnyire **kisméretűek és szögletesek**. **Elsődleges sejtfallal** és **nagy sejtmaggal** rendelkeznek. A többi **sejtalkotó** (pl. plasztiszok, vakuólum) **száma kevés, mérete kicsi** és felépítése **fejletlen**.

3.2.4. Az osztódó szövetek (merisztémák) csoportosítása

Az osztódó szöveteket csoportosíthatjuk keletkezésük időrendisége (ős-, elsődleges, másodlagos merisztémák) és elhelyezkedésük alapján (csúcsi, oldalsó, közbeiktatott merisztémák).

Az osztódó szövetek lehetnek **a tengelycsúcson** (gyökér és hajtáscsúcs), **a növényi szerv oldalával párhuzamosan** (laterálisan, pl. a *parakambium*, mely a másodlagos bőrszövetet hozza létre többéves növényeknél, illetve a *kambium*, mely a szár megvastagodásáért felelős a fa- és háncselemek létrehozásával), valamint az ún. **közbeiktatott osztódó szövetek** (interkaláris merisztémák), melyek a tengelycsúcstól távolabbi részen működnek, és a szártagok növekedéséért felelősek a fűfélékben.

3.2.5. Feladatok

2.5.1. Vizsgáld meg és hasonlítsd össze a veteményborsó (*Pisum sativum*) gyökércsúcsot és a kelbimbó (*Brassica oleracea*) hajtáscsúcs keresztmetszetét! Figyeljd meg az osztódó szövetek (merisztémák) sejttani jellegzetességeit!

3.3. A bőrszövet-rendszer

3.3.1. Bevezetés

Az osztódó (merisztéma) sejtek működése során keletkező sejtek elveszítik osztódóképességüket és egy meghatározott működés elvégzésére állandósulnak (differenciáció és morfogenezis). Ezek az állandósult szövetek, melyek három csoportba sorolhatók: bőrszövetek, alapszövetek, szállítószövetek.

3.3.2. A bőrszövet-rendszer

A bőrszövet-rendszer **a hajtásos növények testének felületén lévő sejtcsoportok összessége, a sejtek függelékével (pl. növényi szőrök) együtt**.

A bőrszövet-rendszer funkciója a növényi szervezet védelme a **külső környezeti hatásokkal szemben** (pl. erős napsütés, kórokozók támadása), **az időjárás változásaival szemben** (pl. kiszáradás, csapadék) és a sebzéssel szemben (pl. mechanikai sérülés, rovarrágás). **Emellett szabályozza a gázcserét, párologtatást, tápanyagok (szén-dioxid, CO_2) felvételét,** és részt vesz a **külvilágból érkező ingerek felvételében** is.

Megkülönböztetünk **elsődleges** (epidermisz, rizodermisz), **másodlagos** (parabőr) és **harmadlagos bőrszövetet** (héjkéreg).

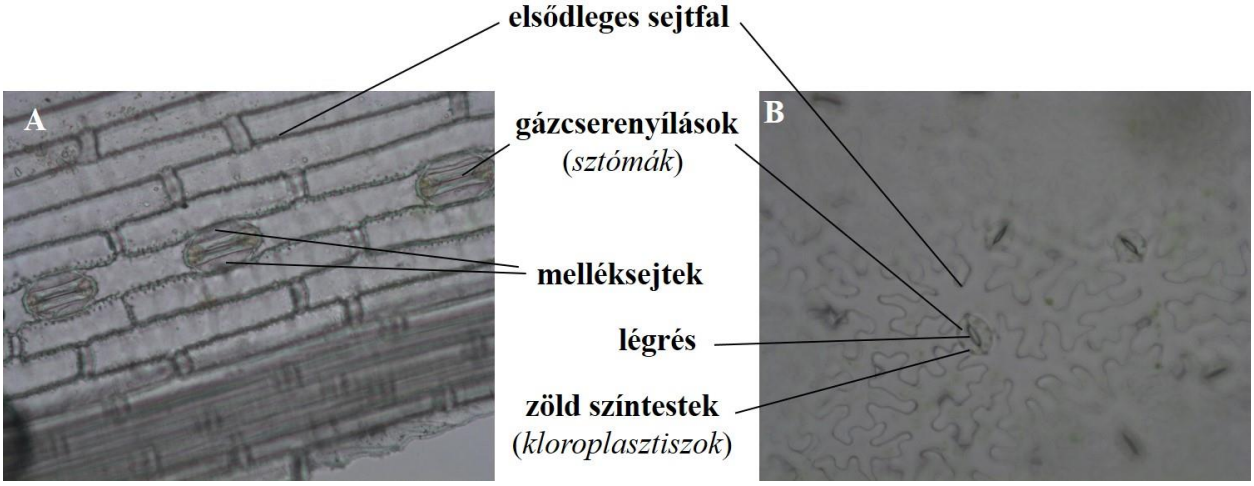
3.3.3. Az elsődleges bőrszövet (epidermisz) sejttani sajátosságai

Az elsődleges bőrszövet (epidermisz) sejtjei általában **egy sejtréteget alkotnak és szorosan illeszkednek.** A **kétszikűek sejtjei sokszögletűek, az egyszikűek sejtjei négyszögletűek** és hosszanti irányban megnyúltak. A sejtek **sejtfala elsődleges**, de **rárakódhat viasz és kutin**, vagy belerakódhat lignin (pl. sásfajok) és kova (pl. zsurlók). A sejtek **nagy, központi sejtnedvvel telt üreggel** (vakuólum) **rendelkeznek,** melyben lehet színes sejtnedv (pl.

antociánok a virágok sziromleveleiben). **A sejtekben nincsenek zöld színtestek. Az epidermisz sejtjeit a gázcserenyílások szakítják meg.**

3.3.4. A gázcserenyílások (sztómák)

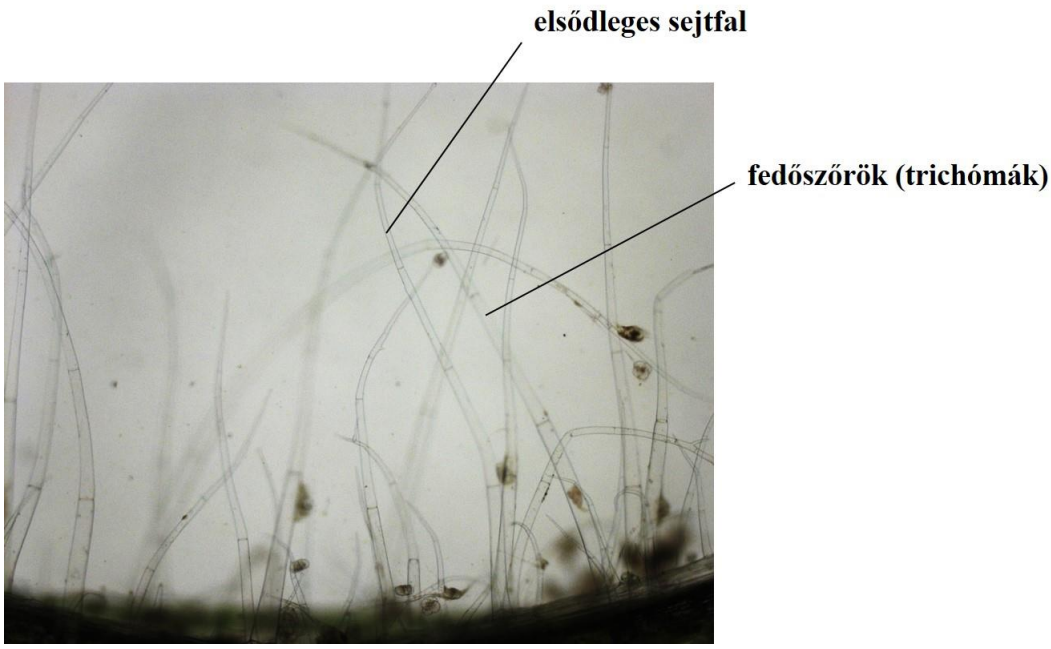
A hajtás elsődleges bőrszövetének sejtjei között találhatóak a **gázcserenyílások**, melyek **két zárósejtből** (kétszikűeknél babszem alakú, az egyszikűeknél súlyzó alakú), a zárósejtpár alkotta **légrésből** és esetlegesen **melléksejtekből** (számuk növényfajra jellemzően változó) **állnak** (3.7. ábra). Sejttani sajátosságuk, hogy a zárósejtek **belső sejtfala egyenlőtlenül megvastagodott**, és a sejtek **zöld színtesteket tartalmaznak**. A gázcserenyílások **feladata a gázcsere (szén-dioxid felvétele, oxigén leadása)** és a **párologtatás (vízgőz leadása) szabályozása**. A zárósejtek **működését (nyitódás-záródás) belső jelek** (pl. stressz-hormonok) és a **külső környezet** (pl. felkelő nap fénye) is **szabályozzák**. A **légrésnyitottságát** elsősorban a **kálium zárósejten belüli koncentrációja és az azt követő víz passzív mozgása szabja meg**. **A sztómák elhelyezkedése a levélen változatos, fajra jellemző**, például besüllyedhet a szárazságtűrő növényeknél, kiemelkedhet a vízinövényeknél. Lehet a levél fonákján és/vagy színi oldalán. Lehetnek csoportokban, szórtan (kétszikűek) vagy sorokban, rendezetten (egyszikűek).



3.7. ábra: Az egyszikű angolperje (*Lolium perenne*) és a kétszikű paradicsom (*Solanum lycopersicum*) elsődleges bőrszövetében található súlyzó (A) és babszem alakú (B) zárósejtpár alkotta gázcserenyílások (*sztómák*), 400x és 100x

3.3.5. A növényi szőrök (trichómák)

A **növényi szőrök** (trichómák) (3.8. ábra) **az elsődleges bőrszövet sejtjeinek nyúlványai**, melyek **feladata a növények védelme** (pl. fedőszőrök), illetve **kapaszkodó** (pl. serteszőrök), **szaporító** (pl. repítőszőrök) és **kiválasztó szereppel** (pl. mirigyszőrök) is bírhatnak. A növényi szőrök **sejtfalába számos anyag rakódhat** (pl. mész merevíti a csalánszőrt).



3.8. ábra: Paradicsom (*Solanum lycopersicum*) szárának elsődleges bőrszövetén található fedőszőrök (*trichómák*), 50x

A növényi szőröket **csoportosíthatjuk fedőszőrökre** (védelem a felmelegedéstől és a túlzott párologtatástól, pl. keskenylevelű ezüstfa), **kapaszkodószőrökre** (pl. közönséges komló, ragadós galaj), **repítőszőrökre** (pl. gyermekláncfű) és **mirigyszőrökre** (pl. nagy csalán).

3.3.6. Feladatok

3.3.6.1. Hasonlítsd össze az egyszikű angolperje (*Lolium perenne*) és a kétszikű paradicsom (*Solanum lycopersicum*) elsődleges bőrszövetében található gázcserenyílások elrendeződését és sejttani jellegzetességeit!

3.3.6.2. Hasonlítsd össze különböző növények (pl. paradicsom, csalán, muskátli, levendula, komló, szarvasagancs páfrány) szárán vagy levelén található növényi szőrök alakját és méretét!

3.4. Az alapszövetek

3.4.1. Bevezetés

Az alapszövetek alkotják a növényi szervek nagyrészét. Általában kívülről **a bőrszövet borítja** őket, és **beléjük ágyazódnak a szállítószövetek**.

Az alapszöveteket **három csoportba** oszthatjuk: **valódi (parenchimatikus) alapszövetek**, **szilárdító (mechanikai) alapszövetek**, **kiválasztó (szekréciós) alapszövetek**.

3.4.2. A valódi (parenchimatikus) alapszövetek

A valódi alapszövetek sejttani sajátossága, hogy az őket felépítő **sejtek nagyjából egyforma átmérőjűek**, **elsődleges sejtfallal** rendelkeznek, **nagy, központi sejtnedvvel telt üreget**

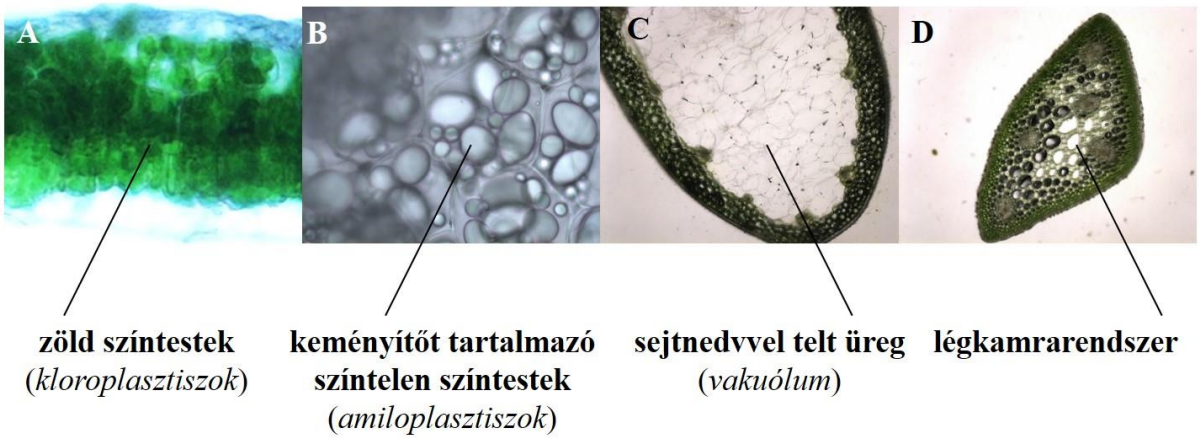
tartalmaznak, és **sejtközötti járatokban gazdagok**. Előfordulnak minden szervben (gyökér, szár, levél, virág, termés, mag), és a legfontosabb életműködések (fotoszintézis, légzés, raktározás) helyét biztosítják. A valódi alapszövetek lehetnek **táplálékkészítő (asszimiláló), raktározó, víztartó és átszellőztető alapszövetek** (3.9. ábra).

A **táplálékkészítő (asszimiláló) alapszövetre** jellemző, hogy sejtjei **zöld színtestekben gazdagok**, a sejtek lazán kapcsolódnak egymáshoz, **sejtközötti járatokban gazdag**, mely biztosítja a gázcserét és a fotoszintézist. A sejtek két típusa figyelhető meg: **oszlopos és szivacsos**. A táplálékkészítő alapszövet **elsősorban a levelekben** található, de fiatal, zöld szárban és termésben is előfordul.

A **raktározó alapszövet színtelen színtestekben (leukoplasztiszok) gazdag**, melyek főként keményítőt, fehérjét vagy zsírokat, olajokat tartalmaznak. **Fénytől elzárt növényi részekben (magvak, gumók, gyökerek) található** és tartalék tápanyagot biztosít.

A **víztartó alapszövet** jellemzője, hogy a sejtek **nagy, sejtnedvvel telt üreget tartalmaznak**, melyek **vízraktárként szolgálnak**. Általában **pozsgás növények hajtásában** (pl. *Aloe vera*, *Agave sp*.) található meg.

Az **átszellőztető alapszövet** jellemzője, hogy **sejtközi járatokban gazdag**, melyek **légkamrarendszert alakítanak ki**, elsősorban **vízi növények hajtásában** (pl. sárga vízitök), ezzel **csökkentve a fajsúlyt** a vízen történő lebegéshez és biztosítva a víz alatti részek sejtjeinek a **gázcseréjét**.



3.9. ábra: Táplálékkészítő (asszimiláló) alapszövet, A: kislevelű hárs (*Tilia cordata*) levélkeresztmetszetében, B: raktározó alapszövet burgonya (*Solanum tuberosum*) gumó keresztmetszetében, C: víztartó alapszövet *Aloe vera* levélkeresztmetszetében, D: átszellőztető alapszövet sárga vízitök (*Nuphar lutea*) levélnyél keresztmetszetében, 50x és 100x

3.4.3. A szilárdító (mechanikai) alapszövetek

A **szilárdító (mechanikai) alapszövetek** szerepe a szilárdítás, a növényi szervek tartása a nehézségi erővel szemben. Két típusa az **élő** és a **holt**.

Az élő típus sejtjei elsődleges sejtfallal rendelkeznek, mely helyenként részlegesen megvastagszik (pektin halmozódik fel), de nem fásodik el (nincs lignin berakódás).

A holt sejtekből felépülő típus sejtjei erőteljes sejtfalmegvastagodást mutatnak, a sejtek fala elfásodik (lignin rakódik be). A holt sejtek, növekedésre már nem képesek, és citoplazmát nem tartalmaznak. Ide tartoznak például a rostok.

3.4.4. A kiválasztó (szekréciós) alapszövet

A **kiválasztó (szekréciós) alapszövet** sejtjei gáznemű, folyékony vagy szilárd halmazállapotú anyagokat választanak ki. A kiválasztott anyagok **szolgálhatják a növények védelmét** (pl. kórokozók vagy korhadás ellen), más szervezetek **csalogatását** (pl. méhek) vagy éppen **távoltartását** (pl. hernyók).

A kiválasztás történhet a **növények felszínére** (pl. enyves anyagok, nektáriumok és illatkiválasztó képződmények), illetve a **test belsejébe** pl. gyantavezetékek (pl. fenyők) és tejcsövek (pl. gyermekláncfű) segítségével.

3.4.5. Feladatok

3.4.5.1. Hasonlítsd össze a különböző valódi (parenchimatikus) alapszövetek típusait kislevelű hárs (*Tilia cordata*) levélkeresztmetszetében, burgonya (*Solanum tuberosum*) gumó keresztmetszetében, *Aloe vera* levélkeresztmetszetében és sárga vízitök (*Nuphar lutea*) levélnyél keresztmetszetében! Figyeld meg a valódi (parenchimatikus) alapszöveteket felépítő sejtek alakját és méretét, valamint sejttani jellegzetességeiket!

3.5. A szállítószövet-rendszer

3.5.1. Bevezetés

A **szállítószövet-rendszer a hajtásos növényeknél jelenik meg**. Jellemzője, hogy **összetett szövetrendszer**, megtalálhatók benne szállító sejtek (fa- és háncselemek), emellett a valódi (parenchimatikus) alapszövet sejtjei és a szilárdító (mechanikai) alapszövet sejtjei (rostok a zárvaterműknél).

A szállító szövetek **feladata a tápanyagok, a víz és a benne oldott ionok (farész) és a szerves anyagok (háncsrész) szállítása**. Emellett azonban a növényi hormonok, sőt növényi vírusok is rajtuk keresztül jutnak el a távolabbi növényi részekbe. A szállítás mellett a farész szerepet játszik **a növényi test merevítésében**, a szervek tartásában.

A szállító szövetet alkotó sejtek nagy részére **jellemző, hogy a szállítás irányában megnyúltak, sejtfaluk megvastagodott** (farésznél elfásodott, lignifikálódott), **végfalaik ferdék**, mely a felületnövelést szolgálja a sejtek összekapcsolódásánál.

A szállító szövet két elemét különböztetjük meg: **farész és háncsrész.**

3.5.2. A farész

A **farész** (3.10. ábra) jellemzője, hogy a felépítésében részt vevő sejtek kifejlődött formájukban **nem tartalmaznak citoplazmát**, az általuk **kialakított cső üregét a szállítandó víz tölti ki.** A **sejtek sejtfala másodlagosan erőteljesen megvastagodott, elfásodott** (lignin rakódik be). Két

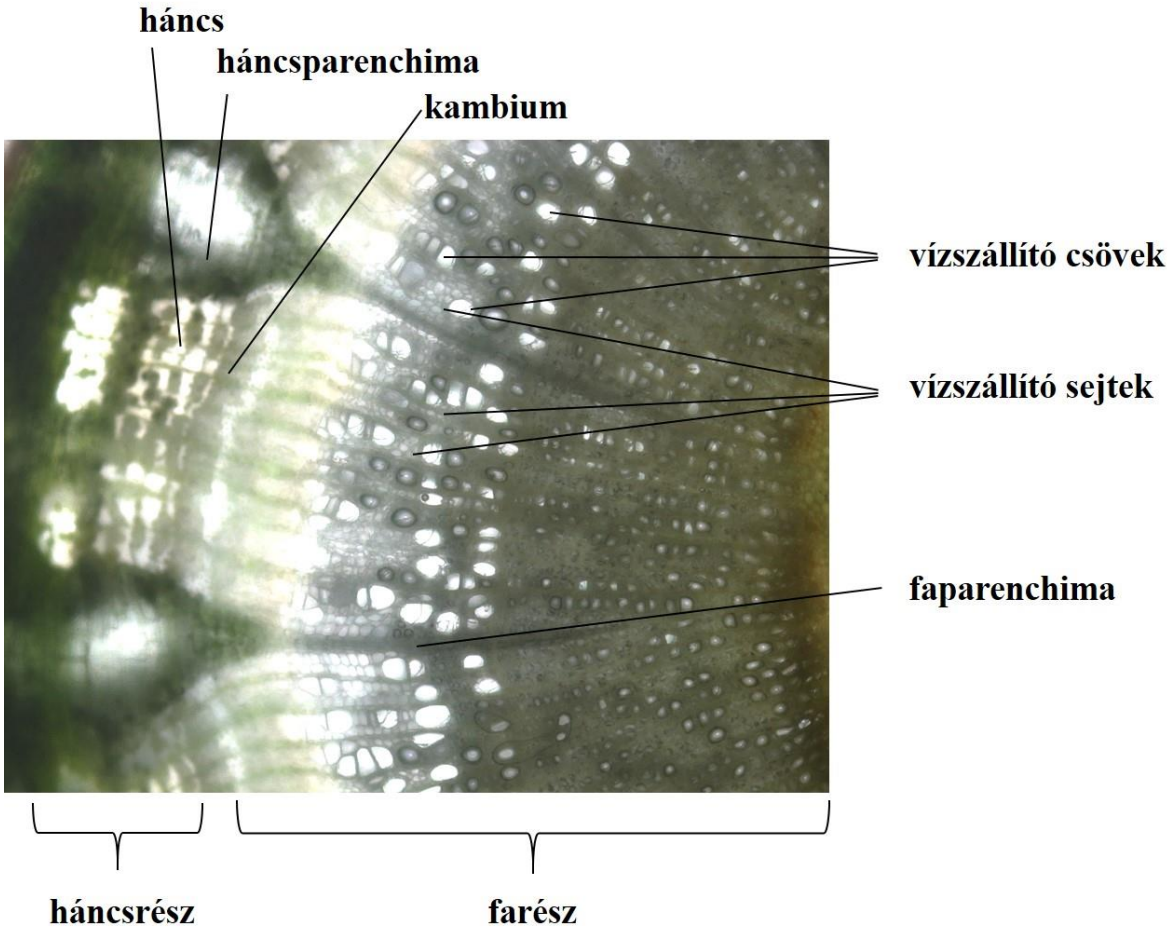
fő sejttípust különböztethetünk meg: **vízszállító sejteket és vízszállító csőtagokat.** Mellettük valódi alapszöveti sejtek és szilárdító alapszöveti sejtek is találhatóak.

A **vízszállító sejtek** a nyitvatermőkre (pl. erdei fenyő) és zárvatermőkre (pl. kocsányos tölgy) is jellemzőek, a sejtek erősen megnyúltak, végük elvékonyodó, hegyes.

A **vízszállító csövek** a zárvatermőkben fordulnak csak elő, a sejtek kevésbé megnyúltak, de átmérőjük vastagabb a vízszállító sejtekhez képest; végükön ferde a végfal, mely átlyuggatódik vagy felszívódik, összefüggő vízoszlopot kialakítva működésük közben.

3.5.3. A háncsrész

A **háncsrész** (3.10. ábra) jellemzője, hogy a felépítésében részt vevő sejtek többsége kifejlődve **citoplazmával rendelkező élő sejt** (csak a háncsrostok holt sejtek). **Vékony, másodlagosan megvastagodott sejtfallal rendelkeznek, mely nem fásodik el** (lignin nem rakódik be a sejtfalba). **A háncsrész feladata a szerves anyagok szállítása**. Két fő sejttípus különböztethető meg: **rostasejtek és rostacsőtagok**. Mellettük szintén találhatóak valódi alapszöveti sejtek és szilárdító alapszöveti sejtek is.



3.10. ábra: A szállítószövet-rendszer kislevelű hárs (*Tilia cordata*) ágkeresztmetszetében, 50x

A **rostasejtek** vékony, a szállítás irányába megnyúlt, kihegyesedő végű sejtek, melyek végfala ferde. Sejtfaluk másodlagosan nem fásodik el (lignin nem rakódik be a sejtfalba). Összekapcsolódásuknál a citoplazma átnyúlik egyik sejtből a másikba.

A **rostacsövek** a zárvatermőkben fordulnak csak elő. A rostacsőtagok kevésbé megnyúltak, de átmérőjük vastagabb a rostasejtekhez képest, végükön ferde a végfal, mely nem szívódik fel, de citoplazmaszálak húzódnak át rajtuk (rostalemez) a szomszédos rostacsőtagba.

3.5.4. Feladatok

3.5.4.1. Hasonlítsd össze a szállítószövetek felépítését és sejttani jellegzetességeit kislevelű hárs (*Tilia cordata*) ágkeresztmetszetében!

3.6. A gyökér

3.6.1. Bevezetés

A növények, az állatokhoz és emberekhez hasonlóan, a testfelépítésükhöz szükséges anyagokat a külső környezetből veszik fel. A növények elsősorban szervetlen anyagokkal táplálkoznak, ellentétben az állatokkal, amelyek főként szerves anyagokat fogyasztanak. A szárazföldi hajtásos növények számára a táplálék forrása a talaj és a levegő. A talajból a víz és a benne oldott ásványi anyagok a gyökérzeten keresztül jutnak a növényekbe. A növények gyökérzete lehet főgyökérrendszer vagy mellékgyökérrendszer.

3.6.2. A gyökérzónák

A gyökér definíció szerint általában **a növény földalatti tengelyszerve**, melynek **feladata a növény rögzítése, valamint a víz és a benne oldott ásványi sók felvétele és szállítása**, bizonyos **tápanyagok raktározása** (pl. keményítő) **vagy szintézise** (pl. alkaloidok). A gyökér **öt fő zónára osztható**, melyek különböző funkcióval bírnak: **osztódási zóna, megnyúlási zóna, felszívási zóna, szállítási zóna, elágazási zóna** (3.11. ábra).

A **gyökércsúcs** sejtjei gyorsan osztódva fejlesztik ki a gyökeret. A gyökércsúcsot **kívülről a gyökérsüveg védi**. Ennek külső része elnyálkásodhat, melynek köszönhetően csökken a talajszemcsék által okozott súrlódás mértéke, így segíti a gyökér növekedését és az osztódó szövet védelmét. A folyton pusztuló külső réteget belülről az osztódó szövet sejtjei pótolják. A sejtekben gyakran keményítőszemcsék találhatóak, melyeknek szerepük van a gravitáció érzékelésében és a gyökér térbeli növekedésének irányításában. A gyökérsüveg alatti rész az **osztódási zóna**, ahol a sejtek az osztódó szövetek sejttani sajátosságait mutatják: a sejtek szorosan, hézagmentesen illeszkednek egymáshoz. A sejtek mérete kicsi, alakja szögletes. Emellett az itt látható sejtek elsődleges sejtfallal és nagy sejtmaggal rendelkeznek.

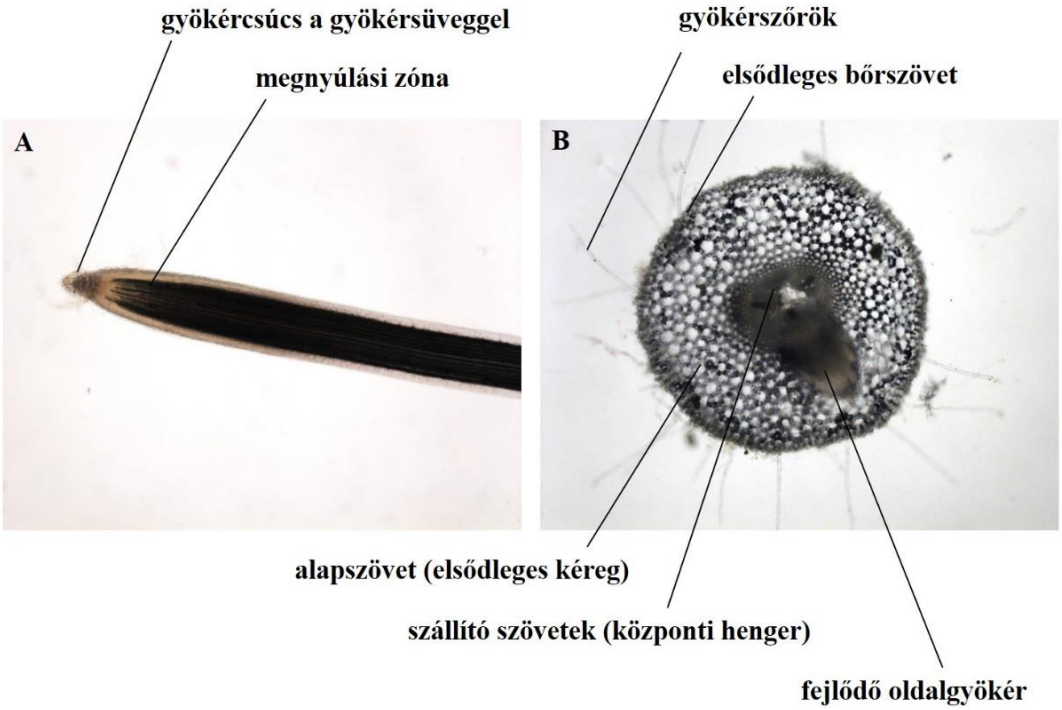
A **megnyúlási zóna** sejtjei az osztódási zónából lefűződő sejtek, melyek hosszanti irányban megnyúltak. Az itt található sejtek szorosan, hézagmentesen illeszkednek egymáshoz, sejtfaluk elsődleges. Ebben a zónában már megfigyelhető az állandósult szövetek kezdeti kialakulása. Kívülről az elsődleges bőrszövet burkolja a gyökeret, alatta alapszövet (**elsődleges**

kéreg), a szerv közepén (központi henger) pedig kötegekbe tömörülve a szállítószövet (fa- és háncsrész) elemei helyezkednek el.

A **felszívási zónában** a bőrszövet egyes sejtjei vékony falú, felületnagyobbító nyúlványokat, azaz gyökérszőröket fejlesztenek, melyek kulcsszerepet játszanak a víz és a benne oldott ásványi anyagok felvételében.

A **szállítási zónában** a gyökér közepén lévő szállító szövet fa részének sejtes elemei (**vízszállító sejtek és vízszállító csövek**) már teljesen kialakulva szállítják a többi szerv felé a felszívási zónában felvett vizet és a vízben oldott ásványi anyagokat.

Az **elágazási zónában** a főgyökérből oldalgyökerek alakulnak ki, úgy hogy azok keletkezése a gyökér közepén lévő szállító szövetet magába foglaló részből indul ki.



3.11. ábra: Veteménybors*ó* (*Pisum sativum*) felszívási zónájának gyökérkeresztmetszete, A: a gyökér zónái,50x, B: a gyökér szövettani felépítése, 100x

3.6.3. Gyökérmódosulások

A gyökér fő feladatai mellett (tápanyagfelvétel és -szállítás, rögzítés) bizonyos növényeknél más működést is végezhet, mely kapcsán alakjában is módosulhat. Ilyenek például a **raktározó gyökerek** (pl. cukorrépa, cukor raktározása), **gyökérgümők** (pl. szója, szimbiózis nitrogénkötő baktériumokkal), **léggyökerek** (pl. orchideák, a pára hasznosítása), **koronagyökerek** (pl. kukorica, a növény támasztása), **kapaszkodó léggyökerek** (pl. a borostyán hajtáseredetű gyökerei), **légzőgyökerek** (pl. mocsárciprus, a gyökerek levegőztetése a vizes talajban), **szívógyökerek** (pl. aranka, a gazdanövény szállító szövetéhez kapcsolódik).

3.6.4. Feladatok

3.6.4.1. Figyeljd meg a gyökér zónáit, és elemezd a gyökér szövettani felépítését a veteményborsó (*Pisum sativum*) felszívási zónájának gyökérkeresztmetszetében!

3.7. A szár

3.7.1. Bevezetés

A növények leveles szárát hajtásnak nevezzük. A hajtás tengelye a szár, függelékei a levelek. A szár összekapcsolja a gyökereket a levelekkel, rajta keresztül történik a különféle tápanyagok szállítása, és egyben a növényi test tartóvázát is adja. A szár általában függőlegesen felfelé növekszik. A hajtás fiatalkori alakja a rügy, melyben a csúcsi osztódó szövet (merisztéma) hozza létre a hajtás szöveteit. Szöveti felépítése alapján a szár két típusát különböztethetjük meg: **lágy (elsődleges) és fás (másodlagos) szár.**

3.7.2. A lágy (elsődleges) szár szerkezete

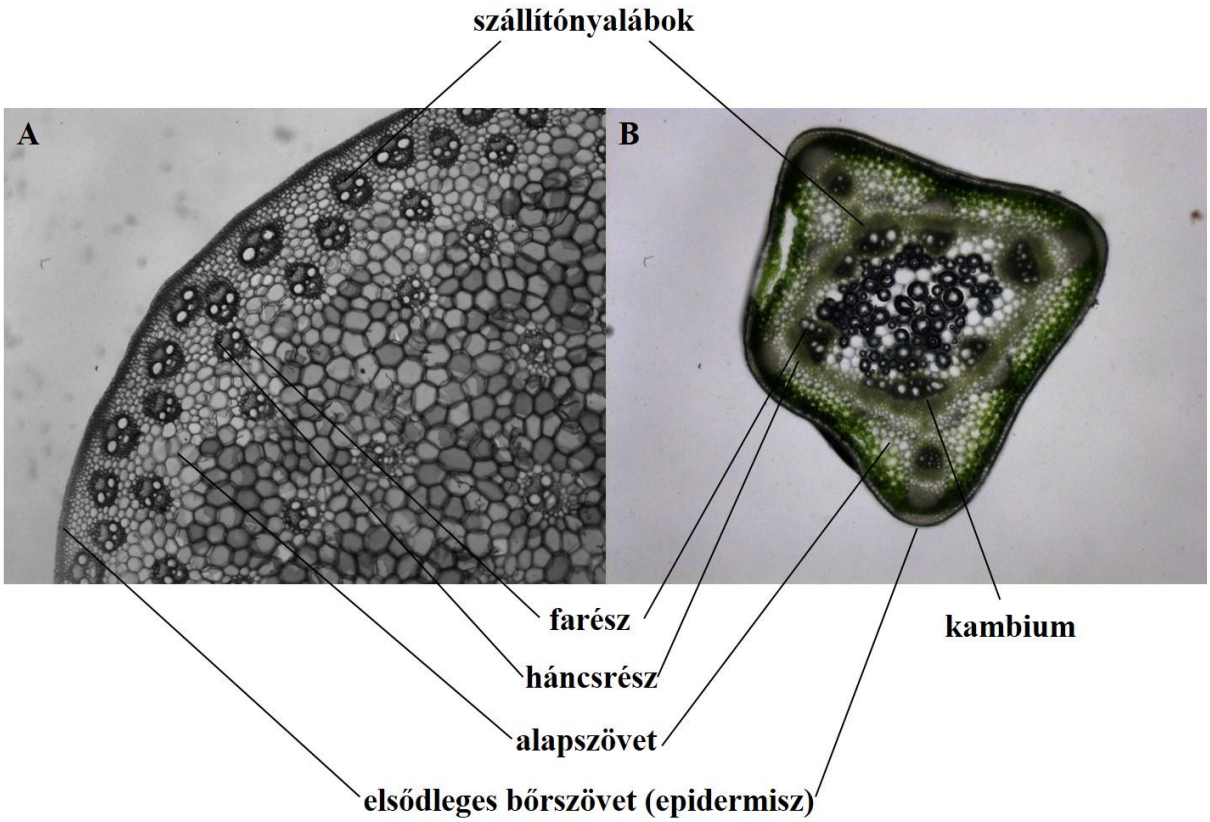
A hajtástengely, vagyis a szár a gyökérhez hasonlóan, alapvetően **három szövettájra tagolódik: bőrszövet, alapszövet (elsődleges kéreg) és szállítószövet (központi henger).**

A lágy (elsődleges) szár felületét az elsődleges bőrszövet takarja a maga függelékeivel (pl. növényi szőrök) (3.12. ábra). A bőrszövet sejtjei rendszerint a szár hossztengelyének irányába **megnyúltak**, általában **egy sejtréteget alkotnak és szorosan illeszkednek.** A sejtek **sejtfala elsődleges**, de **rárakódhat viasz és kutin**. A sejtek **nagy, központi, sejtnedvvel telt üreggel rendelkeznek.** A bőrszövet sejtjeit **gázcserenyílások szakíthatják meg.**

Az **alapszövetet (elsődleges kéreg)** felépítő **sejtek nagyjából egyforma átmérőjűek**, **elsődleges sejtfallal** rendelkeznek és **nagy központi sejtnedvvel telt üreget** tartalmaznak.

Az **elsődleges kéreg** külső sejtsorai **zöld színtesteket tartalmaznak**, amik az elsődleges szár színét adják. A mélyebben fekvő alapszövetbe ágyazódnak a **szállító szövet (fa- és háncsrész)** elemei.

A **szállító szövet (fa- és háncsrész)** elemei együttesen **szállítónyalábokba tömörülnek** és beágyazódnak az **alapszövetbe (elsődleges kéreg).** A nyalábokban a szerves anyagokat szállító **háncsrész a szár közepe felé**, a vizet és a benne oldott ásványi anyagokat szállító **farész a bőrszövet felé**, kifelé helyezkedik el. Az **egyszikű növények szárában** ezek a szállítónyalábok **szórtan**, míg a **kétszikű növények szárában körkörösen** helyezkednek el. További különbség lehet, hogy a kétszikű növények szállítónyalábjaiban a **háncs- és a farész között vagy van kambium (nyílt szállítónyaláb)**, **vagy nincs (zárt szállítónyaláb).** A kambium (osztódó szövet) a szár vastagodását teszi lehetővé azáltal, hogy az évek alatt befelé újabb fa-, kifelé pedig újabb háncselemeket hoz létre.



3.12. ábra: A lágy (elsődleges) szár szövettani felépítése, szárkeresztmetszet, A: kukorica (*Zea mays*), 50x, B: veteményborsó (*Pisum sativum*), 50x

3.7.3. A fás (másodlagos) szár szerkezete

A **fás (másodlagos) szár** a többéves növényekre jellemző, ahol **a kambium összefüggő hengerpalásttá záródik, és kialakul az ún. kambiumgyűrű** (3.13. ábra). A kambiumgyűrű évenkénti osztódással befelé új faelemeket, kifelé pedig új háncselemeket képez. A fagyűrűk összességét **fatestnek**, míg a háncselemekből álló részt **háncstestnek** nevezzük.

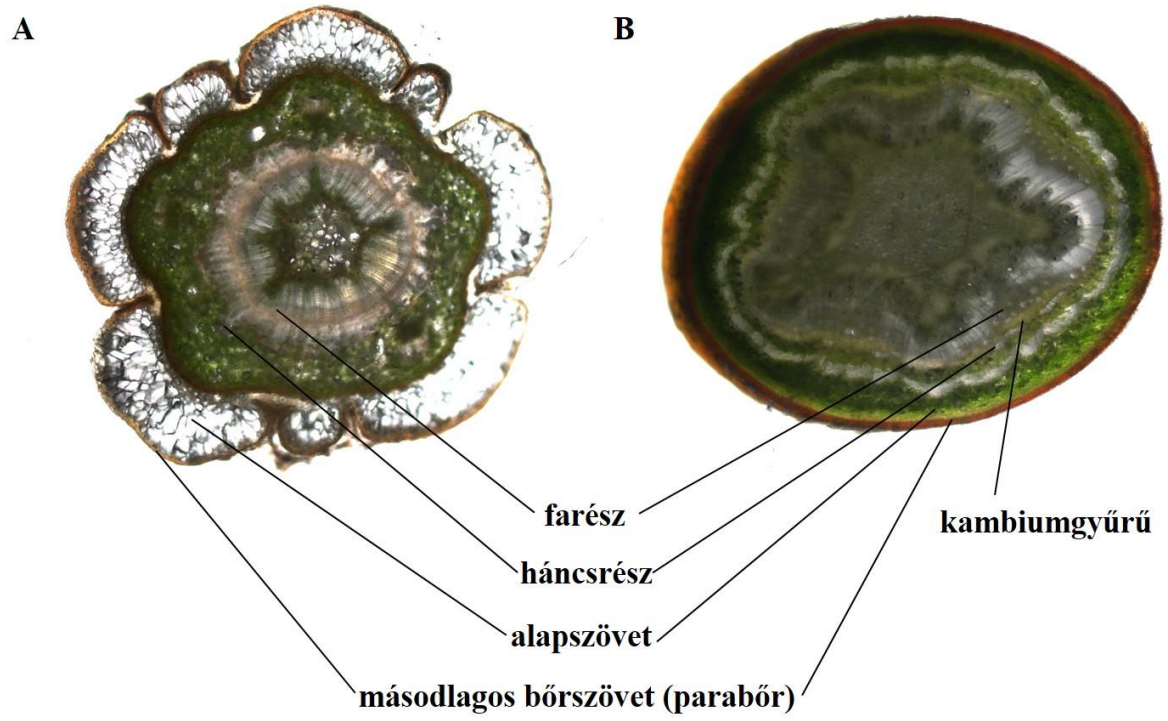
A **fatest** kialakulása az éghajlati körülményeknek és az évszakoknak megfelelően szakaszos. Tavasszal a nagy vízigény miatt nagyobb átmérőjű és vékonyabb falú faelemek (vízszállító sejtek és csövek) képződnek (világosabb rész – tavaszi pászta), míg ősszel, amikor az életfolyamatok lelassulnak, kisebb átmérőjű és vastagabb sejtfalú faelemek (vízszállító sejtek és csövek) jönnek létre (sötétebb rész – őszi pászta). Télen a kambium osztódása általában szünetel. Az egy évben kialakult faelemek együttesen **évgyűrűt** alkotnak, melyek száma alapján megállapítható az adott növényi rész (fatörzs, ág) életkora. A többéves fatest két részre osztható: a **geszt** a belső, sötétebb rész, mely már nem működik, míg a **szíjács** a külső, még működő vízszállító faelemek-alkotta világosabb rész.

A **háncstest** kifelé néz, és a fatesthez képest sokkal vékonyabb szövetréteg. A kambium ugyanis kevesebb háncselemet (rostasejtek és rostacsövek) hoz létre a működése során, melyek

az évek során összenyomódnak, elzáródnak és működésük megszűnik. A háncselemek csupán egy-két évig működnek.

Az **alapszövet** a fás szárban általában csupán pár sejtsorra korlátozódik, ezeknek azonban szerepük lehet a tápanyagok haránt irányú elosztásában, raktározásában vagy a belső szövetek szellőztetésében.

Az **elsődleges bőrszövet** az évek során megvastagszik és **elfásodik** (lignin rakódik be a sejtfalba), létrehozva a **másodlagos bőrszövetet** (parabőr). A többéves (másodlagos) fás szárnál a **másodlagos bőrszövet** (parabőr) **összenő a háncselemekkel,** és létrejön az ún. **harmadlagos bőrszövet** (héjkéreg), mely megvédi a növényt a vízvesztéstől, a külső károsító környezeti hatásoktól és korokozóktól, valamint rendszertani (adott fajra jellemző) határozó bélyeggel is bír.



3.13. ábra: A fás (másodlagos) szár szövettani felépítése, fiatal ágkeresztmetszet, A: lucfenyő (*Picea abies*), 50x, B: kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*), 50x

3.7.4. Hajtásmódosulások

A fő szártípusok (fás szár: fatörzs, cserjeszár, pálmatörzs; lágy szár: szalmaszár, nádszár, palkaszár, tőszár, tőkocsány, dudvás szár) mellett megkülönböztethetünk módosult **föld feletti** (pozsgás szár, kacs, tövis, sarjgumó, sarjhagyma) és **földbeni** (gyöktörzs, tarack, gumó, hagyma, hagymagumó) hajtásokat is.

3.7.5. Feladatok

3.7.5.1. Figyeld meg és hasonlítsd össze a lágy (elsődleges) szár szövettani felépítését egyszikű kukorica (*Zea mays*) és kétszikű veteménybors ó (*Pisum sativum*) szárkeresztmetszetében!

3.7.5.2. Figyeld meg és hasonlítsd össze a fás (másodlagos) szár szövettani felépítését nyitvatermő lucfenyő (*Picea abies*) és zárvatermő kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) fiatal ágának keresztmetszetében!

3.8. A levél

3.8.1. Bevezetés

A levél hasonló szövetekből épül fel, mint a szár, de eltérő funkciójának megfelelően (szervesanyag-képzés, gázcsere és párologtatás) a szöveti elrendeződése más. A levelet a viszonylag **nagy felület** (fény begyűjtése), a **gazdag sejtközötti járatrendszer** (gázcsere biztosítása), a **zöld színtestekben gazdag** táplálékkészítő (asszimiláló) alapszövet túlsúlya (fotoszintézis helye) és a **másodlagos sejtfalvastagodás hiánya** (általában egyéves szervek) jellemzik.

3.8.2. A lomblevél szöveti felépítése

A lomblevél általában **levélalapra** (ezzel illeszkedik a szárhoz), **levélnyélre** (szállítószövetek futnak benne) és **levéllemezre** tagolódik.

A levéllemez általában vékony és nagy felületű (fény begyűjtése), melynek felső, zöldebb oldala a **levél színe**, míg a levéllemez másik oldala, mely világosabb, a **levél fonáka**. Mindkét oldalt **elsődleges bőrszövet (epidermisz)** védi. Az **elsődleges bőrszövet** sejtjei általában **egy sejtréteget alkotnak és szorosan illeszkednek.** A sejtek **sejtfala elsődleges**, de **rárakódhat viasz és kutin**, mely védi a növényt a vízvesztéstől. A sejtek **nagy, központi sejtnedvvel telt üreggel rendelkeznek**. **A sejtekben nincsenek zöld színtestek**. **Az epidermisz sejtjeit a gázcserenyílások szakítják meg.**

Az alsó (fonák) és felső (színi) bőrszövet között helyezkedik el a **táplálékkészítő alapszövet**, melyre jellemző, hogy sejtjei **zöld színtestekben gazdagok**, a sejtek lazán kapcsolódnak egymáshoz, és **sejtközötti járatokban gazdag** szövet, mely biztosítja a gázcserét és a fotoszintézist. A sejtek két alakja figyelhető meg: **oszlopos és szivacsos** (3.14. ábra).

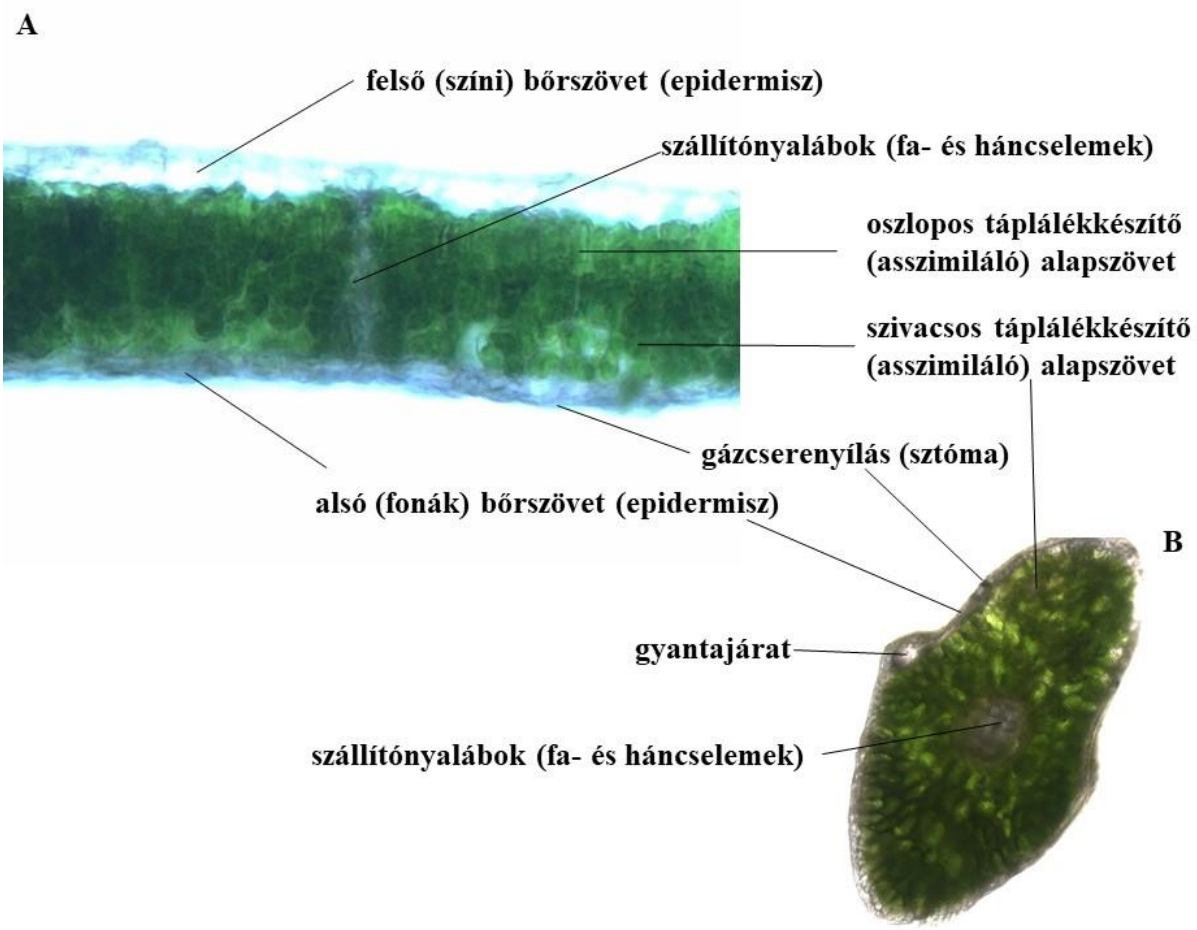
A **táplálékkészítő alapszövetbe** ágyazódnak bele a **szállítónyalábok**, melyek farésze a levél felső (színi), míg háncsrésze a levél alsó (fonák) része felé néz.

3.8.3. Levélmódosulások

A fő levéltípusok (sziklevelek, allevelek, lomblevelek, fellevelek) mellett a környezethez történő alkalmazkodás következtében további módosulások is létrejöttek: levéltövis (pl. sóskaborbolya), pálhatövis (pl. fehér akác), levélkacs (pl. veteménybors ó), rovarfogó levél (pl. harmatfű).

3.8.4. Feladatok

3.8.4.1. Elemezd és hasonlítsd össze a levél szövettani felépítését és a szöveteket alkotó sejtek sejttani jellegzetességeit a zárvatermő kislevelű hárs (*Tilia cordata*) és a nyitvatermő lucfenyő (*Picea abies*) levélkeresztmetszetében!



3.14. ábra: Levélkeresztmetszet, A: kislevelű hárs (*Tilia cordata*), 100x, B: lucfenyő (*Picea abies*), 50x

3.9. A virág

3.9.1. Bevezetés

A virág a hajtással közel megegyező képződmény, **korlátolt növekedésű, törpe szártagú, módosult leveleket hordozó, szaporító hajtás**. Zárvaterműknél a hím és női ivarsejtek képződése történhet egy virágban (**kétivarú virág**; pl. mák, káposzta) vagy külön virágban (**egyivarú virág**). Az egyivarú virág lehet **porzós vagy termős.** Ha ezek egy egyeden vannak, akkor **egylaki növénynek** (pl. dió, mogyoró), ha viszont az egyik növényegyeden csak termős, a másikon pedig csak porzós virágok találhatóak, akkor **kétlaki növénynek** (pl. fűz, kender) nevezzük. Ha az ivarlevelek hiányoznak vagy fejletlenek, **meddő (sterilis) virágról** beszélünk (pl. napraforgó fészekvirágzatának perem- vagy sugárvirágai).

A zárvatermők virágainak különféle levelei a **virágtengelyen** ülnek. A virágtengely a hosszúra nyúlt alsó részből, a **kocsányból** és a rövid szártagú, rendszerint kiszélesedő felső részből, a **vacokból** áll, melyből közvetlenül erednek a takarólevelek. A **takarólevelek (csésze és sziromlevelek)** védik az **ivarleveleket (porzó és termő)**, és a rovarokkal való párhuzamos törzsfejlődés és alkalmazkodás során gyakran színes, „rovarcsalogató” levelekké váltak. A

takarólevelek lehetnek különálló csésze- és sziromlevelek (pl. cseresznye) vagy egyneműek, azaz lepellevelek (pl. tulipán).

3.9.2. A csészelevél

A csészelevelek a kettős virágtakarójú virágok legkülső takarókörét alkotják. **Általában zöld színűek**, köszönhetően a bennük lévő zöld színtesteknek, melyek funkciója a fotoszintézis. Ugyanakkor **lehetnek színesek is** a színes színtesteknek köszönhetően, például a „paprikavirág" (*Salvia splendens*) csészelevelei, melyeknek a rovarok vonzásában van szerepe. A csészelevelek **állhatnak szabadon** (pl. mályvafélék), **vagy összeforrhatnak** (pl. pettyegetett tüdőfű)**, vagy módosulhatnak** akár repítőkészülékké (pl. gyermekláncfű), sarkantyúvá (pl. szarkaláb) vagy tokszerű álterméssé (pl. zsidócseresznye).

3.9.3. A sziromlevelek

Pártának nevezzük a sziromlevelek összességét, melyekre jellemző, hogy **általában színesek** (a sejtnedvvel telt üregekben felhalmozódó festékanyagoknak (antociánok), ritkán színes színtesteknek köszönhetően) vagy fehérek (levegővel teli sejtközötti járatok, melyek befolyásolják a fényvisszaverést). A sziromlevelek bőrszövete **papillás,** melynek szerep van a fénytörés befolyásolásában és ez által a rovarok csalogatásában. Általában a sziromlevelek **vékony rétegű szivacsos alapszövetet** tartalmaznak (3.15.A ábra). A sziromlevelekben gyakran **illatkiválasztó képződmények** is vannak, melyek a rovarok csalogatásában és ez által a növények beporzásában és szaporodásában játszanak szerepet. A sziromlevelek lehetnek **szabadon** (pl. rózsa)**,** vagy **összeforrhatnak** (pl. harangvirág).

3.9.4. A lepel

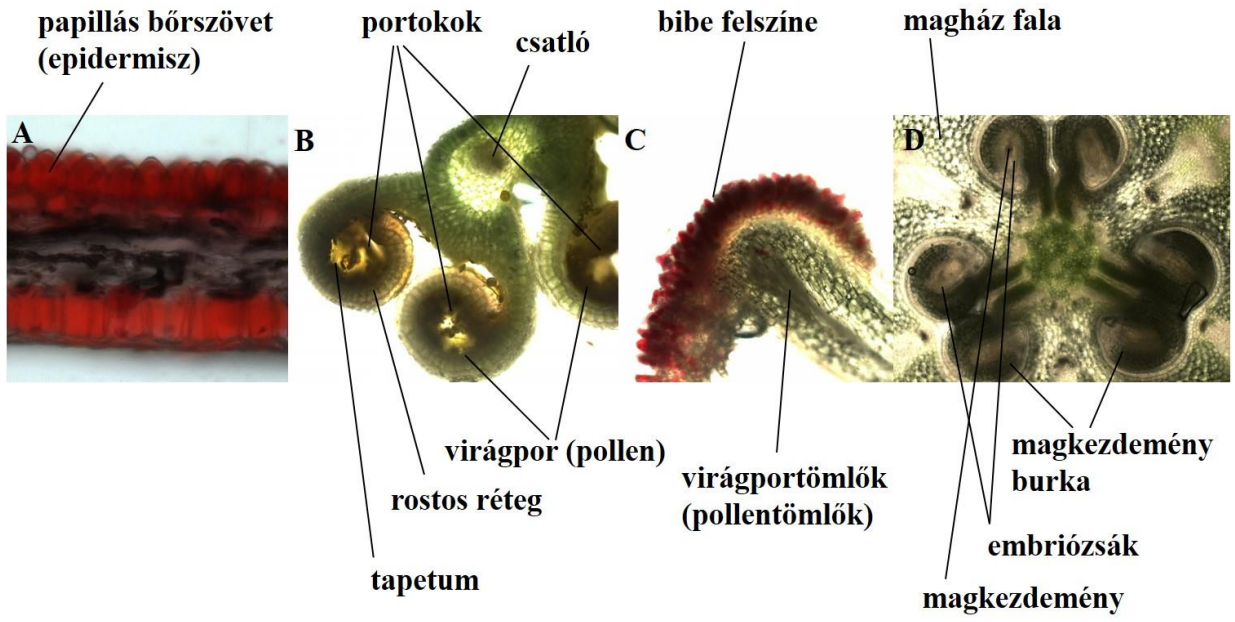
Ha **a csésze és a sziromlevelek (párta) nem különülnek el**, **egynemű takarólevelekről** beszélünk, melyet **lepelnek nevezünk.** A lepel az **egyszikűekre jellemző.** A lepellevelek általában **színesek**, de lehetnek **zöld színűek vagy fehérek** is. Lehetnek **szabadok** (pl. tulipán) vagy **forrtak** (pl. májusi gyöngyvirág).

3.9.5. A porzó

Az ivarlevelek külső körét a virágban a **porzók** alkotják, melyek a vékony **porzószálból** és a virágport (pollen) tartalmazó **portokból** épülnek fel. A portok két **portokfélből** áll, melyekben **két-két pollenzsák** foglal helyet (3.15.B ábra). Ezekben a pollenzsákokban képződik a **virágpor**, melyben a **hímivarsejtek** találhatóak. A két portokfelet a **csatló** köti össze, melyben a szállítószövet elemei (fa- és háncselemek) szabadon végződnek. A portok **alapszövetet tartalmaz**, **kívülről elsődleges bőrszövet veszi körül**, azonban alatta az ún. „rostos réteg" található, melynek speciális létrás sejtfal megvastagodása lehetővé teszi a pollenzsákok felnyílását a vízvesztést követő zsugorodás hatására. A portokok falát speciális szövet (*tapetum*) alkotja**,** mely részt vesz a pollenek képződésében.

3.9.6. A termő

A zárvatermők termőlevelének **felső része a bibe** (3.15.C ábra), melyen megtapad a virágpor, középső megnyúlt része a **bibeszál**, melybe tömlőt hajt a pollen, és alsó része zárt, üreges, melyet **magháznak** (3.15.D ábra) nevezünk. A **magházban vannak a magkezdemények**, melyeknek része a **magkezdemény burka és az embriózsák**. Az ún. **8 sejtes embriózsákban található a petesejt a 2 segítősejttel, középen a 2 központi sejt és a petesejttel átellenes oldalon a 3 ellenlábas sejt.** Az ún. **kettős megtermékenyítés** során a pollennel érkező két hímivarsejt megtermékenyíti egyrészt a petesejtet, melyből a magban az új csíranövény fejlődik, másrészt a központi sejtek és a másik hímivarsejt egybeolvadásával létrejön a mag táplálószövete, míg a magkezdemény burkából alakul ki a maghéj. A zárvatermőknél a **magházból lesz a termésfal.**



3.15. ábra: Tearózsa (*Rosa odorata*) sziromlevél keresztmetszete (A) és fehér liliom (*Lilium candidum*) portok keresztmetszete (B), bibe keresztmetszete (C) és magház keresztmetszete (D), 50x

3.9.7. Feladatok

3.9.7.1. Hasonlítsd össze a csésze- és sziromlevél szövettani felépítését és a szöveteket alkotó sejtek sejttani jellegzetességeit tearózsa (*Rosa odorata*) virágában!

3.9.7.2. Vizsgáld meg a fehér liliom (*Lilium candidum*) porzóját, és írd le a portok szövettani felépítését!

3.9.7.3. Vizsgáld meg a fehér liliom (*Lilium candidum*) termőjét, és írd le a bibe és a magház szövettani felépítését!

3.10. A mag

3.10.1. Bevezetés

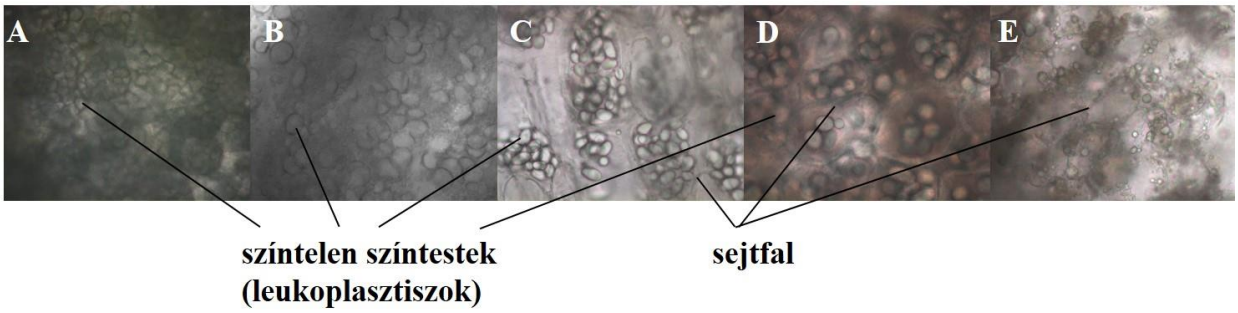
A mag az **embrió (csíra) táplálását és védelmét biztosító szerv**, mely a nyitvatermőknél jelenik meg. Az embrió a pollenszemben található hímivarsejt által **megtermékenyített petesejtből (zigóta) fejlődik ki** az embriogenezis során. A növény fejlődésének első lépése tehát az embriogenezis, mely során az egysejtű **zigóta (megtermékenyített petesejt)** osztódásokat követően soksejtű embrióvá alakul át, amely elemi formában a növény elsődleges testének már számos alapvető tulajdonságát hordozza. Az embriogenezis a zárvatermők esetében **a magházon belül a magkezdeményekben játszódik** le és a magképződés része. Az osztódásokat követően kialakul a zárvatermő csíra (embrió), amelynek részei a gyököcske, rügyecske, az egy vagy két sziklevél és az azok alatti vagy feletti szár.

3.10.2. A maghéj

A maghéj **a magkezdemény burkából alakul ki** a megtermékenyítést követően és a mag védelmét szolgálja. A maghéj elfásodhat (pl. szőlő), lehet színes és elhúsosodhat (pl. gránátalma) vagy éppen elnyálkásodhat (pl. paradicsom). A magon különböző függelékek is előfordulhatnak, mint például a hangyakalács, mely zsírokat és fehérjéket tartalmaz és a magok hangyákkal történő terjesztését segíti elő.

3.10.3. A csíra (embrió)

A kettős megtermékenyítés során **az egyik hímivarsejt és a petesejt egybeolvadásával létrejön a zigóta**, amelyből kifejlődik a csíra, vagyis a növényi embrió. Az embrió részei a gyököcske, rügyecske, az egy vagy két sziklevél és az azok alatti vagy feletti szár. Sok esetben a mag táplálószövete felhasználódik, és a sziklevél kitölti az egész magot (pl. bab). A sziklevelek tartalék tápanyagokat tartalmaznak, melyek **színtelen színtestekben** (3.16. ábra) halmozódnak fel a mag fejlődése során, elsősorban keményítő (amiloplasztisz), fehérje (proteinoplasztisz) vagy zsírok, olajok (elaioplasztisz) formájában, mely anyagok a csírázás során használódnak fel, és az első fotoszintetizáló levelek megjelenéséig biztosítanak táplálékot a növénynek.



3.16. ábra: Különböző magokban található csíra (embrió) szikleveleinek színtelen színtestjei (*leukoplasztiszok*), A: kukorica (*Zea mays*), B: búza (*Triticum aestivum*), C: veteményborsó (*Pisum sativum*), D: veteménybab (*Phaseolus vulgaris*), E: közönséges dió (*Juglans regia*), 50x

3.10.4. A táplálószövet

A kettős megtermékenyítés során **az egyik hímivarsejt és a két központi sejt egybeolvadásával létrejön a mag táplálószövete.** Tartalék tápanyagok lehetnek a keményítő (pl. kukorica), fehérjék (pl. búza) és zsírok, olajok (pl. dió).

3.10.5. Feladatok

10.5.1. Hasonlítsd össze a különböző növények (pl. kukorica, búza, veteményborsó, veteménybab, közönséges dió) magjának maghéját és táplálószövetét! Figyeld meg a táplálószövet változását a magok csírázása előtt és a csírázást követően!

3.11. A termés

3.11.1. Bevezetés

A termés kizárólag a **zárvatermőknél jelenik meg**, mely **a magvak védelmét és terjesztését szolgálja**. **A termés a termőből fejlődik ki**. A termés része a termésfal, mely a magházból alakul ki.

A termés kialakításában részt vevő **virágok száma szerint** megkülönböztethetünk **egyszerű és csoportos terméseket**. A termés a termésképzésben részt vevő **virágrészek** (csak a termő vagy mellette más virágrészek is részt vesznek a termés kialakításában, pl. vacok) alapján lehet **valódi termés és áltermés** (pl. alma)**. A termésfal a magok érése során kiszáradhat (száraztermés) vagy víztartalma megmaradhat (húsos termés).** A termések elkülöníthetők az alapján, hogy a magvak érését követően **a termésfal felreped (felnyíló termések) vagy nem reped fel (zárt termések).**

3.11.2. A termésfal

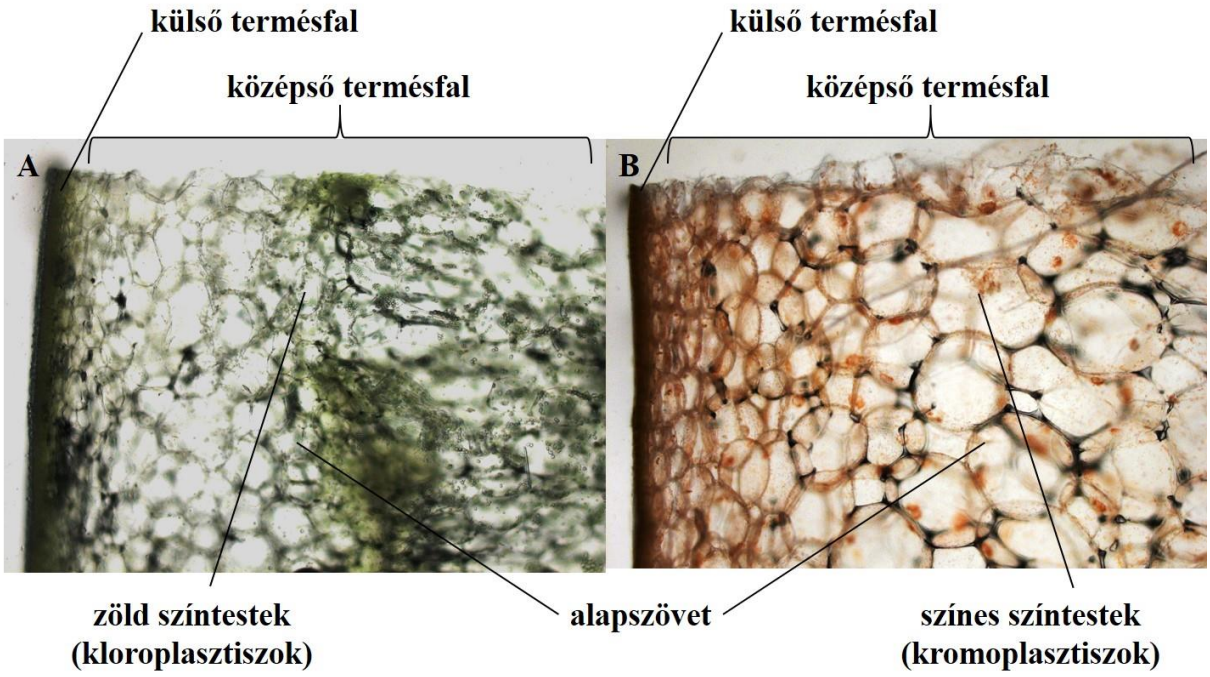
A magházból kialakuló **termésfal három részre osztható** (3.17. ábra). A **legkülső rétegre** jellemző, hogy pár sejtsor vastag, a sejtek szorosan illeszkednek és gyakran viasszal (pl. szilva) vagy szőrrel borítottak (pl. őszibarack). A termésfal **középső részét** több sejtsoros alapszövet alkotja, melynek sejtjeiben a sejtnedvvel telt üregekben ízanyagok és cukor halmozódik fel, és a sejtek gyakran színes színtesteket tartalmaznak, melyek a termés (benne a mag) állatokkal történő terjesztését szolgálják. A termésfal középső részében előfordulhat szilárdító alapszövet is (pl. körte). A **termésfal belső része** elnyálkásodhat (pl. paradicsom), elfásodhat (pl. csonthéjas termések) vagy akár lédús szőrökké is fejlődhet (pl. citrom).

3.11.3. Mag- és terméster jedési módok

A mag- és terméster jedés történhet a **gravitáció** által (pl. alma), **szél** által (pl. gyermekláncfű), **víz** által (pl. kókuszdió) és az **állatok** szőrébe (pl. erdei gyömbérgyökér) vagy az állatok emésztőrendszerébe kerülve (pl. vörös ribiszke).

3.11.4. Feladatok

3.11.4.1. Vizsgáld meg és hasonlítsd össze a különböző érési stádiumban (zöld-sárga-piros) lévő paradicsom (*Solanum lycopersicum*) bogyótermése termésfalának felépítését, a sejtek méretét és a szövetek sejttani jellegzetességeit!



3.17. ábra: Paradicsom (*Solanum lycopersicum*) bogyótermésének termésfalkeresztmetszete, A: érettlen, B: érett, 50x

3.12. A feladatok megoldásai

A gyakorlati feladatok önellenőrzéséhez a fejezet ábraanyaga ad támpontot.

3.13. Felhasznált és ajánlott irodalom

Gracza P (2004) Növényszervezettan. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest

Haraszthy Á (1998) Növényszervezettan és növényélettan. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest

Laskay G, Mihalik E (2008) Növényi sejtbiológia I. JATEPress, Szeged

Mihalik E, Nyakas A, Kálmán K, Nagy E (1999) Növényanatómiai Praktikum. JATEPress, Szeged

Taiz L, Zeiger E (2010) Plant Physiology, 5. Edition. Sinauer Associates Inc., Sunderland, MA, USA

4. AZ EMBER CSONTVÁZRENDSZERÉNEK FEJLŐDÉSI RENDELLENESSÉGEI

4.1. A fejlődési rendellenesség fogalma

A fejlődési rendellenesség legtöbbször használt fogalma még napjainkban is a születéskor észlelhető morfológiai és/vagy funkcionális rendellenességekre vonatkozik, vagyis fejlődési rendellenességeknek azokat az embrionális élet során bekövetkező defektusokat nevezzük, amelyek nem esnek a normál anatómiai variánsok kategóriájába, s az egyénre nézve valamilyen (esztétikai, funkcionális stb.) hátránnyal járnak. Ehhez hasonló, bár már kicsit tágabb megfogalmazást használ a VRONY (Veleszületett Rendellenességek Országos Felügyelete és Nyilvántartása): A veleszületett rendellenességek (*congenitalis* anomáliák) a magzati életben genetikai és/vagy külső környezeti tényezők hatására kialakuló alaki (morfológiai), biokémiai vagy működési (funkcionális) zavarok, amelyeket a születéskor (vagy *prenatalisan* vagy születés után) észlelnek. Az egyedfejlődés azonban a születéssel nem ér véget, így fejlődési hibák később is megjelenhetnek, egészen a felnőttkorig. A gyermekkorban megjelenő hibák eredete részben visszavezethető a magzati korban történt hibás fejlődésre, de lehetnek olyan teratogén faktorok, amelyek a *perinatalis* (születés előtti) időszakot, vagy éppen a *postnatalis* (születés utáni) fejlődés első időszakát érintik. A morfológiai elváltozások általában látványosak, legtöbbször születéskor valóban észlelhetők, de a funkcionális teratogén hatások bármelyik életszakaszban megjelenhetnek. A fejlődési rendellenességgel kapcsolatos fogalmakat tehát tágítani kell, s kevésbé hangsúlyozni a veleszületett vagy az embrionális korban szerzett (*congenitalis*) jelleget.

4.2. A csontvázrendszert érintő fejlődési rendellenességek kialakulásának okai

Fejlődési rendellenesség bármely szervrendszernél, egyszerre akár többnél is megjelenhet. A csontvázrendszert érintő fejlődési rendellenességek kialakulása a csontképződés, a csontok fejlődésének, illetve kapcsolódásának zavarára vezethető vissza. Ilyenkor abnormális alakú csontok, csonthiányok vagy éppen számfeletti csontocskák, rendellenes csontkapcsolatok jelennek meg, amelyek fellelhetők a koponyán és a vázon egyaránt. Ezt a hibás fejlődést a genetikai és a környezeti háttér egyaránt meghatározhatja. **Genetikai ok** lehet a génekben, kromoszómákban bekövetkező spontán mutáció. Ebben az esetben nagy valószínűség szerint az adott fejlődési rendellenesség dominánsan vagy recesszíven öröklődni fog generációkon keresztül. A genetikai háttér megváltozása jelentős szerepet játszik például a *polydactylia,* a kétoldali dongaláb és más csontrendszeri fejlődési rendellenesség kialakulásában. Ezek a jellegek már közvetlenül a szülőket követő generációban is megjelenhetnek. Egy másik tényező a **környezeti hatás**. Ilyen például a hiányos táplálkozás, bizonyos anyagok (pl. alkohol, kábítószerek, egyes gyógyszerkészítmények) fogyasztása, mechanikai ingerek (oxigénhiány), illetve a mikrobiális fertőzések. Az anya életkora is meghatározó lehet, mert 20 év alatti és 35 év feletti terhesség esetén nagyobb az esély bizonyos fejlődési hiba bekövetkezésére. Sok esetben azonban a fejlődési rendellenességek kialakulása nem vezethető vissza egyértelműen csak

genetikai vagy csak környezeti tényezőre, hiszen a genetikai változások legtöbbször éppen a fent említett környezeti hatásokra jönnek létre. A csontosodási magok megjelenésének idejét elsősorban öröklött tényezők határozzák meg, de a csontnövekedés sebessége ezzel szemben sok külső tényezőtől is függ. Helyesebb tehát azt a következtetést levonni, hogy mind a genetikai háttér megváltozása, mind pedig bizonyos környezeti hatások (vagyis belső és külső tényezők) egyaránt szerepet játszanak egy-egy fejlődési rendellenesség kialakulásában. Okozhatnak egyesülési hibákat, a csontosodási centrumok túlműködését, a fejlődés részleges vagy teljes hiányát és abnormális alakú csontfejlődést. Vannak olyan fejlődési rendellenességek, amelyek ritkán jelennek meg, esetleg csak szindrómák részeként fordulnak elő, de a fejlődési anomáliák többségének születéskori gyakorisága 1 ezrelék felett van (pl. Down-kór, szájpadhasadék).

4.2.1. A gyógyszerek magzatkárosító hatása

A gyógyszerek betegtájékoztatóján ma már szinte kivétel nélkül szerepel, hogy terhesség alatt szedhetőek-e. Ez azonban régen nem volt így. Megközelítőleg 60-70 évvel ezelőtt még senki nem gondolta, hogy egy olyan közönséges gyógyszer, mint egy enyhe nyugtató vagy lázcsillapító kárt tehet a fejlődő magzatban. 1957. október elsején került piacra a Contergan elnevezésű, talidomid hatóanyagú nyugtató. Angliában Distavel néven hozták forgalomba, és kifejezetten terhes nőknek szánták a hányinger megszüntetésére. A gyógyszer 46 országban terjedt el, de nem sokkal később ezekben az országokban titokzatos magzati fejlődési rendellenesség jelent meg. Az újszülöttek 50%-a (Németországban közel 12000 gyerek) születés után pár hónappal meghalt, mert létfontosságú szervei voltak csökevényesek. Akik életben maradtak, azok között a végtagok hiánya vagy csökevényes formája volt a legfeltűnőbb, de ez hallás és/vagy látás károsultsággal is társulhatott. Később rájöttek a thalidomin és a csökevényes szervek közötti összefüggésre, és 1962-ben kivonták ezt a vegyületet tartalmazó gyógyszereket a forgalomból.

4.2.1.1. Kérdések és feladatok

4.2.1.1.1. Nézz utána a Contergan tragédiának, és válaszolj a következő kérdésekre!

- Magyarországot hogyan érintette az eset?
- Használják-e ma is a szert?

4.2.1.1.2. Nézz utána, hogy milyen gyógyszerkészítmények szedhetők terhesség esetén! Az információk birtokában játszatok szituációs játékot!

A szituációban szerepel a beteg és a tanácsadó orvos. A beteg felteszi a gyógyszerekkel kapcsolatos kérdését, az orvosnak pedig meg kell válaszolnia. Néhány példa, hogy milyen kérdéseket lehet feltenni:

- 6 hetes terhes vagyok és belázasodtam, Nurofent szeretnék bevenni, mert az szokott használni, de most nem merem. Bevehetem-e?
- 24 hetes kismama vagyok, és elkezdődtek este a gyomorégések, de már olyan erősek, hogy nem tudok aludni se. Mit csináljak?

- Cukorbeteg vagyok, inzulint kell injekcióznom minden nap. Arra gondoltunk, hogy itt az ideje a gyerekvállalásnak, de szeretném tudni, hogy adhatom-e továbbra is az inzulint magamnak, vagy valami más szerrel helyettesíteni kell gyerekvállaláskor?
- Az elmúlt héten szinte minden reggel erős hányingerrel ébredtem. Lehet, hogy terhes vagyok, de lehet, hogy nem, mert a teszt ugyan negatív, de előfordulhat, hogy mégis egy baba miatt vagyok rosszul. Szeretném megkérdezni, hogy bevehetek-e hányáscsillapítót?

4.2.2. A dohányzás, az alkohol és a kábítószerek magzatkárosító hatása

A terhesség előtti és alatti dohányzás befolyásolja a magzat fejlődését és a szülés kimenetelét, az anya és magzat állapotára egyaránt negatív hatást gyakorol. A várandósság előtti rendszeres dohányzás kimutathatóan csökkenti a termékenységet, a várandósság alatti dohányzás pedig növeli a szülészeti komplikációk számát. Összehasonlító vizsgálatok bizonyítják, hogy a dohányosok körében jóval magasabb a koraszülések száma, és az újszülöttek testtömege kisebb. Gyakrabban fordul elő placentaprobléma és idő előtti burokrepedés. A magzatoknál gyakrabban jelentkezik az *intrauterin* sorvadás, növekszik a különböző fejlődési rendellenességek, halvaszületések és számos csecsemőkori megbetegedés gyakorisága.

A terhesség alatti kábítószer és/vagy alkoholfogyasztás nagymértékben károsíthatja a magzatot. A túlzott mértékű alkoholfogyasztás hatására kialakulhat a magzati alkoholszindróma, melynek jellegzetes tünetei a növekedésbeli lemaradás, a koponya- és arcdeformitások, valamint az idegrendszeri károsodások, amikhez az esetek zömében súlyos szívfejlődési rendellenesség is társulhat. A terhesség alatt történő kábítószer-fogyasztás a legkisebb mennyiségben is súlyos következményekkel járhat fizikailag és mentálisan egyaránt. Következménye általában a vetélés, halvaszülés, légzési nehézségek, *intrauterin* sorvadás és a különböző fejlődési rendellenességek magas arányszáma. A fizikai függőséget okozó szereknél az újszülött is függő, ezért nagyon nehéz az ellátása, a szerről való leszoktatása.

4.2.2.1. Kérdések és feladatok

4.2.2.1.1. Állapítsd meg a következő állításokról, hogy igazak vagy hamisak! Válaszod indokold meg!

- A dohányfüst az első trimeszterben hat leginkább a baba egészségére.
- A terhesség alatti dohányzás következtében a farkastorok, nyúlszáj, szívfejlődési zavarok megjelenésének kockázata is nőni fog.
- A terhesség alatt dohányzás helyett inkább nikotinpótló készítményeket, tapaszokat használjunk, mert az nem hat károsan a magzati fejlődésre.
- A terhesség alatti marihuána fogyasztása károsan hat a magzat idegrendszeri fejlődésére, memória problémákat okozhat.

4.3. A csontvázrendszert érintő fejlődési rendellenességek előfordulási gyakorisága

4.3.1. Nagyrasszok szerinti megoszlás

A különböző fejlődési rendellenességek az egyes nagyrasszokban (rasszokban) eltérő gyakorisággal fordulnak elő. Az ajak- és szájpadhasadék a mongolidoknál kétszer olyan gyakori, mint az europidoknál, a negrideknél pedig alig fordul elő. Az *anencephalia* ezzel szemben az europidoknál kétszer olyan gyakori, mint a mongolidoknál vagy a negrideknél. A dongaláb előfordulásában szintén az europid rassz a legérintettebb, a mongolidoknál és a negrideknél elenyésző a gyakorisága.

4.3.2. Nemek szerinti megoszlás

A legtöbb fejlődési rendellenesség esetén a nemek közötti gyakorisági adatok hasonlóak, nem találunk jelentős eltérést. Vannak azonban olyan rendellenességek, amelyek a fiúkat vagy lányokat érintik nagyobb %-os arányszámban. A szájpadhasadék (*palatoschisis*) a lányoknál gyakoribb, és nagy arányszámban családi halmozódás figyelhető meg. Az ajakhasadék melletti szájpadhasadék viszont inkább fiúk esetében alakul ki gyakrabban. A dongaláb a fiúknál, míg a csípőficam a lányoknál gyakoribb.

4.3.3. Történeti korok szerinti megoszlás, megítélés

A fejlődési rendellenességek minden korban megjelentek. Szobrok, festmények, leírások, egyéb műalkotások őrzik a nyomát annak, hogy adott történeti időszakban milyen rendellenesség fordult elő, illetve a társadalom hogyan viszonyult azokhoz az emberekhez, akik fejlődési rendellenességgel születtek. Az ókori Egyiptomban nem jelentett társadalmi hátrány, de Kínában sorsukra hagyták az újszülötteket, Mezopotámiában és Spártában pedig megölték őket.

4.3.4. Kérdések és feladatok

4.3.4.1. Keress minél több olyan műalkotást, amelyeken fejlődési rendellenességet ábrázoltak az alkotók! Az eredmények birtokában töltsd ki a táblázatot!

A mű fajtája	A mű címe	A mű alkotója	Az ábrázolt fejlődési rendellenesség

4.4. A csontvázrendszert érintő fejlődési rendellenességek vizsgálati módszerei

A csontanyagok vizsgálatánál elsősorban makroszkópos-morfológiai megfigyeléseket végzünk. Ennek alapja, hogy látszik-e az adott csonton szabad szemmel is elváltozás, és ha igen, akkor milyen jellegű, alakú vagy nagyságú. A jelleg paraméterei alapján azonosítható, hogy milyen típusú megbetegedésről van szó (fertőzés eredménye, törés következtében alakult ki, táplálkozási

eredetű hiánybetegség vagy fejlődési rendellenesség). Amennyiben ez a vizsgálat nem tudja egyértelműen azonosítani azt, hogy fejlődési eredetű hibáról van szó, akkor kiegészítésképpen végezhető röntgen- vagy CT-vizsgálat is. Egyes monogénes öröklődésű jellegek esetén DNS-analízissel lehet megerősíteni a makroszkóposan felállított diagnózist.

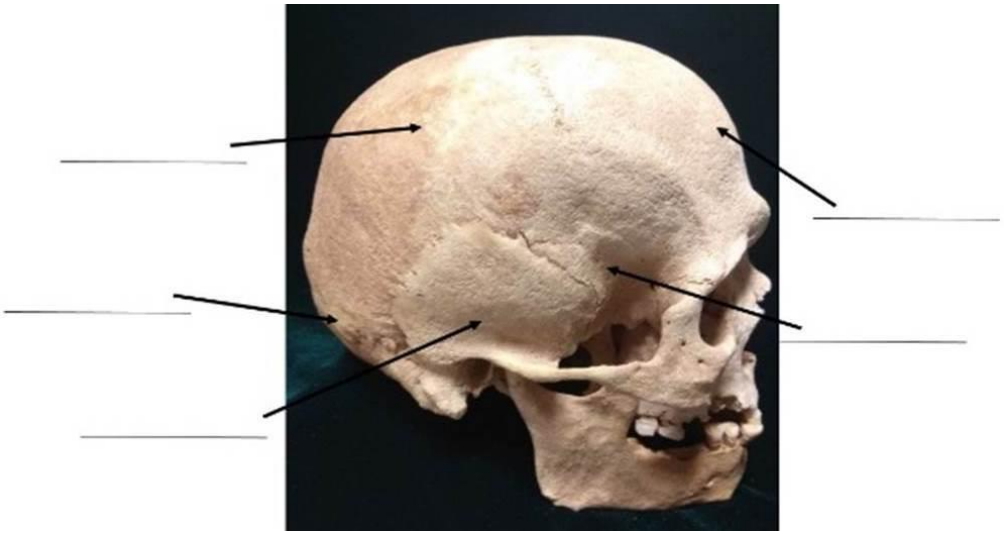
4.5. A koponya fő részei és a koponyát érintő fejlődési rendellenességek

4.5.1. Az agykoponya felépítése

Az agykoponya felső része a koponyatető (*calvaria*), melynek csontjai védelmezik az agyat a külső hatásokkal szemben. Csontjainak többségét lapos csontok képezik. Ezeknél két vékony csontréteg között különböző vastagságú szivacsos csontállomány van. Az agykoponya csontjai varratosan ízesülnek egymáshoz. Hét csontja közül a halántékcsont (*os temporale*) és a falcsont (*os parietale*) páros, míg a homlokcsont (*os frontale*), az ékcsont (*os sphenoidale*) és a nyakszirtcsont (*os occipitale*) páratlan csontok. Legnagyobb csontja a **falcsont**, amely hátul két oldalról fogja közre az agyat. Ennek a csontnak minden irányban vannak varratos kapcsolatai, mivel négy széle és négy szöglete van. A koronavarrattal (*sutura coronoidea*) a homlokcsonthoz, a lambdavarrattal (*sutura lambdoidea*) a nyakszirtcsonthoz, a pikkelyvarrattal (*sutura squamosa*) a halántékcsonthoz kapcsolódik. A nyílvarrat (*sutura sagittalis*) a két falcsont közötti kapcsolatot biztosítja. A **nyakszirtcsont** az agykoponya hátsó részén található, befelé homorú, trapéz alakú csont. Alsó részén egy nagy ovális nyílás található (ez az öreglyuk), amelyen keresztül kapcsolatba kerül a koponya ürege a gerinccsatornával. Az **ékcsont** (*os sphenoidale*) a koponya alapi részén ékelődik a többi koponyacsont közé. Alakja repülő bogárhoz vagy denevérhez hasonlít. Két pár szárnya, teste és előre, illetve lefelé irányuló nyúlványai vannak. Testének belső felületén helyezkedik el a töröknyereg (*sella turcica*), melybe az agyalapi mirigy, a hipofízis illeszkedik. Az ékcsont mögött helyezkedik el a **halántékcsont** (*os temporale*).

4.5.1.1. Kérdések és feladatok

4.5.1.1.1. A fenti leírás alapján keresd meg a képen az agykoponya csontjait! Írd a vonalra a magyar és a latin megnevezésüket!



4.5.2. Az agykoponya fejlődési rendellenességei

4.5.2.1. Kisfejűség (*microcephalia*)

Az agy alulfejlettsége okozza, amely kialakulhat *cytomegalovírus* vagy *toxoplasma* fertőzés, vegyszerártalom, vitaminhiány, sugárártalom (röntgen- vagy radioaktív sugárzás), etilalkohol, kábítószer hatására, valamint kisebb arányban lehet öröklődés következménye. A koponyacsontok mérete kisebb, mint normálisan, így a fejkerület is jelentősen az átlag alatt van (kb. 46 cm). Különböző súlyossági fokú szellemi visszamaradottsággal járhat együtt. A történeti embertani anyagban ritkán fordul elő. Általában a varratok teljes hiánya is megfigyelhető. A mikrokefália nem gyógyítható, ám a korai terápiák, beszéd- és egyéb fejlesztő foglalkozások segítenek a gyermek fejlődésében és az életminősége javításában.

4.5.2.2. Nagyfejűség (*macrocephalia*)

Ennél a rendellenességnél az agy mérete és súlya nagyobb a normális értéknél (1600 és 2800 g között van), így a koponya csontjai és a koponyakerület nagy lesz. A fejkörfogat nagyobb a 97-es percentilis értéknél. Legtöbbször nem jár együtt szellemi visszamaradottsággal. Nagyon nehéz megkülönböztetni a vízfejűségtől.

4.5.2.3. Vízfejűség (*hydrocephalia*)

A vízfejűség azt jelenti, hogy a normálisan is meglévő és termelődő agyvíz felszaporodik a koponyán belül, így az agykamrák kitágulnak. Mivel az agyvíz folyamatosan képződik, de vagy nagyobb mennyiségben, vagy az elfolyása akadályozott, a fej térfogata megnő. A felszaporodott folyadék az agyra káros nyomást gyakorol, így súlyos tüneteket is okozhat. 25%-ban fejlődési hiba okozza, de kiválthatja trauma, fertőzés, tumor vagy agyvérzés. A vízfejűség az egyik leggyakoribb születési rendellenesség, amely minden 500 újszülöttből egyet érint. A tünetek a gyermek életkorától és a kiváltó októl is függenek. Csecsemőknél a nagy, széles kutacs és fej, vékony koponyacsontok jellemzik. Kezeletlen esetben a fej térfogata extrém nagyságot is elérhet, s kezelés nélkül születés után pár éven belül halálhoz vezethet.

4.5.2.4. Varrat- és kutacscsontocskák

A koponyatető csontjainak első csontosodási gócai a 8. embrionális héten jelennek meg. A fejlődő csontok közötti szövetben másodlagos csontgócok jönnek létre, amelyek a csontszélek mentén összeköttetést biztosítanak két csont között. Ez megfelel a később kialakuló varratnak. A varratok mellett megjelenhetnek olyan csontmagvak, amelyekből varratcsontocskák keletkeznek. A varrat- és kutacscsontok a koponya teljes vastagságát átérik, így kívülről és belülről egyaránt láthatóak. Leggyakrabban a *sutura lambdoidea* mellett jelennek meg, de a *sutura coronalis* és a *sutara sagittalis* mentén is előfordulhatnak. Kialakulásuk 60-70%-ban genetikailag meghatározott, de a környezetnek is szerepe van a megjelenésükben, így másodlagos varratcsontocskák még a születés után is kialakulhatnak.

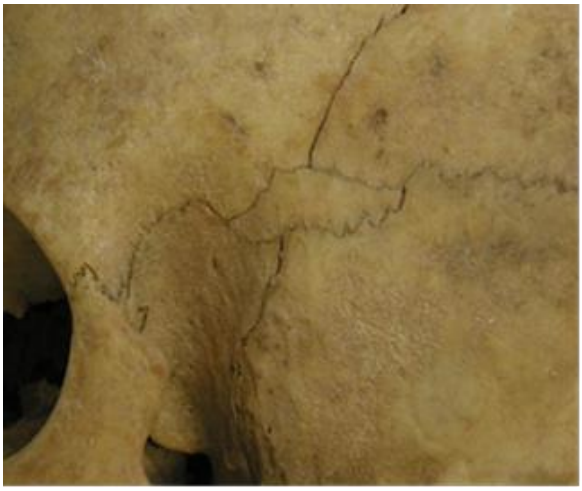
4.5.2.4.1. *Ossa suturae lambdoidea* (*ossa wormiana*, Worm csont)

A *sutura lambdoidea*-ban megjelenő egy vagy több varratcsontocska tartozik ebbe a kategóriába (4.1. ábra). A történeti embertani vizsgálatok során elég gyakran találkozunk velük, gyakoriságuk 7,24-39,47% között mozog. Az átlagtól eltérő értékek beilleszthetők a populációk variációs rátájába, és egy-egy különleges esetben extrém magas, akár 60% körüli értékekkel is találkozhatunk. A Worm csontok az egyes populációkban más és más helyen és alakkal fordulnak elő. A genetikai háttérnek nagy szerepe van a megjelenésben, ezért felhasználhatók populációk távolságának számításához.

4.1. ábra: *Ossa wormiana*

Hüllőkön, disznókon és bárányokon végzett kísérletek kimutatták, hogy a stressznek és más külső környezeti hatásnak is jelentős szerepe van a varratcsontocskák megjelenésében. A rendellenes koponyaformák esetén szignifikánsan több Worm csont jelenik meg. Ennek oka az lehet, hogy a fejlődési zavar több csontosodási, illetve csontnövekedési területet is érint. Napjainkban is fontos lehet tisztában lenni ezeknek a számfeletti varratcsontoknak a jelenlétével, mert egy esetleges fejsérülés felmerülésekor a diagnózis felállítása során könnyen összetéveszthetők a CT-felvételeken a depressziós törésekkel.

4.5.2.4.2. *Os epiptericum*

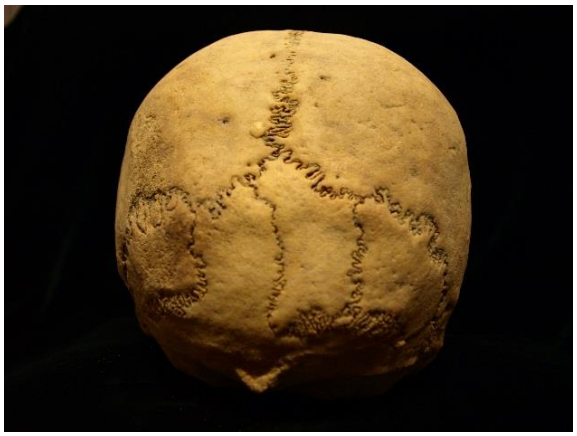


4.2. ábra: *Os epiptericum*

A falcsont, a homlokcsont, az ékcsont nagy szárnya valamint a halántékcsont pikkelye által határolt csont, melyet az elülső-oldalsó kutacsban létrejött járulékos csontosodási mag hoz létre. (4.2. ábra). Egyoldali és kétoldali előfordulása is megfigyelhető. Előfordulási gyakorisága 2,2-18,5% között változik.

4.5.2.4.3. *Os incae* (*os interparietale*, Inkacsont)

Az Inkacsont (*os incae, os interparietale*) egy számfeletti csont, ami a falcsontok között, az interparietális régióban alakul ki. Ennek az az oka, hogy több csontosodási központ jön létre ezen a területen, amelyek később nem egyesülnek, hanem szeparáltak maradnak. Az elnevezés az inka civilizációra utal, onnan ered, hogy az ősi perui leleteken igen magas arányban fordult elő ez a rendellenesség.



4.3. ábra: *Os incae* (többszörös, osztott forma)

Leggyakoribb típusa az egyedüli, nagy, háromszög alakú forma, de előfordul varratokkal kettéosztott, illetve három-, vagy sokfelé osztott forma (4.3. ábra). Megjelenési gyakorisága a különböző földrajzi területeken eltérő. Európában és Ázsia területén viszonylag ritkán, ezzel szemben Afrikában relatíve magas arányban fordul elő.

4.5.2.4.4. *Os apicis*

4.4. ábra: *Os apicis*

A sagittális és a lambda varratok találkozásánál, a kiskutacs helyén megfigyelhető csont. Az Inkacsonttól megkülönbözteti, hogy a varrat mindig jóval a két *asterion* fölött metszi a lambda varratot (4.4. ábra). Nagyon ritkán előforduló csontocska, megjelenési gyakorisága 1-3%. Az Inkacsonttól eltérően osztott, többszörös formái nem ismeretesek.

4.5.2.4.5. Kérdések és feladatok

4.5.2.4.5.1. Milyen furcsaságot látsz a képeken? Nevezd meg, hogy melyik csontot vagy varratot érinti a rendellenesség!

A. …… B. …….. C. ……

4.5.2.5. Varrathiányok, varratok idő előtti elcsontosodása

A varratok idő előtti (gyermekkori) záródásának jelenségét nevezik *craniosynostosis*-nak, amely lehet izolált, vagyis csak egy vagy néhány varratot érintő, illetve szindrómás, ami egy sokkal komplexebb, több szervet érintő elváltozás. Attól függően, hogy mely varratok záródnak és milyen sorrendben, különböző koponyaformák jöhetnek létre. A koponya deformitása alapján nem egyértelmű a diagnózis, mert a normálistól eltérő, esetleg torz koponyaforma lehet szülési trauma, illetve természetes vagy mesterséges koponyatorzítás eredménye. A **nyílvarrat** korai, szimmetrikus elcsontosodása vagy hiánya az egyik leggyakoribb varratrendellenesség. Minden 10000 újszülöttből 4-nél jelentkezik. A koponya alakja hosszú és keskeny lesz, így *scaphocephalia* (csónakfejűség) jön létre. Férfiaknál háromszor olyan gyakori, mint nőknél. A varrat aszimmetrikus hiánya *plagiocephalia*-t (ferdefejűség) alakít ki, melyre jellemző, hogy az érintett oldalon a koponya kevésbé széles, illetve hosszú. Ez a rendellenesség számos szindróma (Apert-szindróma, Crouzon-szindróma stb.) része lehet. A **koronavarrat** teljes hiánya *brahicephalia*-t (rövidfejűség) alakít ki. A koponya rövidebb, mint normál fejlődés esetén. A varrat aszimmetrikus hiánya a lambdavarrattal megegyezően ferdefejűséget hoz létre. A lambdavarrat teljes hiányában a nyakszirti régió magas és lapos lesz, ezáltal a koponya rövidebb, mint normális fejlődés esetén. A varrat aszimmetrikus hiánya ferdefejűséget hoz létre.

4.5.3. Az arckoponya felépítése

Az arckoponya csontjai a száj-, az orr- és a szemüreg kialakításában, valamint a rágás folyamatában vesznek részt. Három páratlan és hat páros csont alkotja. A rágásban részt vevő csontok közül a **felső állcsont** (*maxilla*) páros, tetraéder alakú csont, aminek teste és négy nyúlványa van. A test oldalai az arcüreget fogják közre. Felső fala a szemgödör fenekét adja, belső lemeze az orrüreg oldalsó fala. Az **állkapocscsont** (*mandibula*) eredetileg páros csont, ami legtöbb emlősben megmarad ilyennek az egyedfejlődés posztembrionális szakaszában is. Embernél szintén páros csont, ami az első év végéig teljesen összenő, s így páratlan csonttá alakul. Nagyon erős, és jellemzője, hogy mozgathatóan kapcsolódik a koponya többi részéhez. Vastagabb alsó részében helyezkednek el a fogmedrek. Az orr- és szemüreg kialakításában részt vevő csontok közül az **ekecsont** (*vomer*) páratlan, trapéz alakú csont, amely a csontos orrsövény részét képezi. Szintén páratlan csont a **rostacsont** (*os ethmoidale*), amely az orr felső részén

helyezkedik el, a két szemüreg között. Szivacsos felépítése miatt az egyik legkönnyebb csont. Az **orrcsont** (*os nasale*) az arckoponyából a homlokcsont alatt kiugró páros csont, amely az orrüreget felül két oldalról határolja. Az arckoponya egyik vékony, törékeny, az orrüreget oldalról határoló páros csontja a **könnycsont** (*os lacrimale*), amely a szemüreg közepén lévő szegélyéről ered. A **szájpadcsont** (*os palatinum*) nyomtatott nagy L betűhöz hasonlító páros csont, amely egy vízszintes és egy függőleges lemezből, valamint három nyúlványból áll. Kisebb páros csont még a **járomcsont** (*os zygomaticum*), ami a koponya oldalsó íveit képezi a szem alatti területen.

4.5.4. Az arckoponya fejlődési rendellenességei

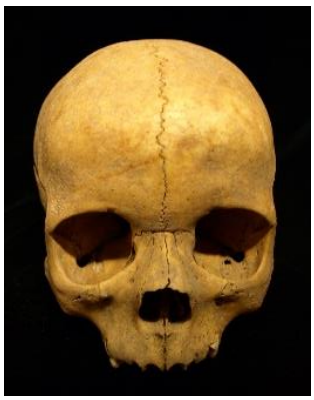
4.5.4.1. Ajak és szájpadhasadék

Az ajak és/vagy szájpadhasadék olyan fejlődési rendellenesség, amit a magzat arcfejlődési hibája okoz. Annak a következménye, hogy elmarad a felső állcsonti nyúlványok és a középső orrnyúlvány egyesülése, összecsontosodása. Ez az *intrauterin* élet 5–12. hetében zajló folyamat. Az ajakhasadék (nyúlszáj) és a szájpadhasadék (farkastorok) előfordulhat külön-külön és együttesen is. Az érintettek körülbelül fele születik ajak- és szájpadhasadékkal, harmada csak szájpadhasadékkal (farkastorok), és 10-ből 1 esetben csak ajakhasadék (nyúlajak) alakul ki. Az ajakhasadék, valamint az ajak- és szájpadhasadék együttes jelenléte fiúknál gyakoribb, de az önálló szájpadhasadék fiú és lány gyermekeknél egyforma gyakoriságú. A megjelenési formái lehetnek egyoldaliak és kétoldaliak is. A hasadék nagysága és súlyossága is egyénileg változó, ami a kis réstől a teljes (komplett) hasadtságig terjedhet. Az ilyen típusú *orofacialis* fejlődési rendellenességek megelőzésében a folsavnak jelentős a szerepe. Az ajak és/vagy szájpadhasadék ma már műtéti beavatkozással korrigálható, akár tökéletesen is helyrehozható veleszületett fejlődési rendellenesség.

4.5.4.1.1. Kérdések és feladatok

4.5.4.1.1.1. Válaszd ki, hogy melyik ábrán látható szájpadhasadékos koponya!

A. ……



B. ……...

C. ……..

4.5.4.1.1.2. Milyen életkorcsoportú lehetett az A., B. és C. egyén? Válaszod indokold meg!

4.5.4.1.1.3. Látható-e más fejődési rendellenesség az A., B. vagy C. koponyán?

4.5.4.1.1.4. Mit gondolsz, miért fontos a szájpadhasadékkal született gyermek műtéti kezelése?

4.6. A vázcsontok és a vázcsontok fejlődési rendellenességei

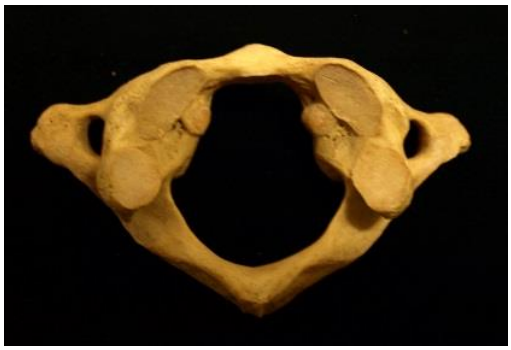
4.6.1. Csigolyák

Az ember vázrendszerének fontos alkotórészei a csigolyák. Csontos csatornát alkotva védelmet nyújtanak a bennük futó gerincvelőnek. A nyaki gerincszakaszt 7, a hátit 12, az ágyékit 5, a keresztcsontit 5 csigolya alkotja. Az első 24 csigolyát valódi csigolyának nevezzük, amelyektől a keresztcsonti és farokcsigolyák felépítése nagymértékben különbözik. Az első és második nyakcsigolya felépítése szintén nagyban eltér a valódi csigolyáktól, ezért külön említjük. Az **első csigolya** (*atlas*) gyűrű formájú. A fej felé a koponyaalappal képez összeköttetést, míg lefelé két alsó ízfelszínnel egyesül a **második nyakcsigolyához** (*axis*). Ennek van egy felfelé álló nyúlvány része (fognyúlvány, *dens axis*), ami lehetővé teszi a fej körkörös irányban való mozgatását. A többi nyakcsigolya alakja nagyon hasonlít a háti és ágyéki csigolyák alakjához, hiszen már van csigolyateste (*corpus*), és azonosíthatók a csigolyaívek. A harántnyúlványok két gyökérrel erednek, közöttük lyuk található. Itt vénák és szimpatikus idegek futnak. A nyakcsigolyák tövisnyúlványa rövid, fecskefarokszerűen kettéoszlik. A **hátcsigolyák** teste felülnézetben szív alakú, előretekintő, lekerekített éllel. A nyakcsigolyákhoz képest vaskosabbak, s az oldalnyúlványokban már nem futnak erek. A csigolyalyuk elég szűk, kör alakú, a csigolyatest magassága a medenceöv felé haladva nő. A harántnyúlvány ferdén hátrafelé irányul. A tövisnyúlványok hosszúak, rézsútosan lefelé irányulnak, és egymást zsindelyszerűen,

szorosan fedik. Az **ágyékcsigolyák** nagyok, felülnézetben bab alakú testük van. A csigolyalyuk szűk, háromszög alakú. A harántnyúlványok hosszúak és keskenyek, nem igazi harántnyúlványok, hanem bordacsökevények. A tövisnyúlványok bárd alakúak, hátrafelé kinyúlnak, és köztük is elég tág rések mutatkoznak. A **keresztcsont** (*sacrum*) fejlődéstanilag öt csigolya összecsontosodott egysége. „V" vagy „előregörbült ék" formájú, és két nagyobb ízfelszínnel kapcsolódik a medencecsonthoz. Elülső felszíne sima, rajta két függőleges sorban elhelyezkedő négy-négy nyílást találunk, amelyeket párosával az eredeti keresztcsonti csigolyák összeforrását jelző vízszintes vonalak kötnek össze. Hátsó felszíne erősen dudoros, gyengén domború. Rajta a csigolyák nyúlványainak az összeforradásából fennmaradt függőleges tarajszerű dudorsorok ismerhetők fel. A **farokcsont** egy fejlődéstanilag csökevényes csont, szintén csigolyák összecsontosodott egysége. Itt már megszűnik a gerinccsatorna.

4.6.1.1. Kérdések és feladatok

4.6.1.1.1. Állapítsd meg, hogy a képen látható csigolyák a gerincoszlop melyik szakaszából származnak! (nyaki, háti, ágyéki vagy keresztcsonti szakasz)



A. ……...…

B. ……..

C. …….

4.6.2. A gerincoszlop és a csigolyák fejlődési rendellenességei

A csigolyákon gyakrabban figyelhetők meg fejlődési rendellenességek, mint a csontvázrendszer egyéb csontjain. Ezek az anomáliák olykor nem okoznak panaszt és egész életen át rejtve maradnak, máskor viszont gyengítik a teherbíró képességet, gyakori vagy állandó fájdalmat jelentenek.

4.6.2.1. A csigolyák hasadékképződményei

A hasadékképződmények a csigolyaív vagy a csigolyatest folytonosságának megszakadása következtében jönnek létre. Ha a **csigolyaív** folytonosságában kétoldali szakadás következik be, akkor a csigolya lényegében kettéválik. Az első rész a csigolyatestből és az ív egy részéből áll, míg a hátsó részt a csigolya tövisnyúlványa alkotja. Az elváltozás bármely életkorban és bármely gerincszakaszon előfordulhat, mégis a leggyakoribb az ötödik ágyéki csigolya előrecsúszása (70-80%). A negyedik ágyéki csigolya elcsúszásának gyakorisága 25%, míg az ennél magasabban elhelyezkedő szegmentumokban mindössze 4%. Megjelenésének oka nem tisztázott. Vannak érvek amellett, hogy ez a rendellenesség fejlődési degeneráció eredménye, s a hasadékképződés oka az alulfejlődött csigolyaív. Más felfogás szerint törés jellegű elváltozás, a születéskor elszenvedett trauma, különböző túlterheléses ártalmak (súlyemelés, bányászat stb.) vagy akár tumor is okozhatja. Az elváltozás élőknél gyakran csak röntgenvizsgálattal derül ki, mivel panaszokat nem okoz. Egy vagy több csigolya íveinek záródási zavara a *spina bifida occulta*, míg a *sacralis* szakaszra vonatkozó teljes vagy részleges ívnyitottság neve a *sacrum bifidum*. A **csigolyatest hasadtsága** a kis réstől a teljesen hasadt csigolyatestig különböző fokozatban és súlyossággal jelenhet meg. A teljes hasadtság esetén általában érintett az adott csigolya feletti és alatti csigolya is, s a csigolyaegyüttes egy pillangóhoz hasonló alakot vehet fel, ezért „butterfly" csigolyaegyüttesnek vagy csigolyának nevezik (4.5., 4.6., 4.7. ábra).

4.5. ábra: Teljes hasadtság a csigolyatesten felülnézetből (Butterfly csigolya)

4.6. ábra: Butterfly csigolyaformáció elölnézetből

4.7. ábra: Butterfly csigolyaformáció oldalnézetből

4.6.2.2. Csigolyaösszenövések, blokkcsigolyák

Két vagy több szomszédos csigolya összenövésével ún. blokkcsigolya képződik. Az összenövés lehet részleges vagy teljes, de előfordul, hogy ékcsigolya megjelenésének következtében alakul ki.

4.8. ábra: C2-C3 nyakcsigolyák összenövése

A gerincoszlop bármely szakaszán létrejöhet, ugyanakkor a nyakcsigolyáknál és a hátcsigolyáknál fordul elő legsűrűbben. A nyakcsigolyák közül a második és a harmadik nyakcsigolya összenövése (4.8. ábra) a leggyakoribb. A deformáció lehet izolált, önálló megjelenési forma, de előfordulhat az is, hogy egy szindróma, például a Klippel-Feil-szindróma része. A nyakcsigolyákat érintő összenövések esetén a nyaki gerinc mozgása főleg oldalirányban csökken, továbbá társulhat a lapockák magas állásával, valamint izomgyengeséggel vagy izomhiánnyal is.

4.6.2.3. A keresztcsont fejlődési rendellenességei

4.6.2.3.1. Szakralizáció

Az egyedfejlődés során bekövetkező fejlődési zavar eredménye lehet az is, hogy az ötödik ágyéki csigolya alakja megváltozik, harántnyúlványai meghosszabbodnak, lepkeszárnyszerűen kiszélesednek, és a csigolya a keresztcsont első szegmentumához válik hasonlóvá. Ennek a fejlődési rendellenességnek a neve szakralizáció, ami szakrummá válást jelent. A két csigolyatest között egyszerű érintkezés állhat fenn, de össze is csontosodhatnak. Az összecsontosodás lehet mindkét oldalon, de lehet csak az egyiken részlegesen. A kétoldali, szimmetrikus forma általában fájdalommentes, de az egyoldali az egyenlőtlen terhelés miatt panaszokat okozhat. A szakralizációnak lehetnek olyan formái, ahol a részleges vagy teljes összecsontosodás mellett a csigolyasíkok is eltérnek, előre vagy hátra csúszik az ágyéki csigolya a keresztcsonthoz képest. A teljes szakralizáció nem jár fájdalommal a beteg számára, de a részleges szakralizáció, vagy a csigolyasíkok térbeli elcsúszásai fájdalommal járó fejlődési rendellenességek, mivel a csigolyák módosított formája miatt ideggyökerek nyomódhatnak.

4.6.2.3.2. Lumbalizáció

A lumbalizáció név azt jelzi, hogy a keresztcsont első szegmentuma különálló marad, nem csontosodik össze a keresztcsont többi részével, alakja megváltozik és az ágyéki csigolyákhoz válik hasonlóvá. Teljes lumbalizáció esetén az öt ágyéki csigolya helyett hat lesz, és csak négy keresztcsonti csigolya alkotja az így rövidebbé vált keresztcsontot. Fájdalom ennél a rendellenességnél is általában abban az esetben tapasztalható, ha részleges leválás történik, vagy a csigolyasíkok térbeli elcsúszása következik be.

4.6.2.4. Kérdések és feladatok

4.6.2.4.1. Milyen furcsaságot látsz a képeken? Próbáld kitalálni, hogy milyen fejlődési hiba következett be!

A. …….

B. …….

C. ……..…….…….

4.6.3. A szegycsont fejlődési rendellenességei

A szegycsont páratlan, lapos, szivacsos csont, amelyben vörös csontvelő található. Az egyedfejlődés 6–9. hetében két porcos szegycsonti léc egyesülésével kezdődik a kialakulása. A két rész egyesülése után csontmagvak jelennek meg, amelyekből kialakul a szegycsont három fő egysége, a markolat (*manubrium*), a test (*corpus*) és a kardnyúlvány (*processus xiphoideus*), melyek között porcos összeköttetés van. A normál fejlődést érintő bármilyen hiba következtében enyhébb vagy súlyosabb fejlődési rendellenességek alakulnak ki a szegycsonton.

4.6.3.1. Összenövések

Az életkor előrehaladtával megfigyelhető a szegycsont három fő része közötti porcok elcsontosodása. Ha ez fiatalon következik be, akkor fejlődési rendellenességnek tekinthető. Ilyen például a markolat-test ízesülés összenövése, a kardnyúlvány-test ízesülés összenövése vagy a teljes szegycsont összenövés.

4.6.3.2. Kérdések és feladatok

Nevezd meg a fenti leírás alapján, hogy a szegycsont mely részei csontosodtak össze rendellenes módon!

A. ……

B. ……..

C. …….

4.6.3.3. Hasadékok, nyílások

A sternális lécek összeolvadása részben vagy egészen elmaradhat, ami hasadék vagy nyílás kialakulását eredményezi. Ez általában a szegycsont alsó 2/3 részén jelenik meg kör vagy ovális alakban (4.9. és 4.10. ábra), amit a szaktudomány foramen sterni-nek nevez. Ez az elváltozás a szegycsont leggyakoribb, tünetmentes fejlődési rendellenessége, amelynek gyakorisága az élő népességnél 4-7% között van. Röntgenfelvételen való felismerése nagy jelentőséggel bír, mert ezen a területen csontvelő-mintavételi, illetve akupresszúrás pont van, így erőteljesebb szúrás esetén elérhetik az alatta levő lágy részeket, azok kisebb vagy akár életveszélyes sérülését okozva.

4.9. ábra: *Foramen sterni*

4.10. ábra: *Foramen sterni*

4.6.3.4. Alulfejlődés (*hypoplasia*), túlfejlődés (*hyperplasia*)

4.11. ábra: A szegycsont testének *hyperplasia*-s elváltozása

Bármely csontot, így a szegycsontot is érintheti az a probléma, hogy a csontmagvakból elindult csontosodási folyamat az átlagosnál lassabb vagy gyorsabb ütemű. Ha a fejlődés lassabb, vagy leáll, akkor a várt normális méretű csontnál kisebb, vékonyabb, alulfejlettebb változat alakul ki. Amennyiben a fejlődés üteme gyorsabb, akkor az adott csontrészlet a vártnál szélesebb, hosszabb, nagyobb lesz. A 4.11. ábrán egy olyan szegycsont teste látható, ahol a fejhez közelebbi szegment normál fejlődésű, de az alatta levő szegmentek növekedése gyorsabb volt a vártnál, vagy nem állt le, így azok túlnövekedtek.

4.6.3.5. Tölcsérmellkas (*pectus excavatum*), tyúkmell (*pectus carinatum*)

A tölcsérmellkas és a tyúkmell a két leggyakoribb mellkasdeformitás. Kiváltó okai általában nem ismertek. Feltételezik, hogy a betegségek hátterében a bordaporcok hibás anyagcseréje áll. Az anyagcserezavar miatt a bordák puhábbak lesznek és hosszabbra nőnek. Az egymással szemben fokozottan növekvő bordaporcok nyomják a szegycsontot, aminek valamilyen irányba ki kell térnie. Az előre púposodás eredménye a tyúkmell, a befelé mozdulás eredménye a tölcsérmellkas. A tölcsérmellkas azért gyakoribb, mert a bordaporcok, illetve a szegycsont gyakrabban mozdul el a mellüreg felé annak szívó hatása miatt. A mellkasdeformitások gyakran nem csak esztétikai problémát jelentenek, mivel az eltérések a tüdőt és a szívet is érinthetik, így orvosi kezelésük fontos.

4.6.4. A bordák fejlődési rendellenességei

A bordák hosszú, lapos csontok, amelyek hátul a hátcsigolyákhoz, elöl közvetve vagy közvetlenül a szegycsonthoz ízesülnek. Embernél hét pár valódi bordát, három pár álbordát és két pár lengőbordát találunk. A fejlődési rendellenességek bármelyik típust érinthetik, közülük a leggyakoribbak a következők: a szomszédos bordák összenövései (*synostosis costratum*), a szomszédos bordák csonthíddal történő összekapcsolódása, széles vagy kettős borda, bordavégek kiszélesedése vagy kettéoszlása. Ha a borda fejében vagy gumójában a csontosodási periódusban járulékos csontosodási mag jelenik meg, akkor számfeletti borda alakulhat ki.

4.6.5. Dongaláb (*pes equinovarus congenitus*)

A láb egyik leggyakoribb fejlődési rendellenessége. Veleszületett betegség, melynek kialakulásában mintegy 10%-ban van szerepe az öröklődésnek. Előfordulási gyakorisága 1-2%.

Fiúknál kétszer gyakrabban jelentkezik, mint lányoknál, és az esetek felében kétoldali megjelenési formájú. Az elnevezés eredete arra vezethető vissza, hogy a megbetegedés során a láb külső és belső éle a test középvonala felé hajlik a hordó dongájához hasonlóan. A sarok magasabban áll, mint az előláb, a láb befelé fordul, s a talp nem lefelé, hanem a másik láb felé tekint. Súlyos esetben a talpi felszín felfelé néz, a lábhát pedig a föld felé tekint. A rendellenesség kialakulásának oka, hogy egyes lábtőcsontok fejlődése leáll vagy lelassul, így fejletlenek maradnak, deformálttá válnak, és nem a nekik megfelelő szögben helyezkednek el, hanem attól elfordulva. A csontanyagon általában jól megfigyelhető a sarokcsont és az ugrócsont alulfejlettsége. Az ugrócsont teste vaskos, nyaka meghosszabbodott vagy megrövidült és a test középvonala felé, illetve a talp felé hajlik. Külső részén tömegesebb, s így kissé ék alakúvá válik, laterális bázissal. A sarokcsont helyzete az ugrócsont deformálódásához alkalmazkodik, így közvetlenül alatta helyezkedik el. A lágyrészek alkalmazkodnak a csontok helyzetéhez, így a veleszületett dongalábak egy részénél egyes izmok gyengülése vagy bénulása is fennáll. Ma már a magzati élet során felismerhető ultrahangos vizsgálattal, így a születés után rögtön megkezdődik a kezelés.

4.6.6. A kéz és láb fejlődési rendellenességei

A legtöbb végtagfejlődési rendellenesség a terhesség 3–8. hetében, a végtagbimbókat ért károsodás következtében alakul ki. Előfordulhat túlzott fejlődés, kettőződés, vagy éppen alulfejlettség, esetleg hiány. Nagy részük a funkció szempontjából jelentéktelennek ítélt elváltozás. Ilyen például a szám feletti ujj (*polydactylia*), aminek formái közül a hatujjúság a leggyakoribb. Másik típus lehet az ujjak összenövése (*syndactylia*), vagy a "hasadt" kéz vagy láb (*ectrodactylia*). Az ilyen eltérések gyakoribbak a felső végtagon, a többséget a könyöktől lefelé eső részek rendellenességei teszik ki. A végtagfejlődési rendellenességek megjelenhetnek izoláltan is, de legtöbbször szindrómák részei.

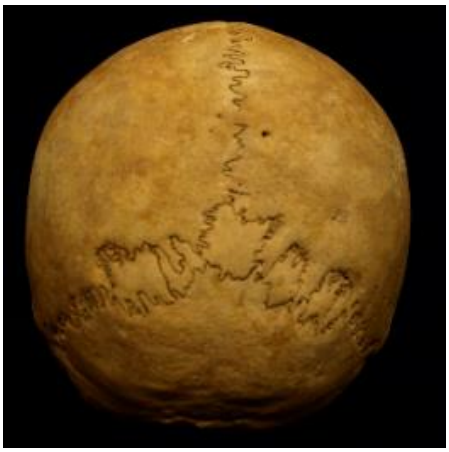
4.7. Összefoglaló kérdések és feladatok

4.7.1. Nevezd meg a képeken látható csontokat! Írd a képek alá azt is, hogy szerinted milyen fejlődési rendellenesség látható a csontokon!

A. ……

B. ……

C. ……..



D. ……

E. ……

F. ……

4.7.2. Olvasd el figyelmesen a Down-kórra vonatkozó szöveget, majd válaszolj a kérdésekre! (szövegértési feladat)

„A Down-szindróma a leggyakoribb, az élettel általában összeegyeztethető, többszörös veleszületett rendellenesség, melynek vezető tünetei a több szervrendszert érintő anatómiai rendellenességek és a változó súlyosságú értelmi fogyatékosság. Genetikailag három alapvető formáját különítjük el: a 21-es kromoszóma számbeli többletére (21-es triszómia), illetve a 21-es kromoszómapár géntöbbletére (strukturális rendellenességére) visszavezethető Down-szindróma (transzlokáció) mellett léteznek ún. mozaikos formák (2,4%), amikor a mutáció (a génállomány megváltozása) a testi sejtek szaporodása közben jön létre, így egyazon szervezeten belül együtt vannak jelen egészséges és kóros (mutáns) sejtvonalak. Magyarországon a Down-szindróma gyakorisága kb. 1 eset/1000 terhesség (1,17 ezrelék). Előfordulási gyakoriságát világszerte a legsúlyosabb környezeti ártalmak (pl. hirosimai, nagaszaki, csernobili nukleáris katasztrófák) sem befolyásolták. Egyértelmű viszont az összefüggés az anyai életkorral. Fiatal anyák gyermekei között a gyakoriság 1/1500 összes születés, amely 40 éves korban már 1/50 (2%), és ez az arány minden egyes anyai életévvel 1%-kal növekszik. Így például 45 éves korban már 6% a rendellenesség kockázata. Ahhoz, hogy megértsük a Down-kór genetikai lényegét, érdemes felidézni néhány nagyon alapvető dolgot sejtjeink kromoszómaállományáról. Testi sejtjeink 23 kromoszómapárt, tehát 46 kromoszómát tartalmaznak. Mindkét szülőnktől 23-23 kromoszómát kapunk. Ez úgy lehetséges, hogy az ivarsejtek kialakulásakor ún. számfelező osztódás megy végbe, az ivarsejtek nem párban tartalmazzák a kromoszómákat. Az apai és anyai ivarsejtek egyesülése során jön létre az a sejt, amely ismét "teljes" állományú: a genetikai információ fele az apából, másik fele az anyából származik. Ennek osztódása során a genetikai állomány normál körülmények között nem változik. A Down-szindrómás esetek túlnyomó többsége (94%) az ún. triszómiás forma. Ez valamelyik szülő ivarsejtjeinek számfelező osztódásakor bekövetkező „*non-disjunctio*” következménye, azaz a 21-es kromoszómapár ilyenkor nem válik szét, ezért az egyik ivarsejtbe két 21-es kromoszóma kerül, míg a másikba egy sem. A két hibás ivarsejt közül a 21-es kromoszóma nélküli életképtelen, így az nem hoz létre beteg utódot. A kromoszómatöbblettel rendelkező – két 21-es kromoszómát tartalmazó – ivarsejt viszont a másik nem ivarsejtjével való egyesülésekor egy 47 kromoszómát – ezen belül három 21-est! – tartalmazó sejtet alkot, ezért az ebből fejlődő gyermek testi sejtjeinek mindegyikében 47 kromoszóma lesz jelen. Másik forma az ún. transzlokációs forma, mely az esetek 3-4%-át teszi ki. A szerkezeti rendellenesség lényege, hogy az egyik 21-es kromoszómáról letörik egy darab (deléció), majd az áttapad egy másik kromoszómára (transzlokáció). Mivel a testi sejtek kromoszómaállománya ebben az esetben teljes, ez az elváltozás nem okoz zavart a szülőnél. Ez a szülő ún. kiegyensúlyozott transzlokációt hordoz, gyermekének azonban átadhatja a Down-kór transzlokációs formáját. Az utód kockázata ezekben az esetekben az átrendeződés típusától és a transzlokáció apai vagy anyai eredetétől függ.”

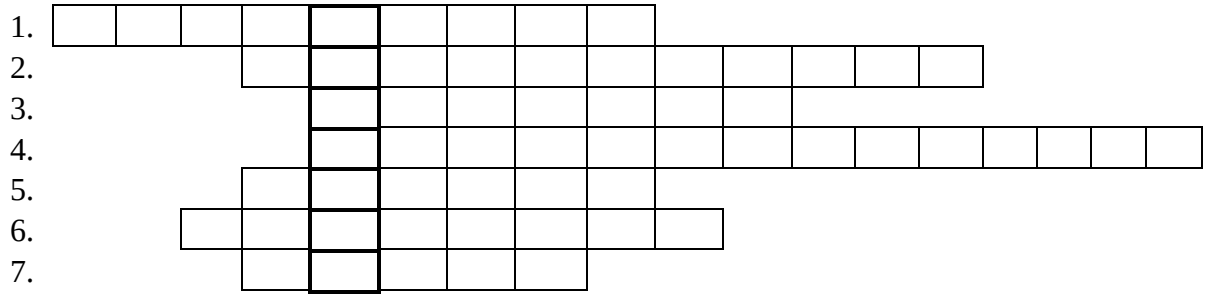
https://www.hazipatika.com/betegsegek_a_z/down-szindroma/367

4.7.2.1. Miben különbözik a Down-szindróma triszómiás és transzlokációs formája?

4.7.2.2. Mennyi a Down-szindróma magyarországi gyakorisága?

4.7.2.3. Milyen összefüggés van a nukleáris katasztrófák, illetve az anya életkora és a Down-szindróma gyakorisága között?

4.7.3. Fejtsd meg a keresztrejtvényt!



1. Görög eredetű szó, amely az orvosi nyelvben tünetcsoportot, vagy tünet-együttest jelent.
2. Önálló csont a nyílvarrat és koszorúvarrat találkozásánál.
3. Híres magyar genetikusunk vezetékneve.
4. Ennek a varratnak a megléte háromszögfejűséget okoz.
5. Ennek a vegyületnek a hiánya a terhesség első heteiben nagy eséllyel fejlődési rendellenességhez vezet. Elsősorban velőcső-záródási rendellenességek vagy nyitott gerinc alakulhat ki.
6. Ennél a betegségnél az egyes lábtőcsontok fejlődése leáll vagy lelassul, így fejletlenek, deformáltak lesznek, és nem a nekik megfelelő szögben helyezkednek el, hanem attól elfordulva.
7. Az első nyakcsigolya latin neve.

4.8. A feladatok megoldásai

4.2.1.1.1.

- Magyarországon nem engedélyezték a Contergan bevezetését, így nem érintette a fejlődési rendellenesség a hazai újszülötteket.
- A thalidominnak érképződést gátló képessége van, ezért egyes daganatfélék kezelésére sikerrel alkalmazható. Napjainkban már két thalidomidszármazék is elfogadott szer a rákellenes terápiában (lenalidomid és pomalidomid), konkrétan vérképzőszervi tumorok, így például mielóma multiplex kezelésében. Az immunrendszer működését módosító és fájdalomcsillapító hatásának köszönhetően a lepra bőrelváltozásainak kezelésére is használják.

4.2.1.1.2.

- (6 hetes terhes vagyok…) Nem, a terhesség első két trimeszterében nem javasolt.
- (24 hetes kismama vagyok…) Rennie rágótabletta szedhető.
- (Cukorbeteg vagyok, inzulint kell injekcióznom…) Igen, az inzulin adható a terhesség alatt, de a mennyisége eltérhet az addig megszokott mennyiségtől, ezért folyamatos orvosi ellenőrzés szükséges.
- (Az elmúlt héten szinte minden reggel…) A Daedalon tabletta esetében terhességre vonatkozóan nincsenek adatok. Terhesség alatt csak az előny/kockázat gondos mérlegelésével és csak akkor alkalmazható, ha a terhességi hányás már nagyfokú elektrolitveszteséghez vezetett. B_6-vitamin viszont minden további nélkül szedhető.

4.2.2.1.1.

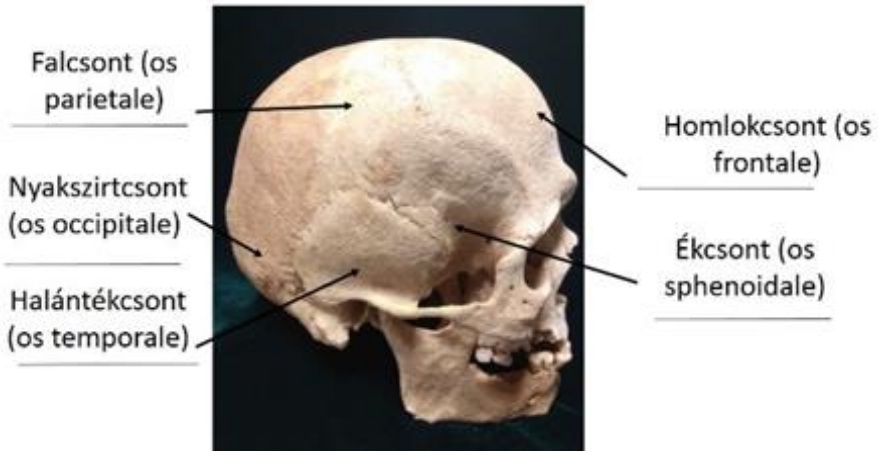
- (A dohányfüst az első trimeszterben hat leginkább…) **Igaz** – Az első trimeszter a fogantatástól a 13. hétig tart. Ekkorra minden szerv kifejlődik, ezért a fejlődési rendellenességek veszélye jelentősen csökken. Ettől kezdve a magzatnak érnie és növekednie kell. A trimeszter elején azonban a gyors sejtosztódás miatt a magzat rendkívül érzékeny a külső behatásokra, ezért lehetőség szerint kerülni kell a dohányzást.
- (A terhesség alatti dohányzás következtében a farkastorok…) **Igaz**
- (A terhesség alatt dohányzás helyett inkább nikotinpótló készítményeket…) **Hamis** – A nikotinpótló készítmények nikotin tartalma ugyanolyan káros a magzatra, mintha dohányzott volna az anya, mert nem a fogyasztás módja, hanem a nikotin mennyisége a károsító tényező, és az a pótló készítménnyel ugyanúgy bejut a szervezetbe.
- (A terhesség alatti marihuána fogyasztása károsan hat…) **Igaz** – Az idegrendszeri mérgezésekkel és fejlődési rendellenességekkel foglalkozó Neurotoxicology and Teratology című szaklap egy 2001-es cikke már rámutatott, hogy figyelemösszpontosítási problémák jelentkezhetnek azon gyerekek egy részénél, akiknek az anyja marihuánát fogyasztott terhessége alatt.

4.3.4.1.

A táblázat néhány válaszalternatívával együtt (Józsa, 2006 alapján):

A mű fajtája	A mű címe	A mű alkotója	Az ábrázolt fejlődési rendellenesség
Szobrocska	Chnumhotep az V. dinasztia idejéből (i. e. 2500 körül)		*Chopndrodystrophia*-s törpe
Festmény	Hosszúnyakú Madonna (1540)	Francesco Parmigianimo	Marfan-szindróma (rendkívül hosszú ujjak és nyak)
Festmény	Péter virrasztása (1636)	Jan Miense Molenaer	Enyhe *chopndrodystrophia*-s törpe
Festmény	Sebastian de Morra (1644)	Velazques	*Achondroplasia*-s törpe
Festmény	El Primo (1644)	Velazquez	*Achondroplasia*-s törpe
Szobrocska	A XVII. században épült Villa Buterát (Bagheria, Szicília) őrző gnóm		*Achondroplasia*-s törpe
Festmény	Önarckép hét ujjal (1912)	Mark Chagall	*Polydactylia* (sokujjúság)
Festmény	Nyomorékok (1899)	Fernand Pelez	*Achondroplasia*-s törpe
Festmény	Agosta & Rasha (1929)	Christian Schad	*Pectus carinatum* (tyúkmell)

4.5.1.1.1.



4.5.2.4.5.1.

Az A. képen hiányzik a nyílvarrat (*sutura sagittalis*). A koronavarrat nagyon nyitott, ami jelzi, hogy fiatal egyén koponyáját látjuk, így a hiányzó nyílvarrat esetén nem öregkori elcsontosodásról van szó, hanem idő előtti, korai varratelcsontosodás történhetett. Ez a koponya formájának rendellenes fejlődéséhez vezet, mert a koponya oldalirányban kevésbé tud terebélyesedni. A hosszirányú növekedés normális ütemű, az oldalirányú növekedés viszont akadályozott az összecsontosodás miatt, ezért csónakfejűség (*scaphocephalia*) alakul ki, ami ezt a hosszúkás, keskeny koponyaformát adja.

A B. képen a lambdavarrat (*sutura lambdoidea*) és a nyílvarrat (*sutura sagittalis*) mentén több plusz csontot is láthatunk.
A C. képen a koronavarrat (*sutura coronoidea*) mentén helyezkedik el plusz csontocska.

4.5.4.1.1.1.
A. Jobb oldalán erős archasadékkal rendelekező gyermek koponyája, ami orrcsonthiánnyal és elsődleges szájpadhasadékkal járt együtt.
B. Egészséges, hasadék nélküli felnőtt egyén koponyája.
C. Enyhe másodlagos szájpahasadékkal rendelkező felnőtt egyén koponyája.

4.5.4.1.1.2.
Az A. egyén gyermek lehetett, mert ilyen erős hasadékkal táplálkozási és valószínűleg légzési nehézségei is voltak. Erre utal az orrcsonthiány is. A B. egyén koponyája formailag eltér az A. gyermekkoponyától. Az agykoponya és az arckoponya aránya, valamint a koponya formája mutatja, hogy felnőtt egyénről van szó. A C. egyén felnőtt életkorcsoportú lehetett, amit a fogak száma és a fogkopás alapján lehet megállapítani. A felnőtt kort azért érhette meg a szájpadhasadék mellett is, mert a másodlagos szájpadhasadék enyhe formájával rendelkezett.

4.5.4.1.1.3.
A B. koponyán látható a homlokcsonton egy plusz varrat (*sutura metopica*). Ez a homlokcsontokat elválasztó varrat születéskor még jelen van az egészséges csecsemőknél, de később, 1-2 éves kor körül a két csont egységes homlokcsonttá egyesül, így ez a varrat eltűnik. Amennyiben felnőtt korban is jelen van, az az egyesülési hibát jelzi. Az is előfordulhat, hogy születésnél nincs jelen a varrat, idő előtt csontosodik el, ami szintén fejlődési rendellenesség. Ilyenkor a fej háromszög alakban deformált lesz ezen a területen (*trigonocephalia,* háromszögfejűség).

4.5.4.1.1.4.
A hasadék elhelyezkedésétől függően nyelési, szopási, táplálási problémák léphetnek fel. A beszéd kialakulásának késése mellett kiejtési zavarok, orrhangzós beszéd fordulhat elő. Szájpadhasadék esetén hallászavar alakulhat ki, illetve a középfülgyulladás esélye megnő. Az ajak- és szájpadhasadékos gyermekeknek számos méret-, forma- és számbeli fogrendellenességük is lehet a felső állcsont hibás fejlődése miatt.

4.6.1.1.1.
A. Első nyakcsigolya *(atlas).*
B. Ágyéki csigolya.
C. Második nyakcsigolya *(axis).*

4.6.2.4.1.
Az A. képen az első nyakcsigolya hasadtságát látjuk. Ez a rendellenesség önállóan ritkán fordul elő, de más fejlődési rendellenességekkel és szindrómákkal együtt gyakori.
A B. képen szimmetrikus, teljes szakralizációt látunk, ahol a csigolya síkjaiban sincs eltérés.
A C. képen részleges lumbalizációt látunk.

4.6.3.2.
Az A. képen a markolat és a test összecsontosodása látható.
A B. képen a test és a kardnyúlvány összecsontosodása látható.
A C. képen a szegycsont mindhárom része összecsontosodott.

4.7.1.

Kép	A képen látható csont neve	A fejlődési rendellenesség neve
A.	sípcsont, lábtőcsont, lábközép csontok, lábujjpercek	dongaláb
B.	állkapocscsont (*mandibula*) jobb szára	a *coronoid* nyúlvány túlfejlődése
C.	felső állcsont (*maxilla*)	jobb oldali *premaxilla* hiány (jobb oldali nyúlszáj)
D.	az agykoponya egy része (nyakszirtcsont, falcsontok)	a lambdavarrat mentén elhelyezkedő varratcsontocskák
E.	a nyakszirt hátsó és alapi része	occipitalizáció látható a képen (az első nyakcsigolya hozzácsontosodása a nyakszirtcsonthoz)
F.	második nyakcsigolya (*axis*)	a fognyúlvány rész kettéosztottsága

4.7.2.1.
A triszómiás forma valamelyik szülő ivarsejtjeinek számfelező osztódásakor bekövetkező "non-disjunctio" következménye, azaz a 21-es kromoszómapár ilyenkor nem válik szét, ezért az egyik ivarsejtbe két 21-es kromoszóma kerül, míg a másikba egy sem. A transzlokációs forma ezzel szemben szerkezeti rendellenesség, ahol az egyik 21-es kromoszómáról letörik egy darab (*deléció*), majd az áttapad egy másik kromoszómára (*transzlokáció*).

4.7.2.2.
Magyarországon a Down-szindróma gyakorisága kb. 1 eset/1000 terhesség (1,17 ezrelék).

4.7.2.3.
Az előfordulási gyakoriságot a nukleáris katasztrófák nem befolyásolták, de egyértelmű összefüggés van az anyai életkorral. Fiatal anyák gyermekei között a gyakoriság 1/1500 összes születés, amely 40 éves korban már 1/50 (2%), és ez az arány minden egyes anyai életévvel 1%-kal növekszik. Így például 45 éves korban már 6% a rendellenesség kockázata.

4.7.3.

1.	S	Z	I	N	**D**	R	Ó	M	A									
2.				B	**R**	E	G	M	A	C	S	O	N	T				
3.					**C**	Z	E	I	Z	E	L							
4.					**S**	U	T	U	R	A	M	E	T	O	P	I	C	A
5.				F	**O**	L	S	A	V									
6.			D	O	**N**	G	A	L	Á	B								
7.				A	**T**	L	A	S										

4.9. Felhasznált és ajánlott irodalom

Aufderheide AC, Rodríguez-Martin C (1997) The Cambridge encyclopedia of human paleopathology. Cambridge Univ Press, Cambridge

Barnes E (1994) Developmental Defects of the axial skeleton in paleopathology. University Press of Colorado

Barnes E (2012) Atlas of developmental field anomalies of the human skeleton: a paleopathology perspective. Wiley-Blackwell. Canada

Barta O (1983) Az ortopédia tankönyve. Medicina Könyvkiadó, Budapest

Bennett KA (1967) Craniosynostosis: a review of the etiology and a report of new cases. Am. J. Phys. Anthropol. 27. 1-10.

Czeizel E, Dénes J, János-Szabó L (1973) Veleszületett rendellenességek. Medicina Könyvkiadó, Budapest

Csaba Gy (2015) A fejlődési rendellenesség fogalmának átértelmezése: a hibás perinatalis imprinting jelentősége. Orvosi Hetilap 156. (28) 1120-1126.

Dobszay L (1969) Fejlődési rendellenességek. In: Hollán Zs. (szerk.) Orvosi lexikon 2. Akadémiai Kiadó, Budapest

Endes P (1972) Pathologia. Medicina Könyvkiadó, Budapest

Finnegan M, Marcsik A (1979) A non-metric examination of the relationships between osteological remains from Hungary representing populations of avar period. Acta Biol. 25. 97-118.

Fogarasi-Grenczer A, Balázs P (2012) A dohányzás és környezeti dohányfüstártalom kapcsolata a koraszülésekkel. Orvosi Hetilap 153. (18) 690-694.

Fried PA, Smith AM (2001) A literature review of the consequences of prenatal marihuana exposure: An emerging theme of a deficiency in aspects of executive function 23. (1) 1-11.

Glauber A (1973) Az ortopaedia tankönyve. Medicina Könyvkiadó, Budapest

Goretsky MJ, Kelly RE Jr., Croitoru D, Nuss D (2004) Chest wall anomalies: pectus excavatum and pectus carinatum. Adolescent Medicine Clinics. 15. (3) 455-471.

Hegyi A, Marcsik A, Éry K (1999) Congenital bilateral clubfoot in an osteoarcheological sample - case history. Journal of Paleopathology 11. (1) 13-19.

Hirschber J, Sárközi A (1996) Az ajak- és szájpadhasadékosok kezelése. Útmutató szülőknek. Hasadék Centrum Alapítvány, Budapest
Horváth F, Bálint G, Hunka A (1997) Osteoarticularis kórformák klinikai és radiológiai alapfogalmainak régiók szerinti elemzése. Medicina Kiadó Rt., Budapest
Józsa L (2006) Csont-ízületi elváltozások ábrázolása a képzőművészetben. Osteologiai Közlemények 14. (3) 127-140.
Józsa L (2012) Betegségek, kóros állapotok ábrázolása egyiptomi alkotásokon. Kaleiodoszkóp. Művelődés-, Tudomány- és Orvostörténeti Folyóirat 3. (5) 1-12.
Krishnamurthy A, Adibatti M (2016) Study on incidence of sacralisation of fifth lumbar vertebra in South Indian population. Ital J Anat Embryol. 121. (1) 60-65.
Manisha R, Priyanka K (2017) Congenital Clubfoot: A comprehensive review. Orthopedics and Rheumatology 8. (1) 1-5.
Pásztor E (2004) A koponya. Magyar Tudomány 9. 1002.
Pedersen SC, Anton SC (1998) Bicoronal Synostosis in a Child From Historic Omaha Cemetery 25DK10. Am. J. Phys. Anthropol. 105. 369-376.
Simon K (2017) A Contergan tragédia visszhangja a Kádár korszak sajtójában és szakirodalmában. Művelődés, Tudomány és Orvostörténeti Folyóirat 8. (15) 139-158.
Szentágothai J, Réthelyi M (2006) Funkcionális anatómia. Medicina Könyvkiadó Zrt., Budapest
Turkay R, Inci E, Ors S, Nalbant MO, Gurses IA (2017) Frequency of sternal variations in living individuals. Surg Radiol Anat. 39. (11) 1273-1278.
Vízkelety T (1976) Gyermekortopaedia. Medicina Könyvkiadó, Budapest
VRONY (2007) Jelentés a Veleszületett Rendellenességek Országos Nyilvántartása (VRONY) 2005. évi adatairól. Országos Szakfelügyeleti Módszertani Központ, Budapest
VRONY (2013) Jelentés a Veleszületett Rendellenességek Országos Nyilvántartása (VRONY) 2011. évi adatairól. Országos Szakfelügyeleti Módszertani Központ, Budapest
White CD (1996): Sutural Effects of Fronto-Occipital Cranial Modification. Am. J. Phys. Anthrop. 100. 397-410.
Williams AM, Crabbe DCG (2003) Pectus deformities of the anterior chest wall. Paediatric Respiratory Reviews 4. (3) 237-242.
Xinlong M, Yuren D, Shuli W, Jianxiong M, Tao W, Mingjie K, Baoyi M (2018) Adjacent segment degeneration after intervertebral fusion surgery by means of cervical block vertebrae. Eur Spine J. 27. (6) 1401-1407.
Yekeler E, Tunaci M, Tunaci A, Dursun M, Acunas G (2006) Frequency of sternal variations and anomalies evaluated by MDCT. AJR Am J Roentgenol. 186. (4) 956-960.

5. SZEMELVÉNYEK AZ IDEGRENDSZER ÖSSZEHASONLÍTÓ NEUROANATÓMIÁJÁBÓL

5.1. Bevezetés

Az **anatómia** a biológiai tudományok egyike, morfológiai tudomány, alaktan, amely az élőlények szervezetét, szerveinek alakját, nagyságát, színét, szerkezetét, helyzetét stb. ismerteti. (Társtudománya az élettan, amely a szervezet életjelenségeivel, azok törvényszerűségeivel foglalkozik.) Az anatómia az *anatemnein* (gör.: *ána-témnein* = metszeni, szétdarabolni) szóból származik, de nem fejezi ki a tudomány lényegét, hanem csupán módszerét, a boncolást (*sectio*) jelöli. A vizsgáló módszerek típusa szerint többféle anatómia különíthető el, ezek közül mi csak a szerveknek a fajok és fajták közötti különbségeit tárgyaló **összehasonlító anatómiával** (*anatomia comparativa*) foglalkozunk, ezen belül is a finomabb, szemmel nem látható részeket vizsgáló **mikroszkopikus anatómiával** (a makroszkopikus anatómia a szervezetet boncolással vizsgálja). A sejteket a sejttan (*cytologia*), a szövetek és a szervek mikroszkopikus anatómiáját a szövettan (*histologia*) tárgyalja. Az anatómiai struktúráknak, irányoknak és fogalmaknak latin nevük van, ezek összessége a nómenklatúra, amely a szakmunkák megértését, a nemzetközi érintkezést könnyíti meg.

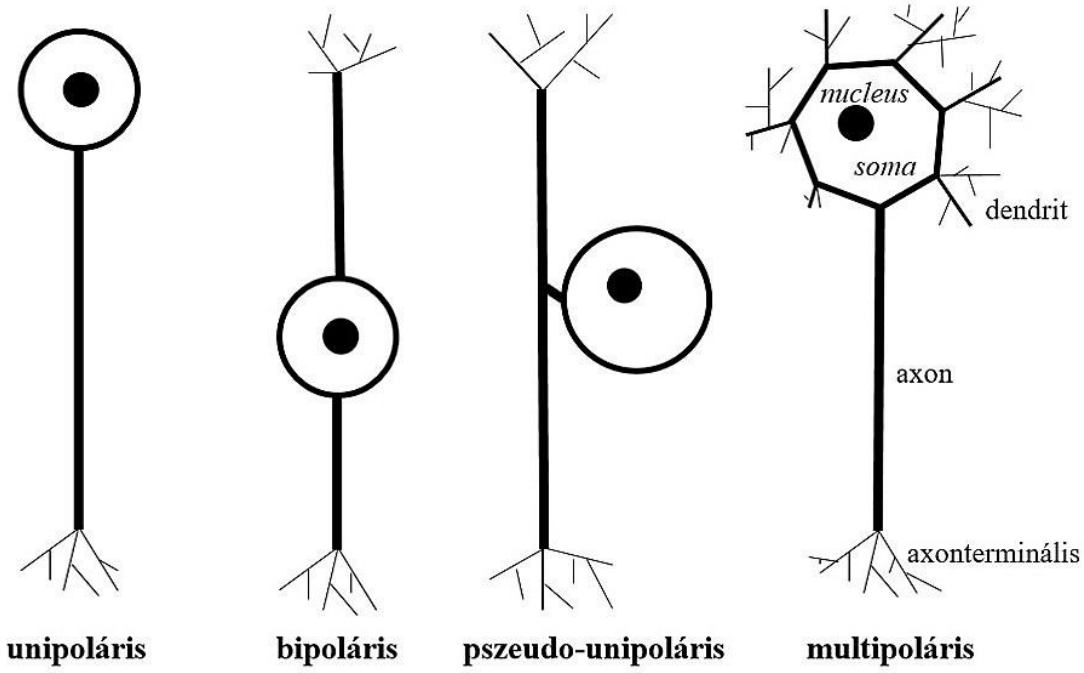
Minden állat számára nélkülözhetetlen, hogy a külvilágból és a saját testéből származó információkat képes legyen felfogni, azokat feldolgozni és megfelelően reagálni. Ingerek felfogásához és valamilyen válaszreakció kialakításhoz azonban nincs szükség idegrendszerre, gondoljunk például a papucsállatkára (*Paramecium sp*.) vagy más egysejtűekre, ahol nincs és nem is lehet idegrendszer. A többsejtűség sem igényli önmagában idegrendszer jelenlétét (pl. szivacsokban sincs), de a fejlettebb állatok szerveinek és testrészeinek összeszervezése és az ingerekre adott megfelelő (adekvát) válasz kialakítása már nem lehetséges nélküle. Az **idegrendszer** (*systema nervosum*) olyan idegsejtekből (neuronokból) és gliasejtekből felépülő együttes, melynek feladata az érzékszervekből származó impulzusoknak az idegi központokba vezetése, az információ feldolgozása és a válaszingerület elvezetése a végrehajtó szervhez (effektorhoz, pl. egy harántcsíkolt vázizomrosthoz). Az idegrendszert felépítő szövet az idegszövet (*tela nervosa*).

5.2. Az idegszövet jellegzetességei

Az **idegsejt (*neuron*)** celluláris, funkcionális, trofikus és patológiai egység, vagyis rendelkezik sejtmaggal, citoplazmával és sejthártyával; a keletkezett ingerület az egész idegsejten végigterjed; a nyúlványok önmagukban életképtelenek, és egyes betegségek a neuronokat szelektíven károsítják.

Az idegsejteket csoportosíthatjuk a nyúlványaik száma alapján (5.1. ábra), ilyenkor természetesen az axonterminális (telodendron, közoktatásban elterjedt neve „végfácska”) elágazódásait és az axonkollaterálisokat (kettéoszlás) nem vesszük figyelembe, csak a sejttesthez (*soma, perykarion*) kapcsolódó nyúlványokat. **Unipoláris neuronokat** a gerinctelen állatokban

találunk, **bipoláris** idegsejteket például az ember retinájában, **pszeudo-unipoláris** neuronokat az ember hátsógyöki ganglionjában és Gasser-dúcában, **multipoláris** neuronokat pedig például az emberi gerincvelő szürkeállományában.



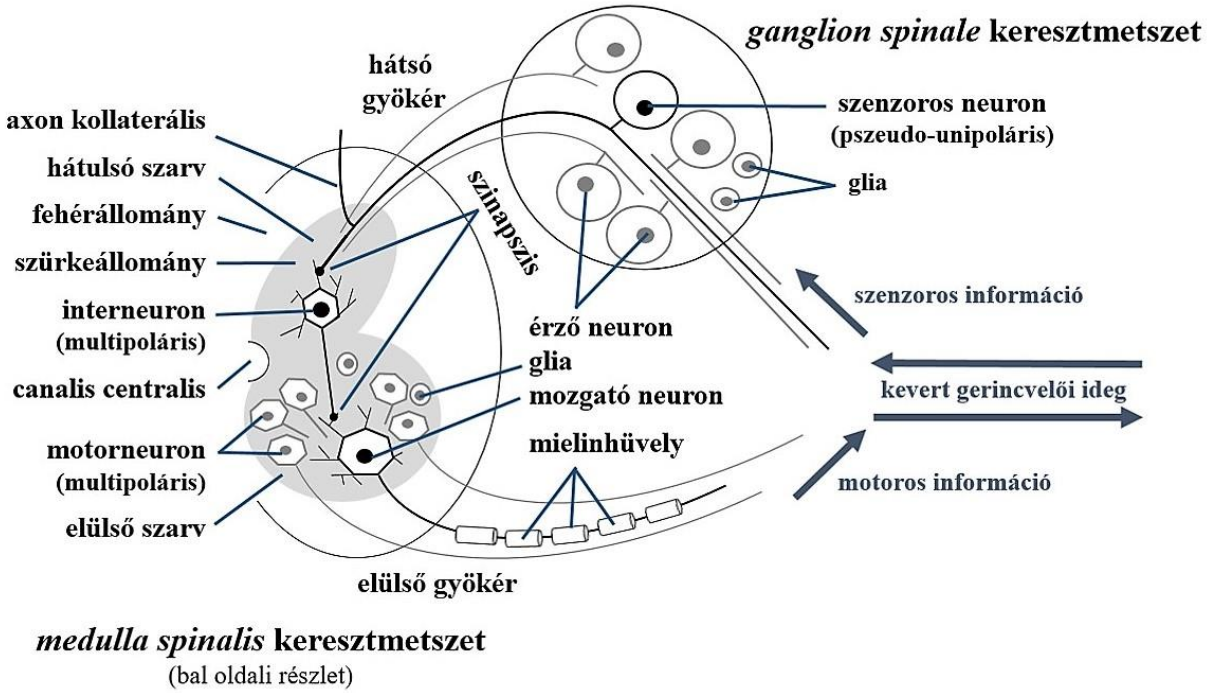
5.1. ábra: Az idegsejtek főbb morfológiai csoportjai

Korábban a szövettani felépítésük alapján mind az unipoláris idegsejtek egy, mind a bipoláris és a pszeudounipoláris neuronok 2 nagy nyúlványát axonnak tekintették. Az **axonok** és **dendritek** elkülönítése ma már komplex kérdés, nem elég az alak, méret és számbeli különbség, idegsejtje válogatja, hogy igaz-e, hogy „az axonból egy van és hosszú, a dendritek meg sokan vannak és rövidek". Ha egy nyúlvány fogadja az információt, akkor dendrit, ha pedig továbbadja más idegsejteknek, akkor axon, de lehet, hogy csak abban a másodpercben. Gondoljunk az unipoláris (egynyúlványú) neuronra: az egyetlen nyúlványa dendrit abban az időpillanatban, amikor a sejttest felé szállítja egy másik idegsejtről áttevődött ingerületet, és axon, amikor az akciós potenciált szállítja, hogy az axonterminálisban felszabaduljanak az ingerületátvivő (neurotranszmitter) anyagok. Az ingerületáttevődés helyszínei a szinapszisok, melyek lehetnek elektromos vagy kémiai típusúak. Az interneuronális (interkaláris) idegvégződésekben két neuron kapcsolódik egymáshoz, míg a terminális idegvégződések receptorok (ingerfelvelő idegvégződések) hámszövetben (pl. szabad idegvégződések) és kötőszövetben (pl. Meissner-féle tapintótestek) vagy effektorok (ingerleadó idegvégződések) mirigyszövetben vagy izomszövetben (pl. neuromuszkuláris junkció (motoros véglemez) harántcsíkolt vázizomrostnál).

A mikroszkópos megfigyelések során a morfológián túl fontos a neuron mérete (a sejttest átmérője) és elhelyezkedése (a sejttest helye számít, nem az, hogy hová érnek el a nyúlványai) is.

Továbbá festési eljárástól függően neuronokra jellemző struktúrákat is megfigyelhetünk, például Nissl-féle rögöket (a jól fejlett durva felszínű endoplazmatikus retikulum részletei).

Az idegsejtek megnevezése nem csak morfológiai alapon történhet, gyakran a funkciójuk alapján kapják a nevüket. Az idegrendszer működési egysége a **reflex** (inger által kiváltott válaszreakció), melynek anatómiai alapja a **reflexív**. Ebben találunk egy receptort, melyben az inger nyomán ingerület keletkezik, melyet idegsejt nyúlványa vezet a központba (idegsejt csoportosulás). Ezt a bevezető idegrostot afferensnek nevezzük, és egy **érző (szenzoros) neuronhoz** tartozik (pl. az ember hátságyöki ganglionjaiban (*ganglion spinale*) található pszeudo-unipoláris neuronok, 5.2. ábra). Az érző neuronok szinapszisokat képeznek mozgató neuronokkal vagy interneuronokkal (5.2. ábra). A **mozgató (motor-/motoros) neuron** (pl. az emberben a gerincvelői szürkeállomány elülső szarvában található mozgató neuronok, 5.2. ábra) az efferens neuron, amelynek nyúlványai az efferens rostok, amelyek a központból kiviszik az ingerületet az effektorhoz (végrehajtó egység, pl. harántcsíkolt izomrost). Az afferens és efferens neuronok közé **interneuronok** iktatódhatnak be (5.2. ábra). A plusz idegsejtek és szinapszisok lehetővé teszik az ingerek közötti összehasonlítást, az értékelési és mérlegelési lehetőséget, ezért az idegrendszer evolúcióját az interneuronok számbeli és kapcsolatbeli gyarapodása jellemzi.



5.2. ábra: Érző-, mozgató- és interneuronok elhelyezkedése a gerincvelőben és annak környezetében

A **gliasejtek** morfo-funkcionális egységet alkotnak a neuronokkal, és sokféle funkciót látnak el: táplálják és védik a neuronokat, kitöltik az üres tereket, mechanikai támaszt adnak, biztosítják a megfelelő pH-t (a központi idegrendszerben asztrociták, a perifériás idegrendszer dúcaiban szatellita sejtek, a bélidegrendszerben enterogliák). Vannak, amelyek részt vesznek a vér-agy gát kialakításában (asztrociták), cerebrospinális folyadékot hoznak létre

(ependimasejtek), immunsejtekhez hasonló funkciót töltenek be (mikrogliák) vagy elektromosan szigetelik az axonokat (a központi idegrendszerben az oligodendrociták, a periférián a Schwann-sejtek). A mikroglia (egy aktivációs folyamatot követően) fagocitózisra képes (és a többi gliával ellentétben nem ektodermális, hanem mezodermális eredetű).

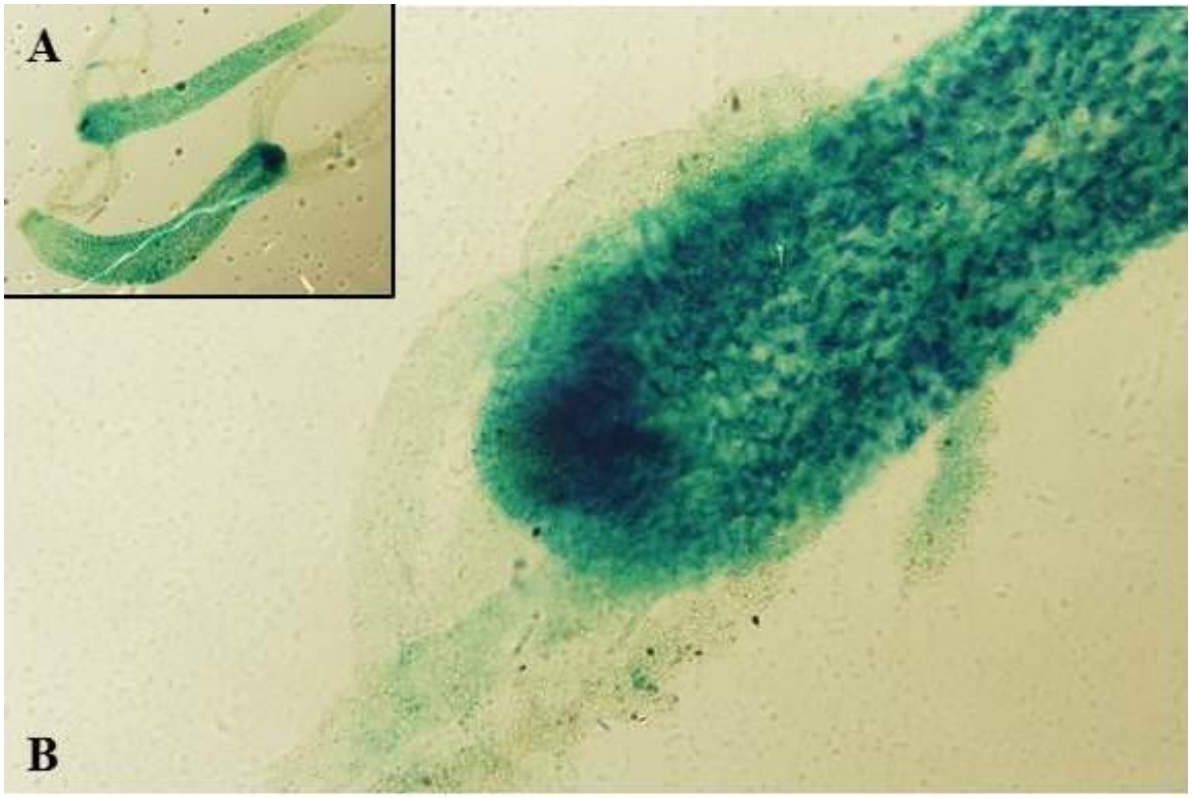
5.3. Összehasonlító neuroanatómiai összefoglaló

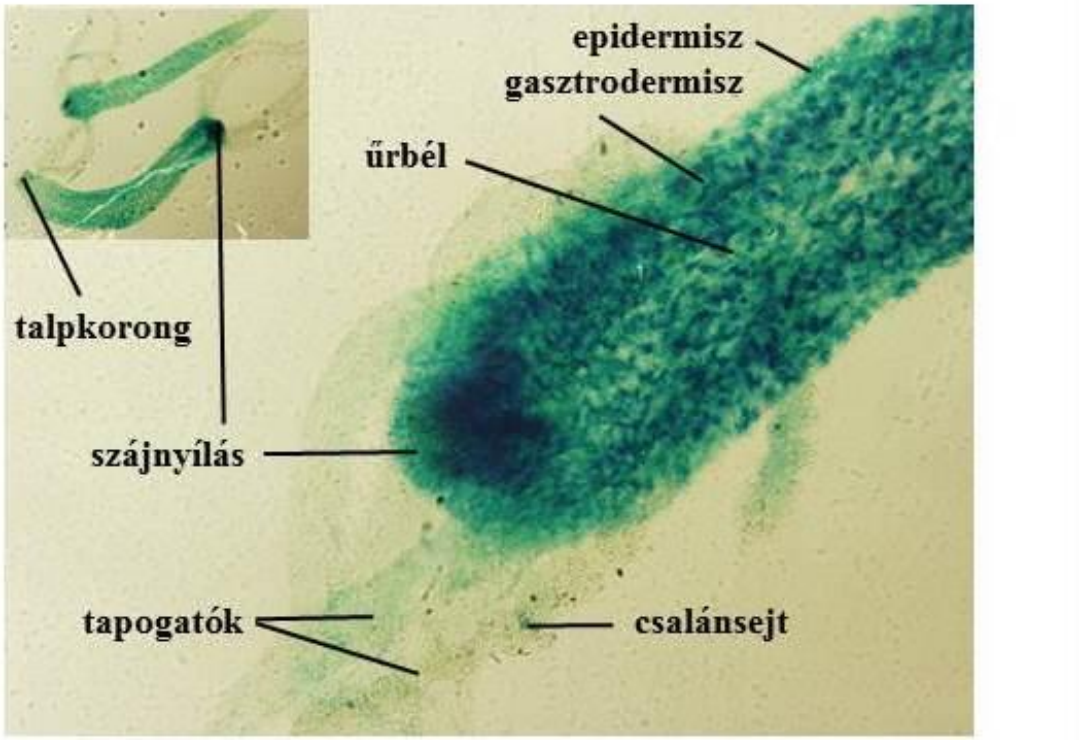
A soksejtű állatokon (*Animalia/Metazoa*) belül a **csalánozóknál** (*Cnidaria*) jelenik meg az idegsejt (*neuron*), az evolúció során náluk beszélhetünk először valódi idegrendszerről, de az idegsejtek hálózata kevéssé centralizált, ún. **diffúz (hálózatos) idegrendszer**, mert nem alakul ki központ. De az idegsejtek nem egyenletesen oszlanak el az állatban, sűrűségük a szájnyílás környékén, a karok tövénél és a talpkorongban a legnagyobb a hidrák (5.3. ábra) esetében. A kezdődő központosulás kiváltó oka, hogy a táplálék megszerzése érdekében koordinált mozgást kell végezniük, de a csalánozóknál még nem alakul ki valódi központ, ezért az állat még csak egésztest-reakciókat ad, például érintésre összehúzódik.

A kétoldalian részarányos állatok (*Bilateria*) elkezdenek meghatározott irányba mozogni, ezért őket az ingerek döntően a test ugyanazon a részén érik, ezért oda csoportosul az ingerek felvételére, feldolgozására és a megfelelő válasz kialakítása alkalmas idegelem többsége, vagyis kialakul a fej. Ez a jelenség a **kefalizáció** (*cephalisatio*). A fejben lévő egy vagy több idegdúc párból agydúc (*ganglion cerebrale*) alakul ki, amelynek működése az egész idegrendszer tevékenysége szempontjából meghatározó. A **dúc (*ganglion, ggl.*)** idegsejtek csoportosulását jelenti, de a legtöbb állatcsoportban gliasejtek is találhatók benne. Vagyis az **ősszájú állatoknál** (*Protostomia*) megjelenik a **központosult idegrendszer.**

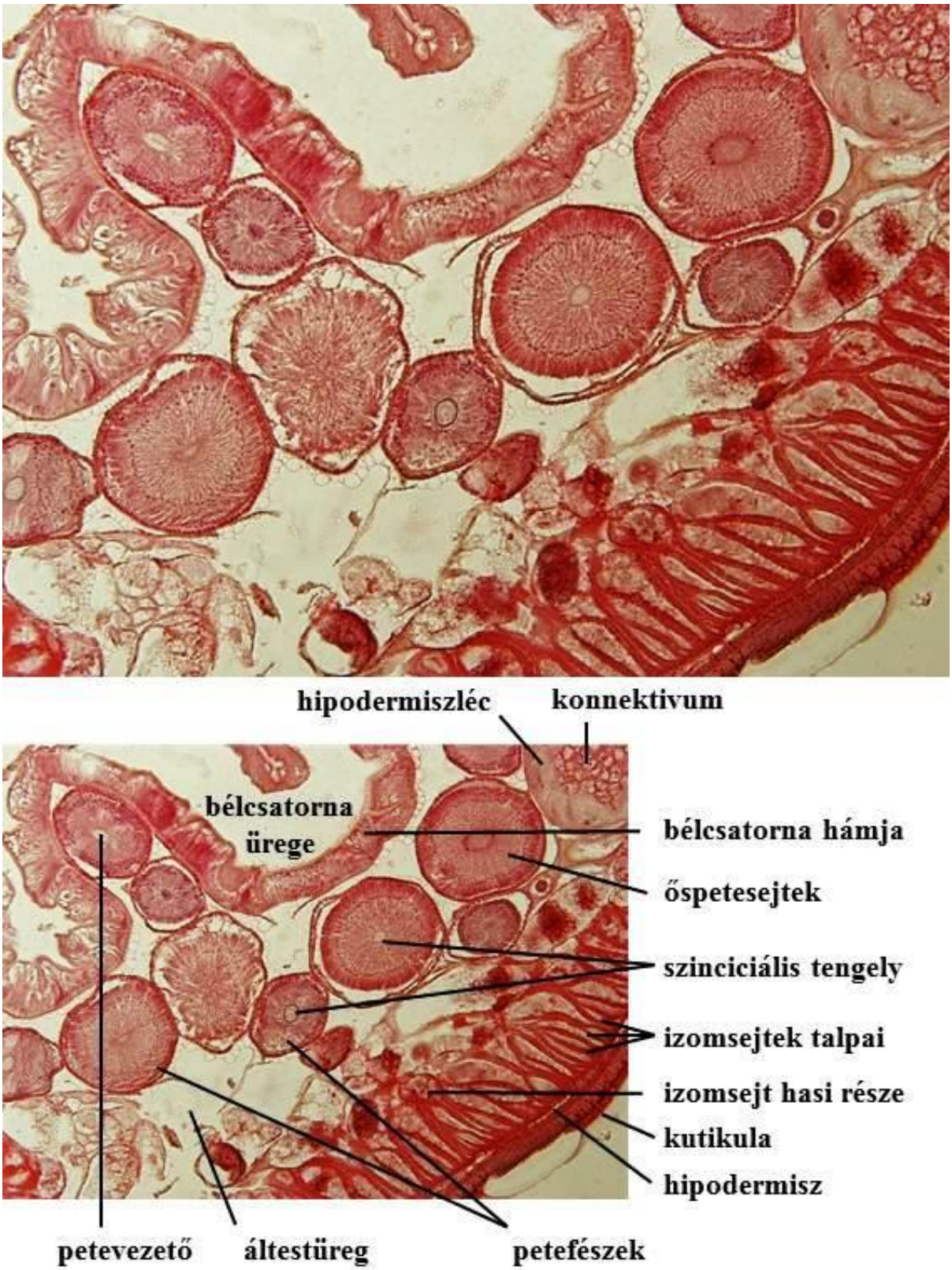
A hengeresférgeknél (*Nemathelminthes*) a garat körüli ideggyűrűből a feji vég felé rövidebb idegek erednek, míg a test vége felé legalább két, jól fejlett hosszanti törzs indul ki (*connentivum*), melyek a háti és a hasi hipodermiszlécben haladnak (5.4. ábra). A hosszanti törzsek között aszimmetrikusan elhelyezkedő harántágak (*comissura*) létesítenek kapcsolatot.

A **gyűrűsférgeknél** (*Annelida*) **szelvényezett idegrendszer** figyelhető meg, melynek központi eleme a test hasi (*ventralis*) középvonalában lévő és dúcpárok láncolataként felépülő **hasdúclánc**, melynek feji végéhez **garatideggyűrű** csatlakozik. A garatideggyűrűt az agydúcpár (*ggl. cerebrale*), a garat alatti dúcpár (*ggl. suboesophagale*) és az azokat összekötő konnektivumok (*connentivum*) alkotják. A testben található azonos oldali (egymás mögötti) idegdúcokat hosszirányú (*connectivum*), a jobb és baloldali (egymás melletti) dúcpárokat pedig keresztirányú idegkötegek (*commissura*) kötik össze. A dúcok jellegzetes felépítést mutatnak: kötőszövet burkolja őket, a kötőszövet alatt, a felszínhez közel találhatók a sejttestek, és a dúc belsejében figyelhető meg a neuropiléma, ami az idegsejtek nyúlványainak kusza szövedéke, itt találhatóak a szinapszisok, innen indulnak, és ide érkeznek az idegek (*nervus*) és az idegtörzsek (*connectivum, commissura*). A földigiliszta hasdúcláncában a jobb és bal oldali dúc olyan közel kerül egymáshoz, hogy közös kötőszöveti burkuk van, és a két neuropiléma is szinte összeér (5.5. ábra).

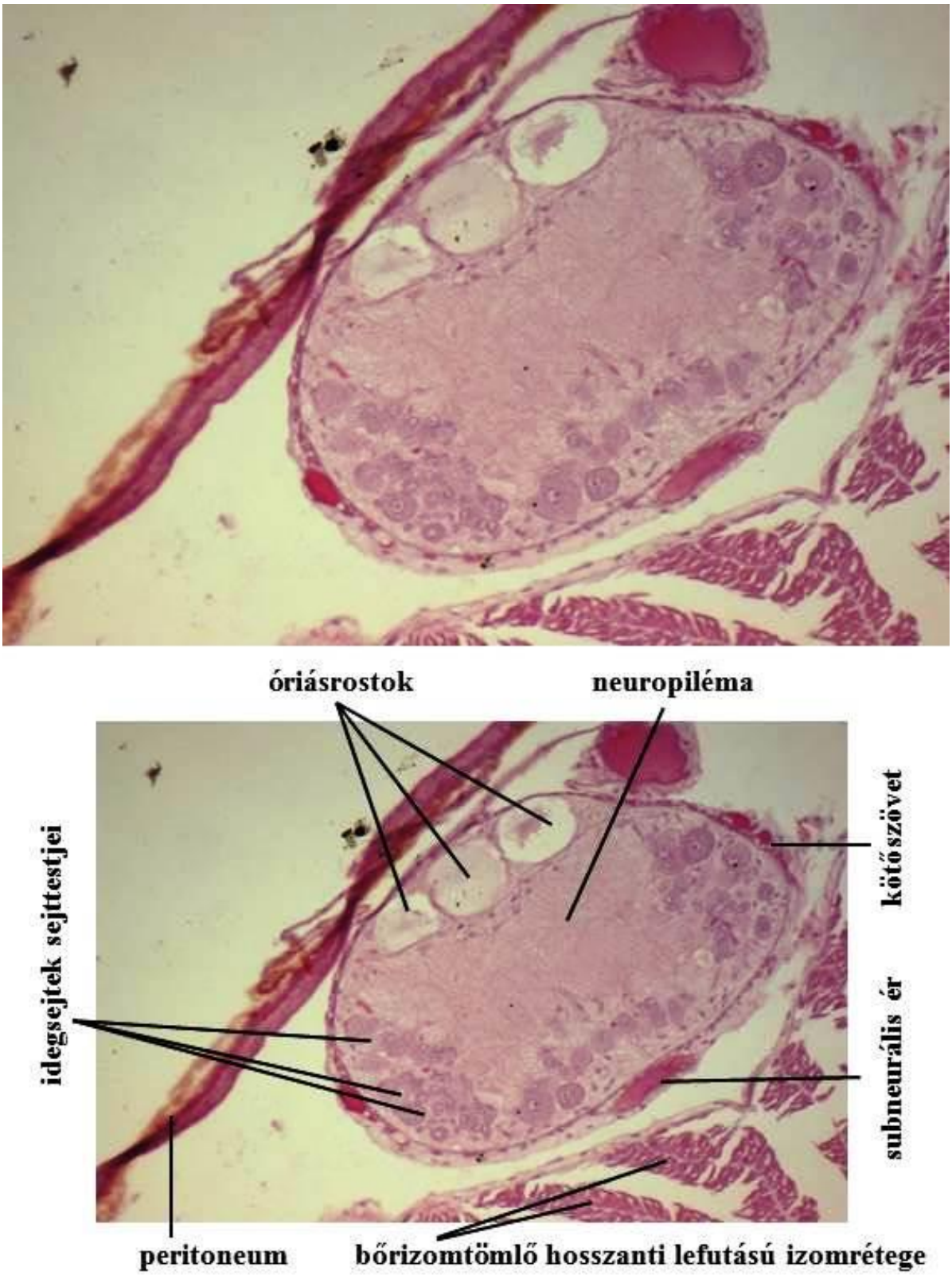




5.3. ábra: Zöld hidra (*Clorohydra viridissima*), A: 100x, B: 200x, festetlen preparátumon az idegsejtek nehezen különíthetők el a többi sejttől



5.4. ábra: Sertés orsógiliszta (*Ascaris suum*) keresztmetszet, 100x, HE



5.5. ábra: Földigliszta (*Lumbricus terrestris*) keresztmetszet hasdúclánci gangion-keresztmetszettel, 100x, HE

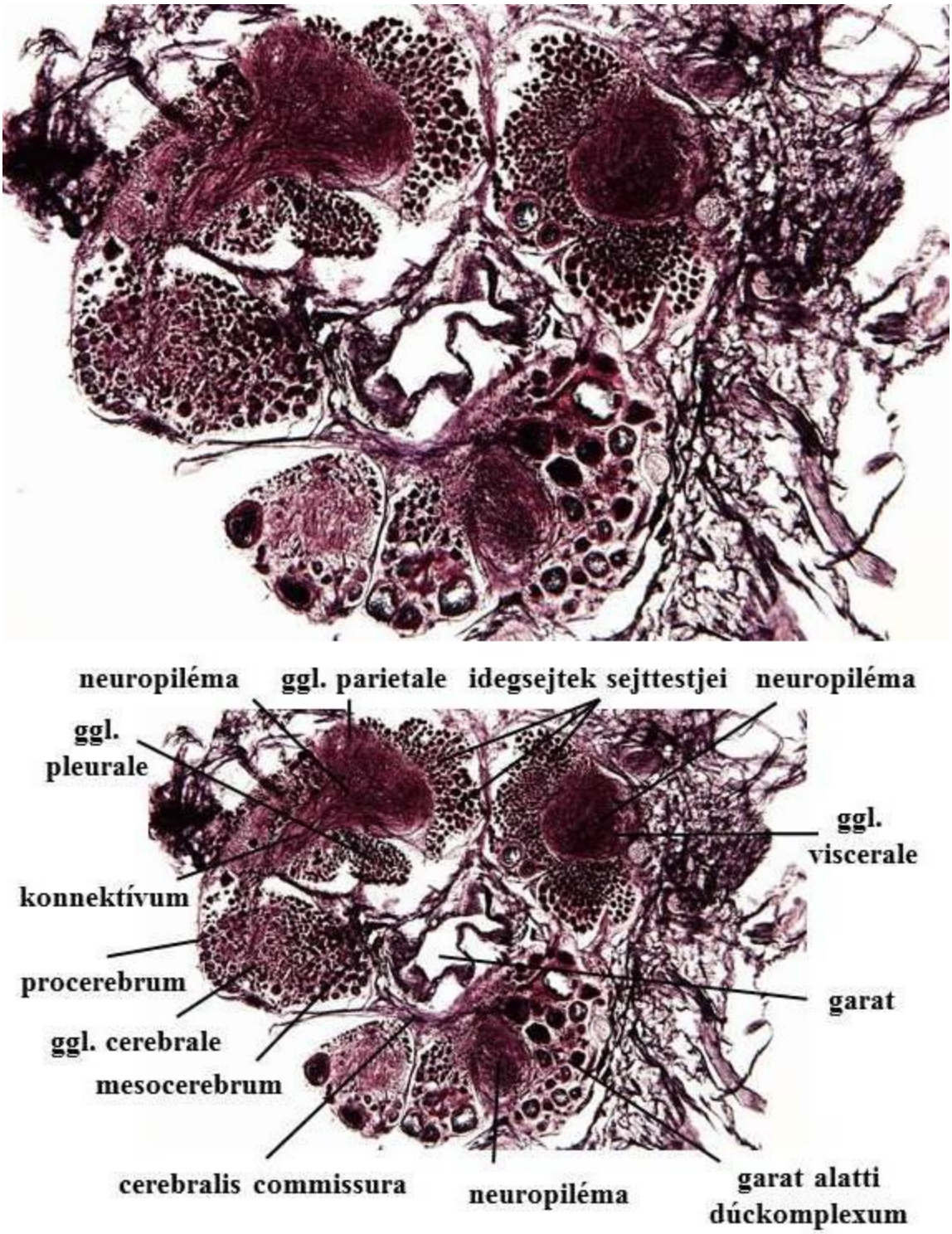
A puhatestűek (*Mollusca*) különböző csoportjaiban igen heterogén az idegrendszer felépítése, de alapvetően kevés dúcból (*ganglion*) és az azokat összekötő *commissura*-kból és *connectivum*-okból épül fel.

A **csigáknál** (*Gastropoda*) az agydúc (*ggl. cerebrale*) (5.6. ábra) 4 részre tagolható: a *procerebrum* a tapogatóideggel (szagló- és látóideg együttesével) áll kapcsolatban, a *mesocerebrum* beidegzi az ivarszerveket és kialakítja a *cerebralis commissura*-t, a *metacerebrum* a mozgásért és a talpérzékelésért felel, a *postcerebrum* pedig a *connectivum*-ok kiindulási helye. A *ggl. pedale* (lábdúc), a *ggl. pleurale* (köpenydúc), *a ggl. viscerale* (zsigerdúc) és a *ggl. parietale* (fali dúc) közel kerül egymáshoz, és kialakítják a garat alatti dúckomplexumot (*ggl. infraoesophageum*) (5.6. ábra).

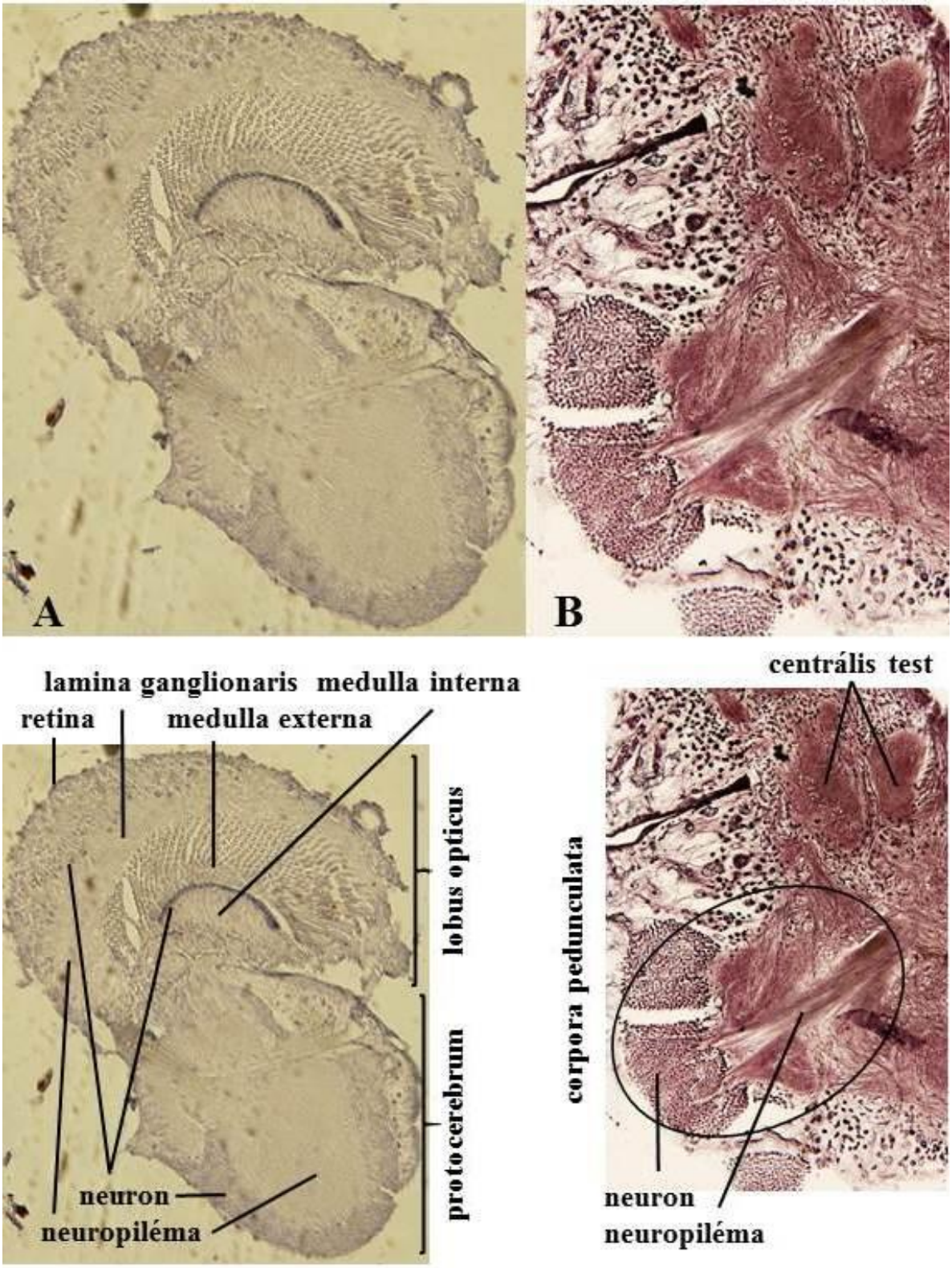
Az **ízeltlábúaknál** (*Arthropoda*), azon belül a rovaroknál (*Insecta*) újra szelvényezett idegrendszert találunk, melyben az idegsejtek többsége unipoláris, a dúcokat fejlett burkok veszik körül és a perifériás idegeket gliasejtek burkolják be. A rovarok idegrendszerének központi részét a hasdúclánc és az agydúc (*ggl. cerebrale*) (5.7. és 5.8. ábra) alkotják, ez utóbbi 3 részre tagolódik. A *protocerebrum* része a látólebeny (*lobus opticus*) (5.7.A. ábra), melyhez az összetett szemek csatlakoznak. Az *ocellaris* központ az egyszerű szemekkel áll kapcsolatban. Itt találjuk a centrális testet (5.7.B. és 5.8. ábra), ami neuropilémából épül fel. A nyeles- vagy más néven gombatest (*corpora pedunculata*) (5.7.B. és 5.8. ábra) egy integratív központ, és itt található a *protocerbralis* híd is, amely a jobb és bal oldali agydúc összekapcsolását végzi. A *ggl. cerebrale* másik két fő része a *deuterocerebrum*, mely a szaglási és a tapintási ingerek feldolgozását végzi és a *tritocerebrum*, amelyből a garatkörüli ideggyűrű rostkötegei indulnak ki.

Az **újszájú állatokon** (*Deuterostomia*) belül a tüskésbőrűeknél (*Echinodermata*) az idegrendszeri elemek az életmódjuknak megfelelően fejletlenek, az előgerinchúrosoknál (*Prochordata/Tunicata*) csak lárvakorban figyelhető meg a dorzális helyzetű csőidegrendszer, mint evolúciós újítás, a korábban nagyrészt hasi oldalon található központi idegrendszer teljes egészében a háti oldara kerül. Érdekes, hogy a kilépő idegek dorzális ágai motoros, míg a ventrálisak sensoros rostokat tartalmaznak, pont fordítva, mint a gerinceseknél. A kifejlett példányok helytülő életmódot folytatnak, mely során a központi idegrendszerük primitív dúccá redukálódik. A fejgerinchúrosok (*Cephalochordata/Acrania*) idegrendszere lárva- és felnőtt korban hasonló, de a központi idegrendszer nem nyúlik túl a gerinchúron (nincs *praechordalis* idegrendszerük, vagyis, bár van agyi hólyagjuk (*vesicula cerebralis*), az nem koponyában foglal helyet). Mivel a fejgerinchúrosok aszimmetrikusak, a jobb és bal oldali kilépő idegek nem esnek egy síkba.

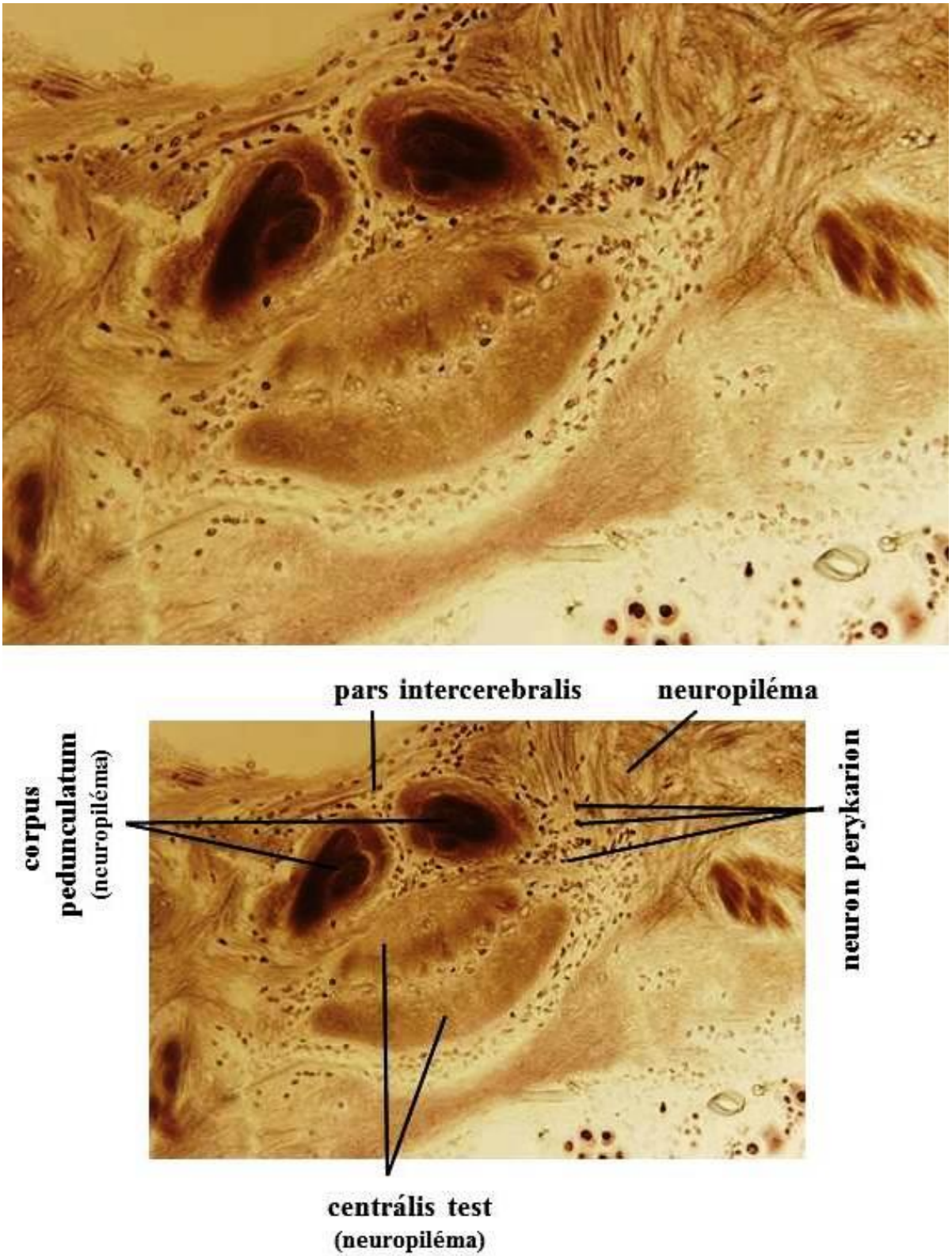
A **gerincesek** (*Vertebrata*) dorzális (háti) helyzetű csőidegrendszere szövettani szinten sok hasonlóságot mutat, a következőkben az emlősök központi idegrendszerének (5.9. ábra) mikroszkópos vizsgálatával foglalkozunk, különös tekintettel az emberre.



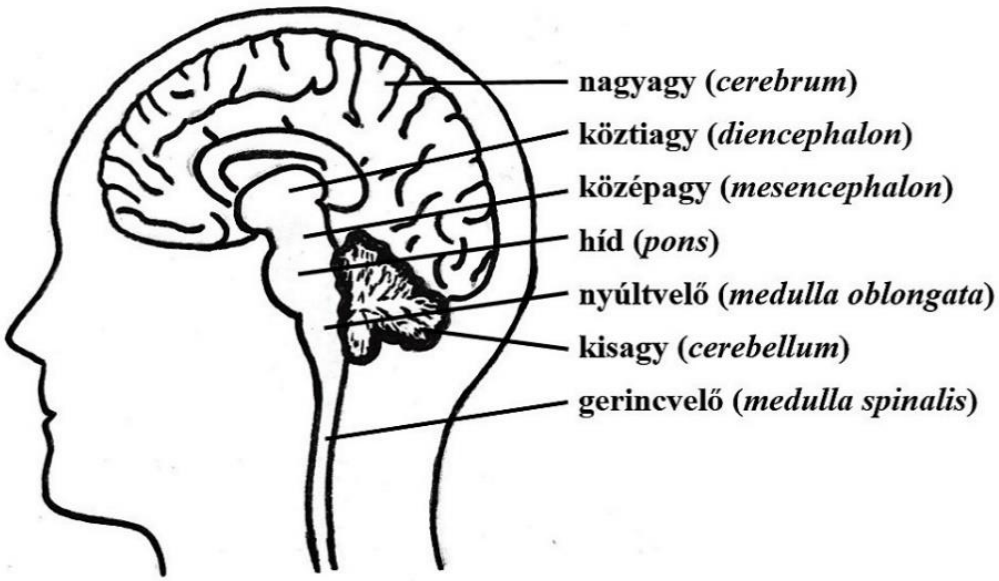
5.6. ábra: Éti csiga (*Helix pomatia*) keresztmetszet a garatideggyűrű elemeivel, 100x, Bielschowsky-féle impregnáció



5.7. ábra: Sárgaszegélyű csíkbogár (*Dytiscus marginalis*) agydúc keresztmetszetek, A: teljes frontális metszet az egyik oldali *protocerebrum*-ból, 100x, HE, B: részlet a *protocerebrum* mediális (középső) részéből, 400x, *Gömöri-Bargmann festés*



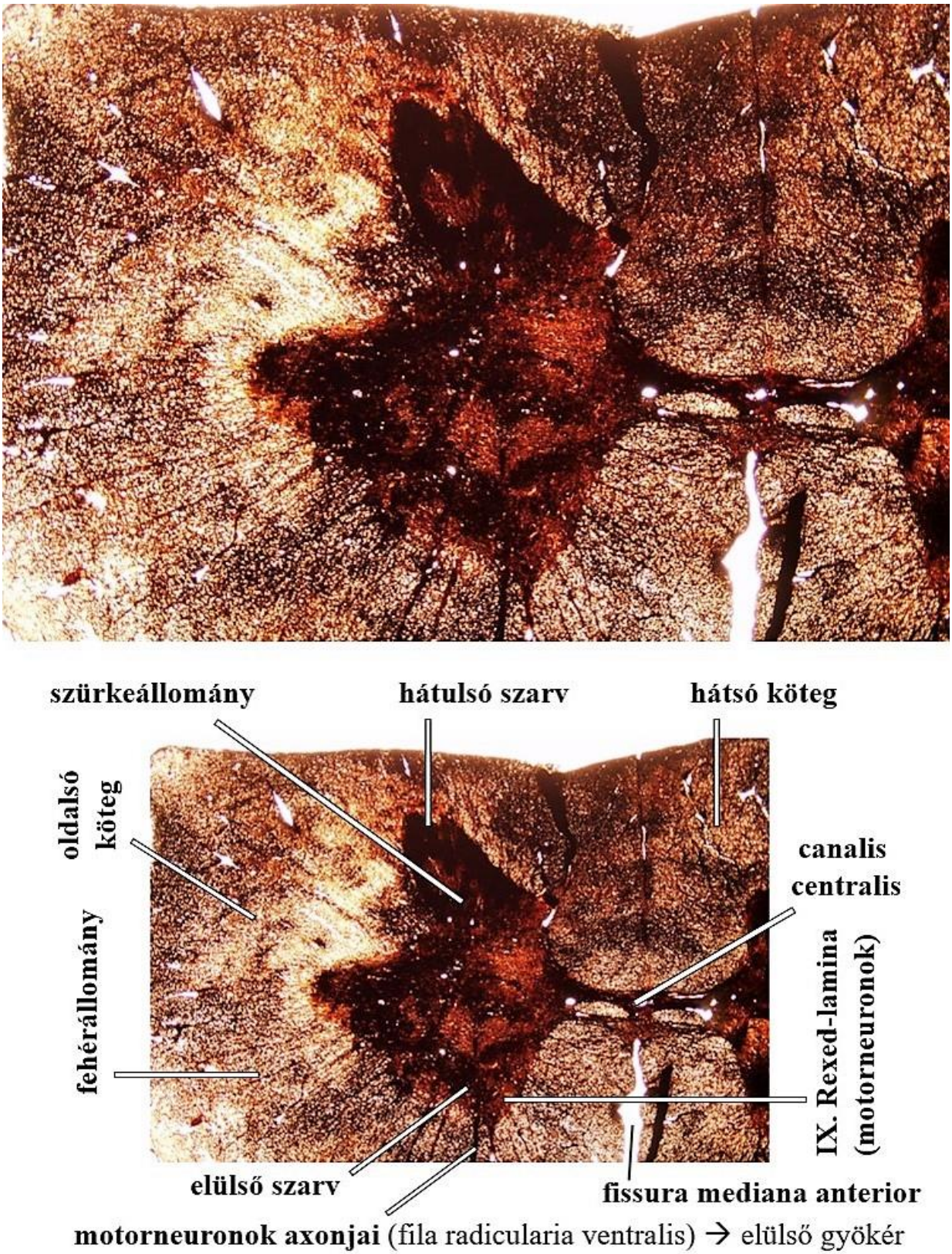
5.8. ábra: Sárgaszegélyű csíkbogár (*Dytiscus marginalis*) agydúc keresztmetszet, horizontális metszet a *protocerebrum*-ból, 400x, *Gömöri-Bargmann festés*



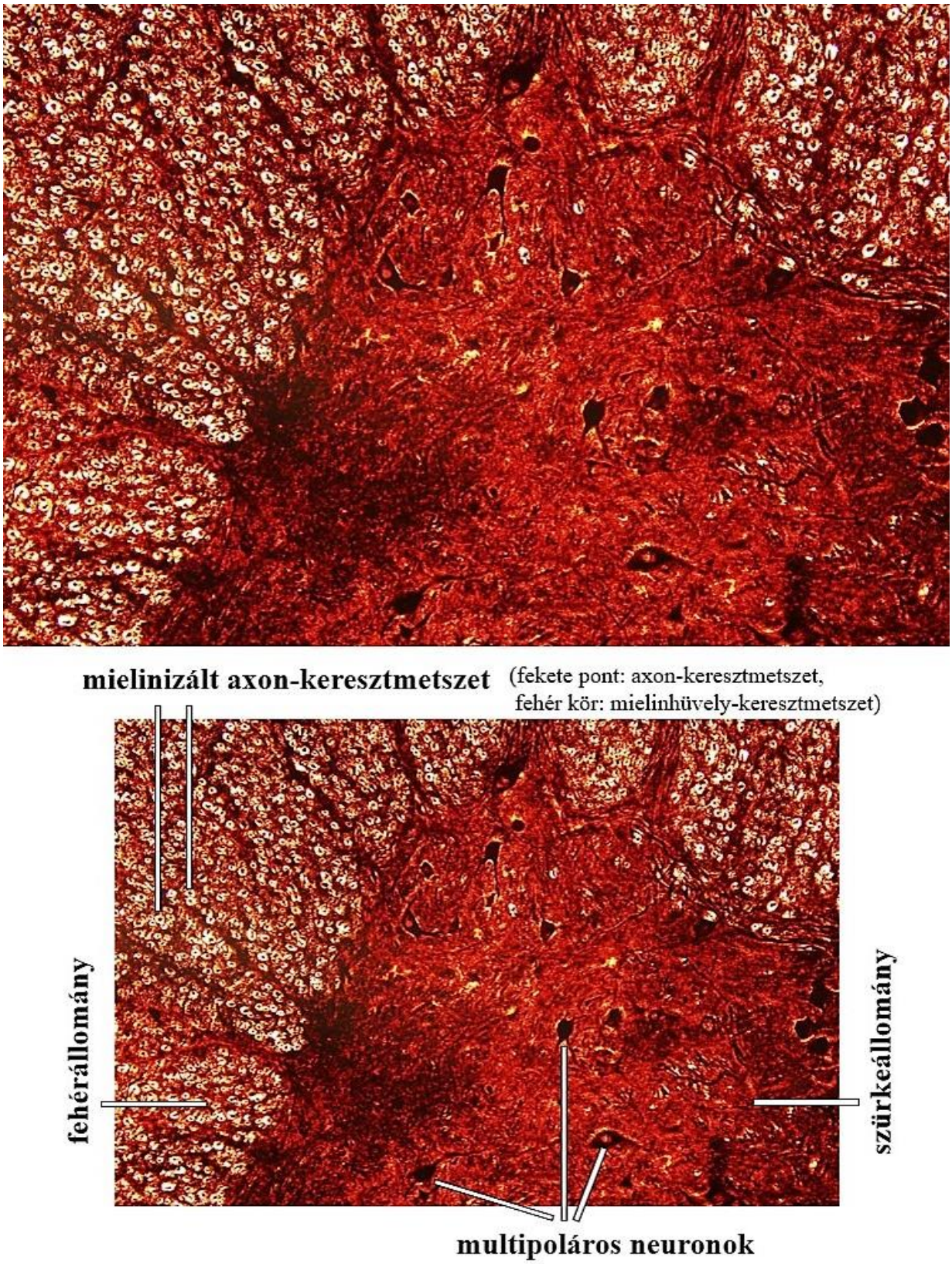
5.9. ábra: Az ember központi idegrendszerének sémás ábrája

A **gerincvelő** (*medulla spinalis*) (5.10. és 5.11. ábra) keresztmetszetén natív (festetlen) állapotban szabad szemmel belső szürkeállomány és külső fehérállomány különíthető el. A szürkeállományban találhatók az idegsejtek sejttestei és a nem szigetelt nyúlványok, míg a fehérállományt a mielinizált axonok alkotják. A gerincvelőben a neuronok morfológiailag és funkcionálisan is szegregálódnak (Rexed-féle laminák). A dorzális szarvban (*columna posterior*) kisebb érző interneuronok, a ventrális szarvban (*columna anterior*) nagy motorneuronok találhatók. A ventrális szarvban a proximális, elsősorban az egyensúly megtartásában szerepet játszó izmokat innerváló idegsejtek mediálisabb helyzetűek azokhoz képest, amelyek a disztálisabb izmokat idegzik be, ez utóbbiak a finom, manipulatív mozgások kivitelezői (*proximo-distalis* szabály). A mellső szarvon belül a flexorokat ellátó neuronok dorzálisabb helyzetűek, az extensorokat beidegző idegsejtek ventrálisabban foglalnak helyet (*flexor-extensor* szabály). Bár a morfológia (alak) és a funkció (működés) kölcsönösen meghatározza egymást, hagyományos szövettani módszerekkel csak anatómiai megfigyeléseket tehetünk, fiziológiai (élettani) megfigyeléseket nem, vagy csak nagyon korlátozottan.

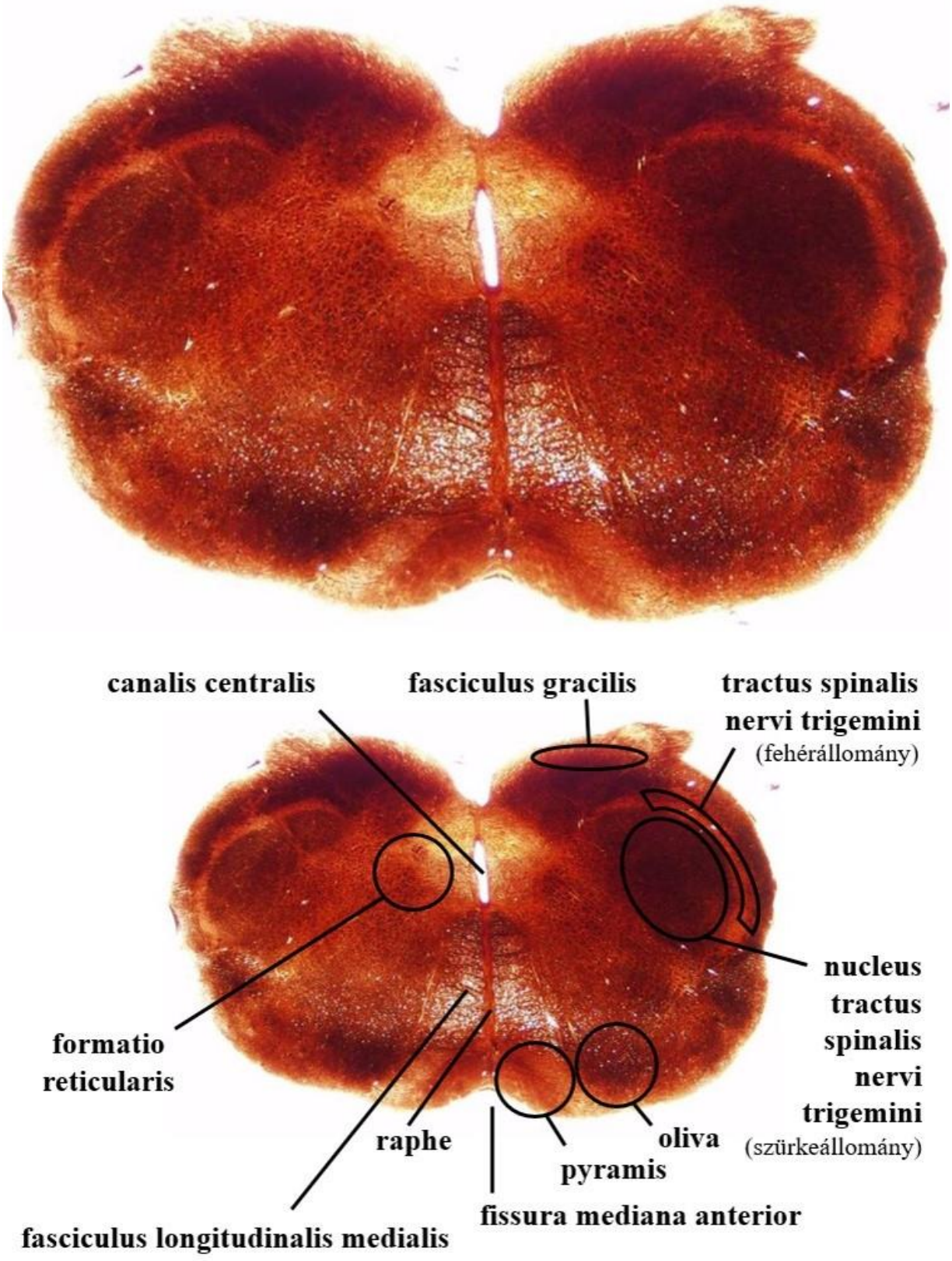
A **nyúltvelő** (*medulla oblongata*) (5.12. és 5.13. ábra), a **híd** (*pons*) és a **középagy** (*mesencephalon*) együttesét **agytörzsnek** (*truncus cerebri seu truncus encephali*) nevezzük, itt találhatók a legalapvetőbb életfunkciók (légzés, vérkeringés) szabályozó központjai, az agytörzs a gerincvelői funkciók közvetlen koordinátora, és valódi agyidegek csak innen erednek.



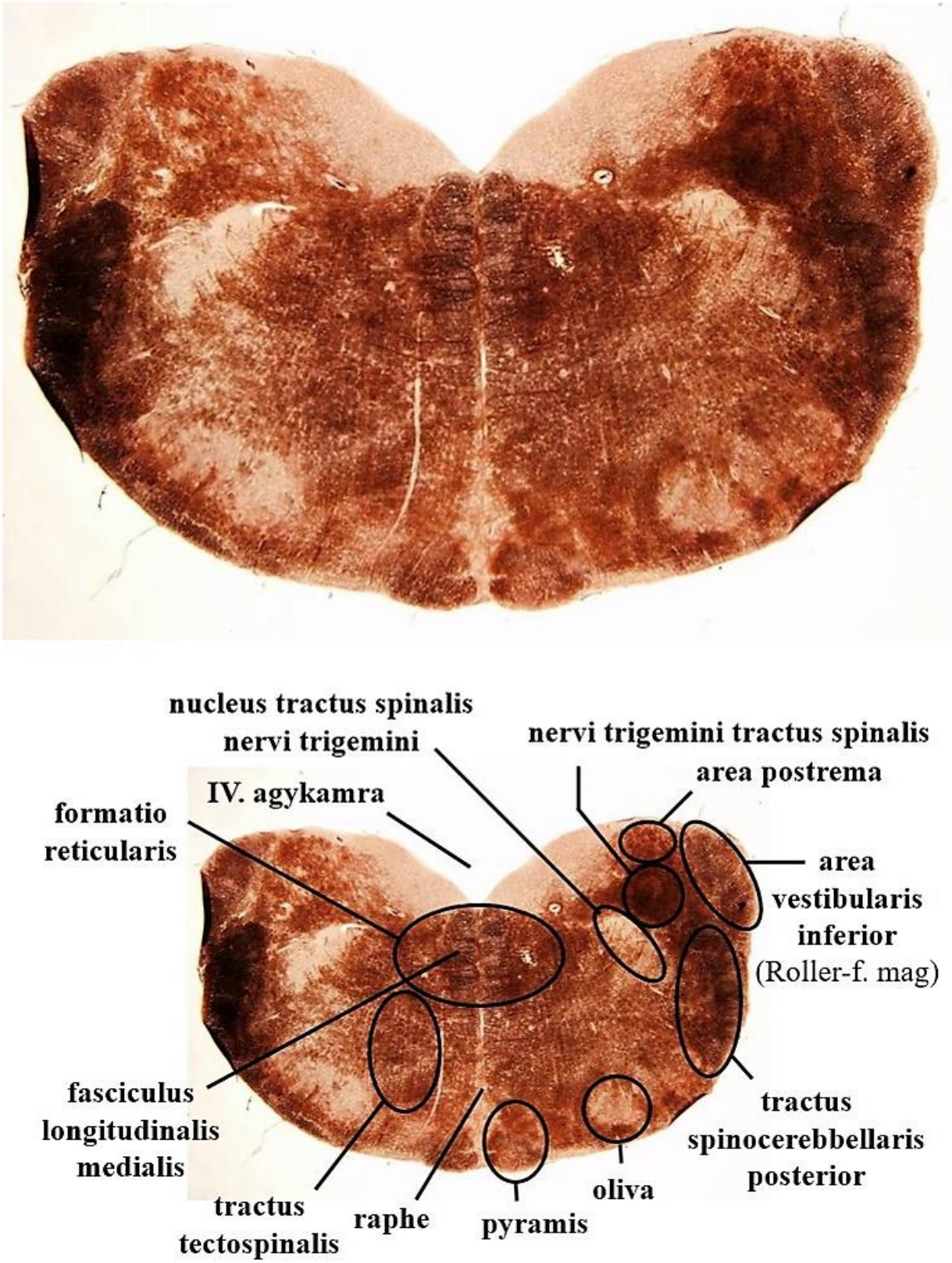
5.10. ábra: Szarvasmarha (*Bos taurus*) gerincvelő-keresztmetszet, 40x, ezüstimpregnáció



5.11. ábra: Ember (*Homo sapiens*) gerincvelő-keresztmetszet, 100x, ezüstimpregnáció



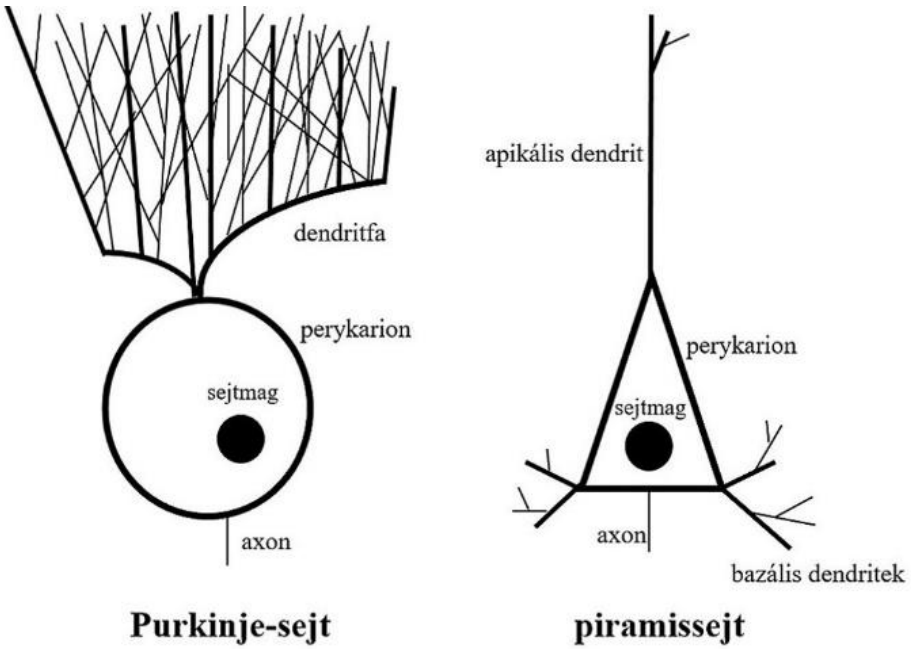
5.12. ábra: Mezei nyúl (*Lepus europaeus*) nyúltvelő-keresztmetszet (zárt rész), 40x, ezüstimpregnáció



5.13. ábra: Mezei nyúl (*Lepus europaeus*) nyúltvelő-keresztmetszet (nyílt rész), 40x, ezüstimpregnáció

Az agytörzs szövettani szerkezetében három jól elkülönült struktúra azonosítható:
- magcsoportok vagy magoszlopok (5.12. és 5.13. ábra), amelyek az agyidegek érző és motoros magvait tartalmazzák;
- a hosszú pályarendszerek (5.12. és 5.13. ábra), amelyek vagy átfutó (érző vagy motoros) pályák, vagy itt eredő, vagy itt végződő pályák;
- a *formatio reticularis* (agytörzsi hálózatos állomány) (5.12. és 5.13. ábra), amely a gerincvelői interneuronális sejtpopuláció folytatódása, az itt található idegsejtek neurotranszmitter tartalmuk és neuronális kapcsolataik alapján jól elkülönülő sejtcsoportokba rendeződnek (légzés, vérkeringés, alvás-ébrenlét, fájdalomérzés szabályozása).

A **kisagy** (*cerebellum*) egy összehasonlító (komparátor) agyterület, a szenzoros és a motoros rendszertől is kap információt, de ő maga nem vesz részt az érzékelésben, és mozgást sem kezdeményez, hanem igyekszik megakadályozni a nem megfelelő mozgásokat. Ennek megfelelően interneuronokat találunk a kisagykéregben, ezek közül a legjellegzetesebbek a középső rétegben elhelyezkedő Purkinje-sejtek (5.14., 5.15., 5.16. és 5.17. ábra), melyek nagy méretükről és jellegzetes alakjukról könnyen azonosíthatók.



5.14. ábra: A központi idegrendszer jellegzetes interneuronjainak sémás ábrája

A kisagykéreg három, mikroszkópban jól elkülöníthető rétegre tagolódik:
- legbelül, a fehérállomány mellett található a *stratum granulosum* (szemcsés réteg) (5.15. és 5.16. ábra), mely a kisméretű, de rendkívül nagyszámú szemcsesejtről könnyen felismerhető. Ebben a rétegben található még néhány Golgi-sejt, esetenként láthatunk moharostokat, melyek a kisagyi afferensek többségét adják, és itt alakulnak ki a kisagyi glomerulusok, amik úgy jönnek létre, hogy a szemcsesejtek bazális dendritjeihez serkentő hatású moharostok és gátló hatású Golgi-neuronok szinaptizálnak.

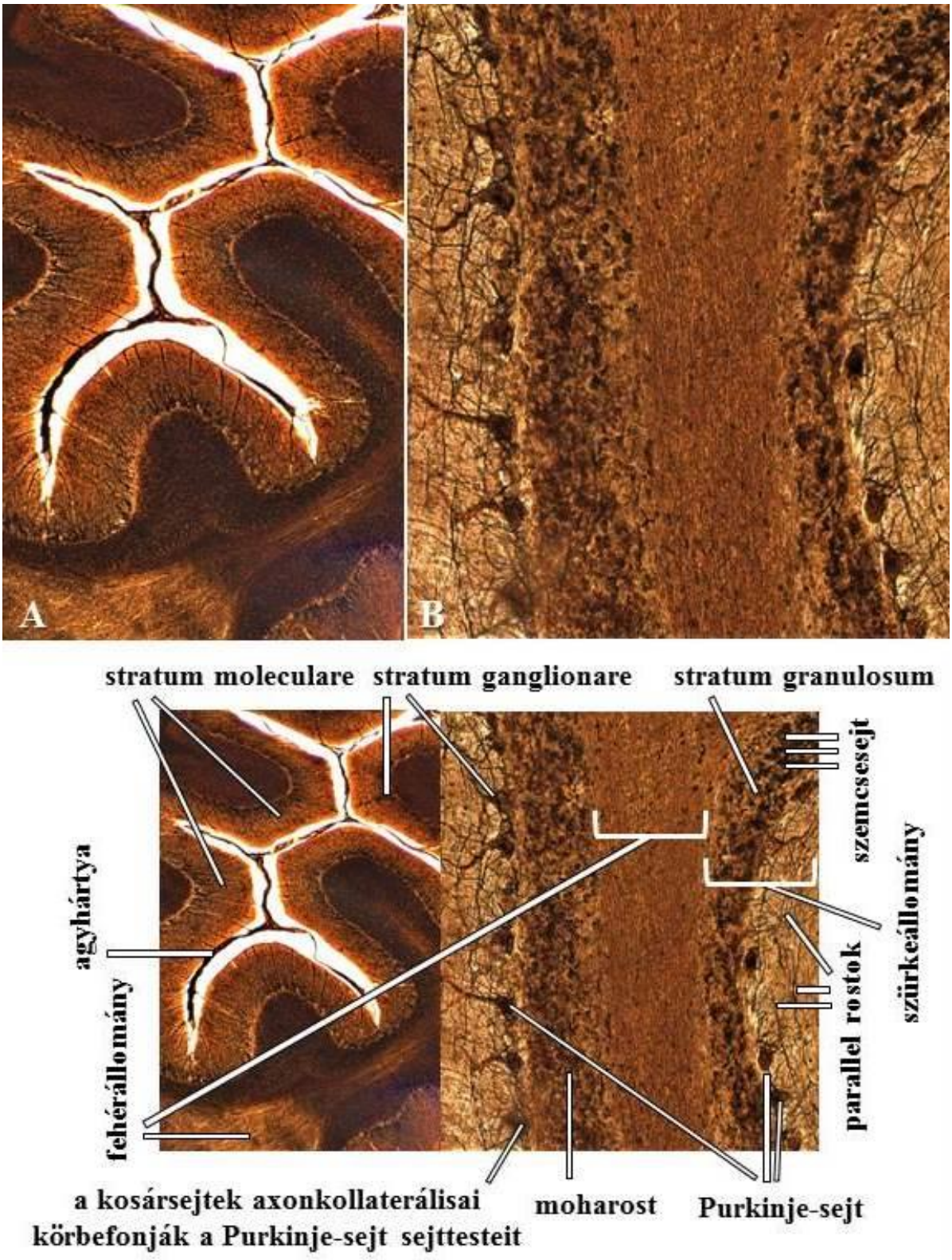
- a középső, vékony, egy sejtsor vastag *stratum ganglionare* (Purkinje-sejtek rétege) (5.15. és 5.16. ábra) a Purkinje-sejtek *perykarion*-jait tartalmazza. A *perykarion*-ok körül sok esetben megfigyelhetők a kosársejtek axonelágazódásai, melyek (kosárszerűen) körbefonják a Purkinje-sejtek sejttestét.
- a felszínhez közel helyezkedik el a sejtszegény *stratum moleculare* (molekuláris réteg) (5.15. és 5.16. ábra), amelyben a kosársejtek *perykarion*-jait és csillagsejteket találunk, valamint ebben a rétegben helyezkednek el a Purkinje-sejtek dendritfái és a szemcsesejtek T alakban elágazó axonjai (parallel rostok), és ide érkeznek a Purkinje-dendritfákra felcsavarodó kúszórostok is. A Purkinje-sejt dendritfája hatalmas, de az igazi fákkal ellentétben lapos, inkább legyezőre hasonlít, de rengeteg szinapszist tud kialakítani a rá merőlegesen érkező parallel rostokkal.

A **nagyagy** (*cerebrum*) két *hemisphaerium*-ból (félteke) áll, melyeket a *corpus callosum* (kérgestest, a legnagyobb *commissuralis* rendszer) kapcsol össze. Felszínét szürke kéregállomány borítja, belsejében fehérállomány és kéreg alatti szürkeállományi magvak vannak. A kéreg döntő többsége *neocortex*, vagyis törzsfejlődéstanilag igen fiatal, és 6 rétegre osztható (5.18. ábra). Tekervények (*gyrus*) és barázdák (*sulcus*) figyelhetők meg a felszínén, továbbá funkcionális működési egységekre osztható (pl. Brodmann-areák), és ehhez az agyterülethez kapcsolódnak a legmagasabb rendű idegi tevékenységek (emberi tudat, beszéd, gondolkodás). Minél fejlettebb egy idegrendszer, annál több interneuront tartalmaz, az emberi nagyagy csak interneuronokból áll, jellegzetes képviselőjük a piramissejt (5.14. és 5.19. ábra), amely mindenütt előfordul a nagyagyban, és részt vesz motoros, érző és asszociatív információk feldolgozásában egyaránt.

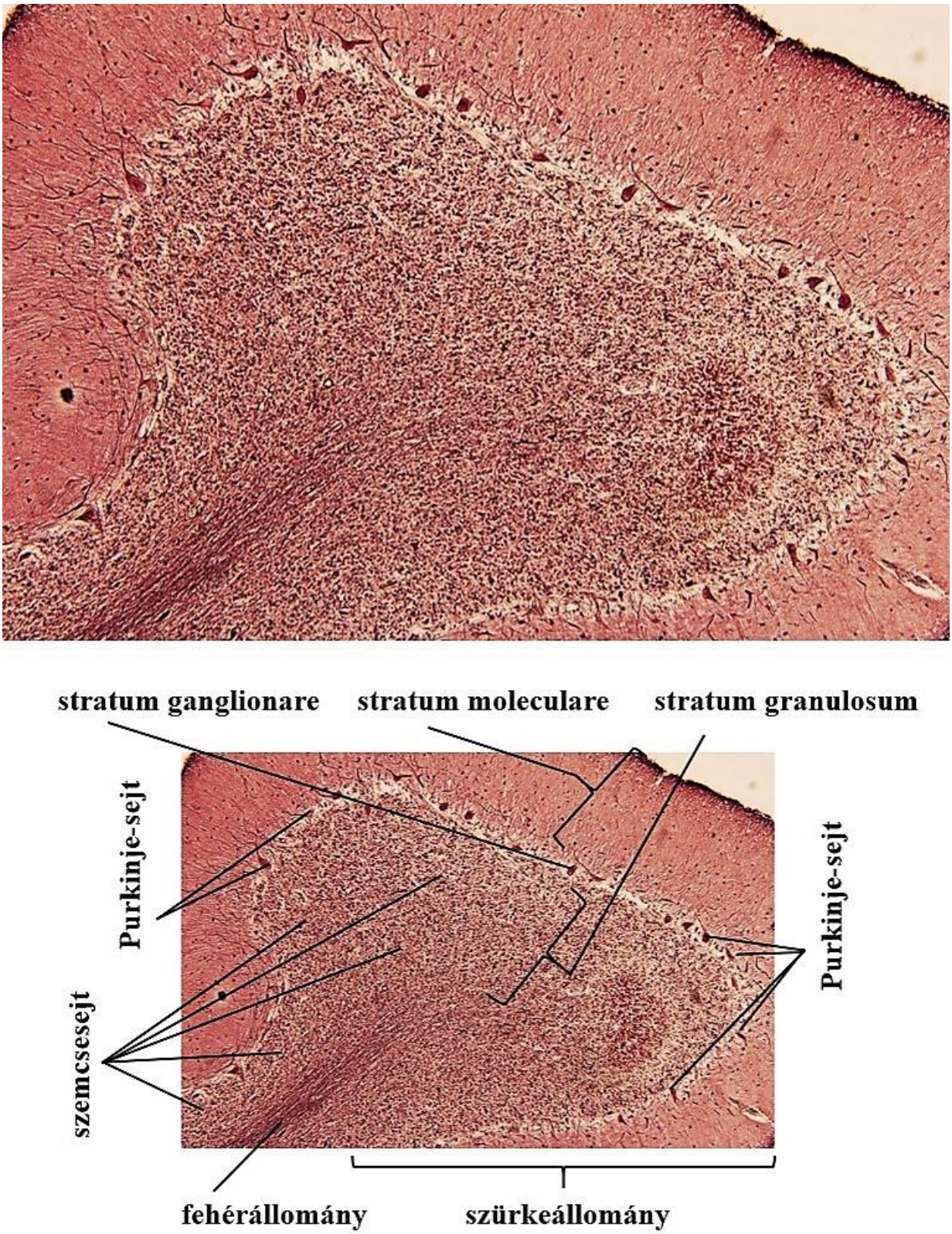
5.4. Mikroszkópos megfigyelések

A mikroszkópos gyakorlat során különböző állatokból és emberi szervekből készült szövettani metszeteken és preparátumokon keresztül áttekintjük az idegszövet és az idegrendszer egyes elemeinek a jellegzetességeit az egyszerűtől a bonyolult felé haladva, a komparatív (összehasonlító) állatanatómia, ezen belül az összehasonlító neuroanatómia szemléletét követve.

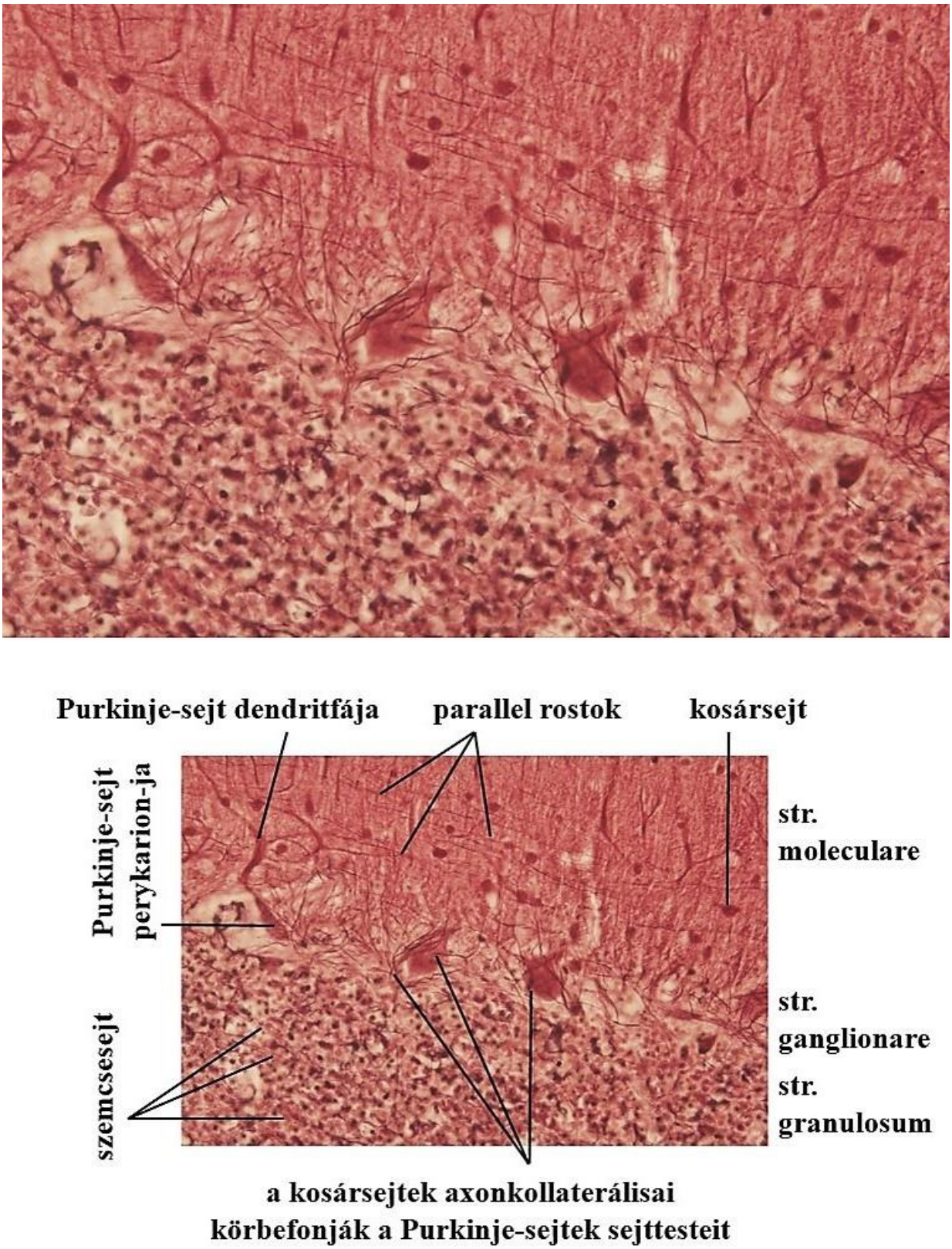
A mikroszkópi megfigyelések hasznos kiegészítője a mikroszkóp látómezőjében észlelt struktúrák lerajzolása, hiszen a fényképpel ellentétben a rajz egyfajta értelmezése a látottaknak, ezért sokkal szemléletesebb, főleg ha meg is nevezzük a releváns struktúrákat.



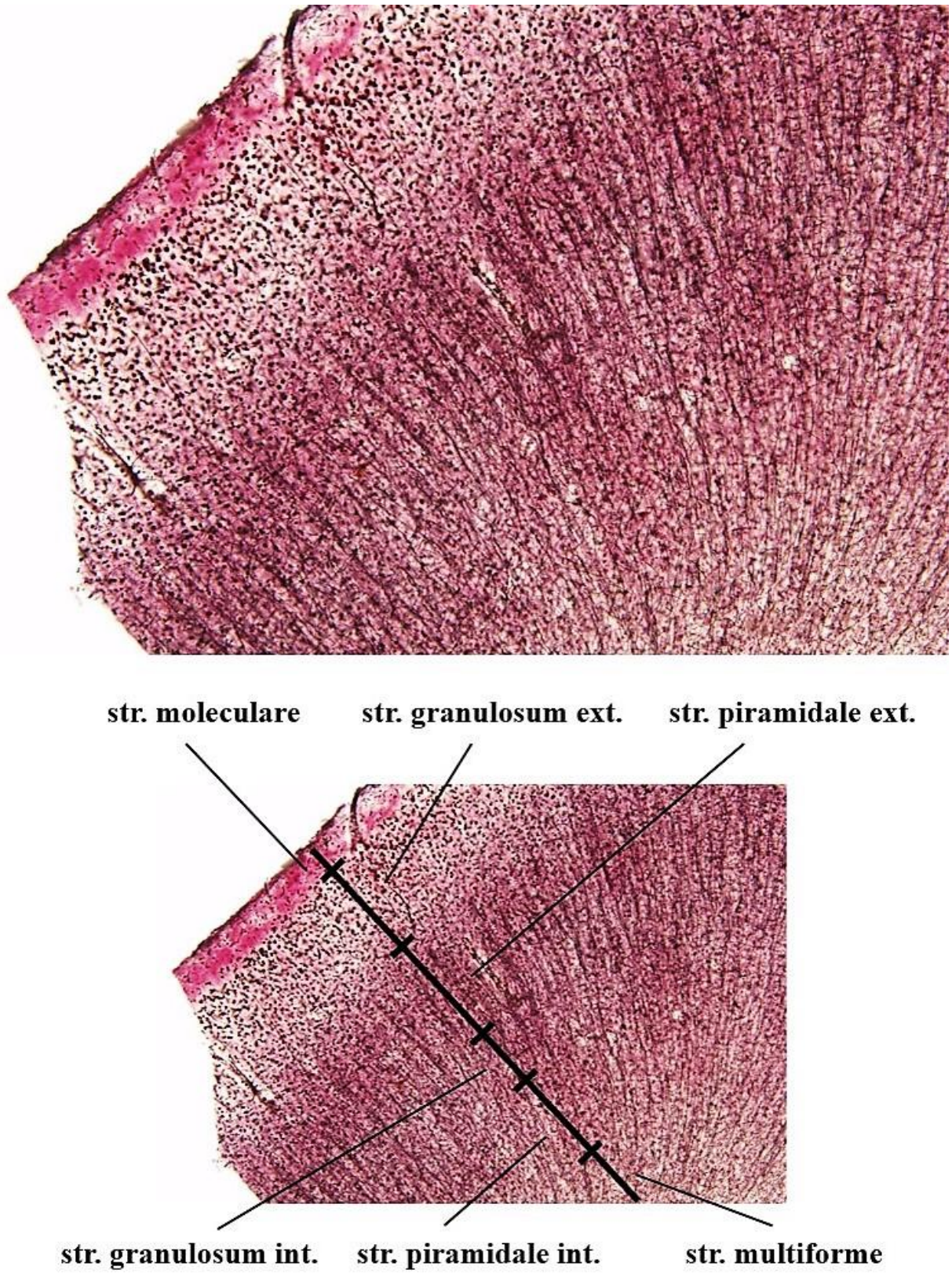
5.15. ábra: Szarvasmarha (*Bos taurus*) kisagy-metszetek, A: áttekintő kép, 25x, ezüstimpregnáció, B: részlet a kéregből és a fehérállományból 200x, ezüstimpregnáció



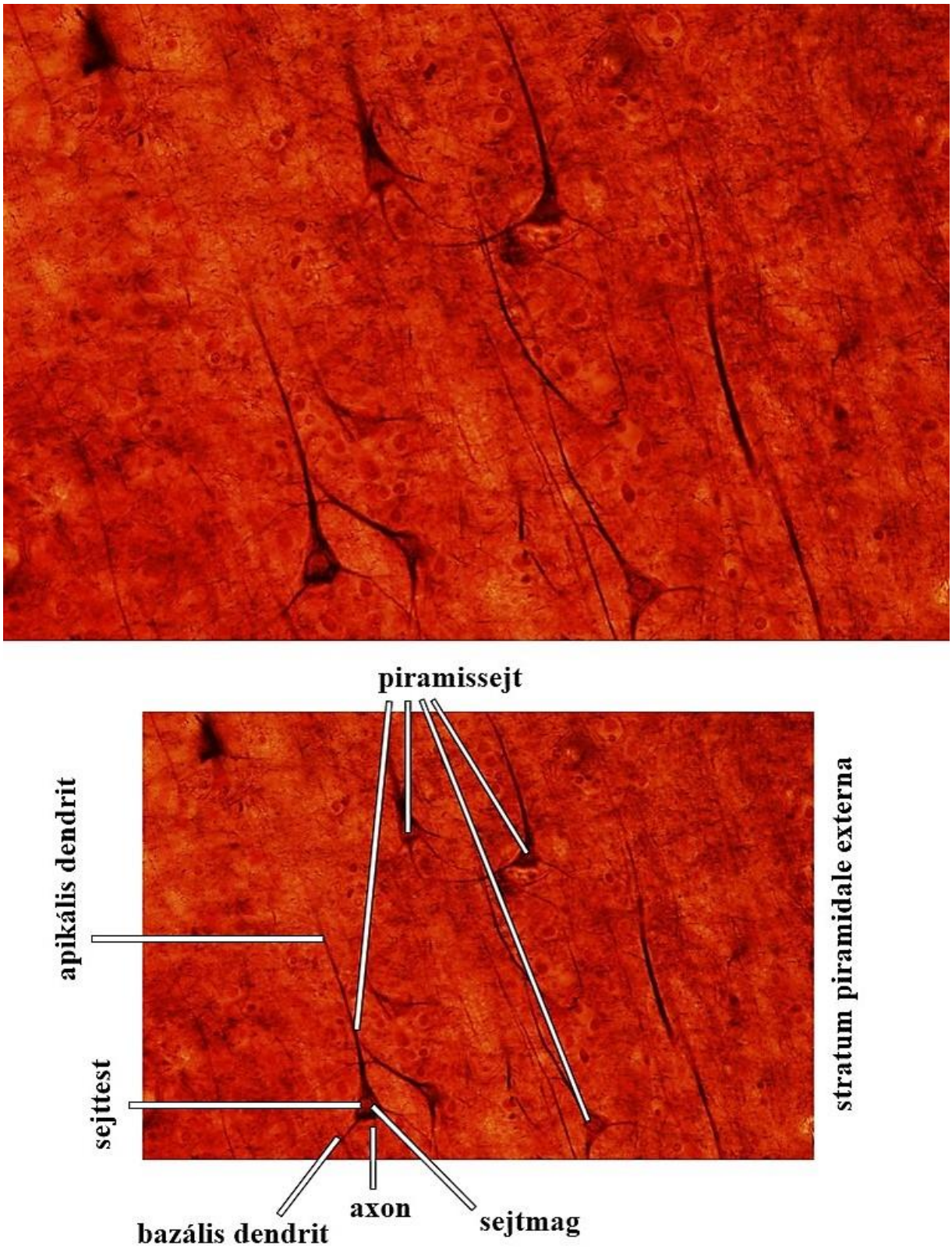
5.16. ábra: Ember (*Homo sapiens*) kisagy-keresztmetszet, 40x, ezüstimpregnáció



5.17. ábra: Ember (*Homo sapiens*) kisagy-keresztmetszet, 400x, ezüstimpregnáció



5.18. ábra: A *neocerebellum* 6 rétege, szarvasmarha (*Bos taurus*) agykéreg, 100x, Nissl-festés



5.19. ábra: Ember (*Homo sapiens*) nagyagykéreg-keresztmetszet, 400x, ezüstimpregnáció

5.5. Feladatok

Egyszerű választás

5.5.1. Emberben lehet-e interneuron a pszeudo-unipoláris idegsejt?
A. Igen.
B. Nem.
C. Igen, de csak ha a központi idegrendszerben van a *perykarion*-ja.
D. Nem, kivéve, ha a központi idegrendszerben van a *perykarion*-ja.

5.5.2. Melyik állítás nem igaz a központi idegrendszeri gliasejtek esetében?
A. Ilyen sejt például az oligodendrocita, az asztrocita és a Schwann-sejt.
B. Van, amelyik elektromosan szigetel.
C. Van, amelyik részt vesz a vér-agy gát kialakításában a gerincvelőben.
D. Van, amelyik képes befolyásolni az idegsejtek környezetének pH-ját.

5.5.3. Milyen sejtek fordulnak elő a kisagykéregben?
A. Purkinje-sejt, piramissejt, szemcsesejt, kosársejt
B. Piramissejt, szemcsesejt
C. Piramissejt, kosársejt
D. Purkinje-sejt, szemcsesejt, kosársejt

5.5.4. Melyek az agytörzs részei?
A. Gerincvelő, nyúltvelő, agyvelő
B. Köztiagy, középagy, nyúltagy
C. Köztiagy, középagy, híd
D. Középagy, híd, nyúltvelő

Többszörös választás

5.5.5. Melyik vesz részt a garatideggyűrű létrehozásában?
A. *Ggl. cerebrale*
B. *Ggl. suboesophagale*
C. *Connectivum*
D. *Commissura*

5.5.6. Melyik nem igaz a piramissejtre?
A. Motorneuron
B. Érzőneuron
C. Interneuron
D. Multipoláris neuron

5.5.7. Melyik állítás nem igaz?
A. A kisagykéreg 3 rétegre osztható.
B. A nagyagykéregben szürke- és fehérállomány figyelhető meg.
C. Az éti csiga agydúca több dúc egyesülésével jön létre, ezért dúckomplexumnak nevezzük.
D. Mielinhüvellyel rendelkező axonok a központi és a perifériás idegrendszerben is előfordulnak.

5.5.8. Melyik állítás igaz?
A. A csalánozóknál jelenik meg az idegrendszer.
B. A laposférgeknél jelenik meg a központosult idegrendszer.
C. A hengeresférgeknél jelenik meg a központosult idegrendszer.
D. A rovaroktól kezdődően beszélhetünk kefalizációról abban az értelemben, hogy a feji részen lesz az agy.

Kifejtős kérdés

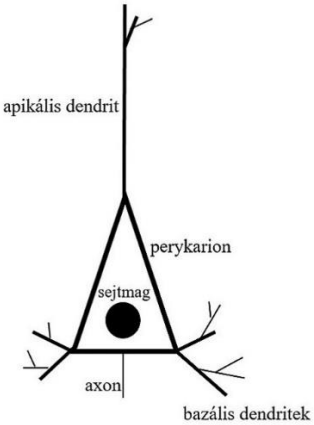
5.5.9. Hogy nevezzük azokat a kisagyi sejteket, amelyek az akaratlagos mozgások elindításáért felelősek? Milyen típusba sorolhatók ezek a neuronok, milyen jellegzetességeik vannak?

Rajzos feladat

5.5.10. Rajzold le és nevezd meg a nagyagykéreg jellegzetes alakú interneuronját, mely részt vesz a magasabb rendű idegi tevékenységekben is! Jelöld a főbb sejtalkotókat is!

5.6. A feladatok megoldásai

5.5.1. B
5.5.2. A
5.5.3. D
5.5.4. D
5.5.5. A, B, C, D
5.5.6. A, B
5.5.7. B, C
5.5.8. C, D
5.5.9. Nincsenek ilyen sejtek, a kisagy nem kezdeményez mozgást, a folyamatban lévő mozgások közül próbálja megakadályozni a nem megfelelőeket.
5.5.10.



piramissejt

5.7. Felhasznált és ajánlott irodalom

Bagyánszki M (2008) Összehasonlító Állatszervezettani munkafüzet 2. Az idegrendszer szerveződése. JATEPress, Szeged
Bagyánszki M, Fekete É (2008) Összehasonlító állatszervezettani előadások. JATEPress, Szeged
Fehér G (2004) A háziállatok funkcionális anatómiája. Mezőgazda Kiadó, Budapest
Putz R, Pabst R (2000) Sobotta Atlas of Human Anatomy. 13th edition. Lippincott Williams & Wilkins, Munich
Ross MH, Pawlina W (2006) Histology. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore
Vigh HB, Kondics L (1989) Összehasonlító szövettan. Egyetemi tankönyv. Tankönyvkiadó, Budapest
Zboray G (1996) Az idegrendszer. Eötvös Lóránd Tudományegyetem, Eötvös Kiadó, Budapest.
Zboray G (2010) Összehasonlító anatómiai praktikum I. és II. Nemzeti Tankönyvkiadó Zrt., Budapest

6. GENETIKAI KÍSÉRLETEK AZ ECETMUSLICA FELHASZNÁLÁSÁVAL

6.1. Az ecetmuslica mint genetikai modellszervezet

Az ecetmuslicát (*Drosophila melanogaster*) az 1900-as évek elején Thomas Hunt Morgan használta először genetikai kísérleteiben. Ő állapította meg a nemhez kötött öröklődés szabályszerűségeit, és megalkotta a kromoszóma elméletet, amely a gének elhelyezkedését a kromoszómákhoz kötötte. Morgan nevéhez fűződik az első morfológiai mutánsok azonosítása, illetve az első genetikai térkép elkészítése. Morgan 1933-ban a kromoszómák öröklődésben betöltött szerepének tisztázásáért Orvosi Nobel-díjban részesült. Eredményei messze túlmutattak az ecetmuslica genetikai törvényszerűségeinek megismerésénél, általánosan igaznak bizonyultak az élővilágban. Munkássága megalapozta az ecetmuslica mint genetikai modellszervezet használatát.

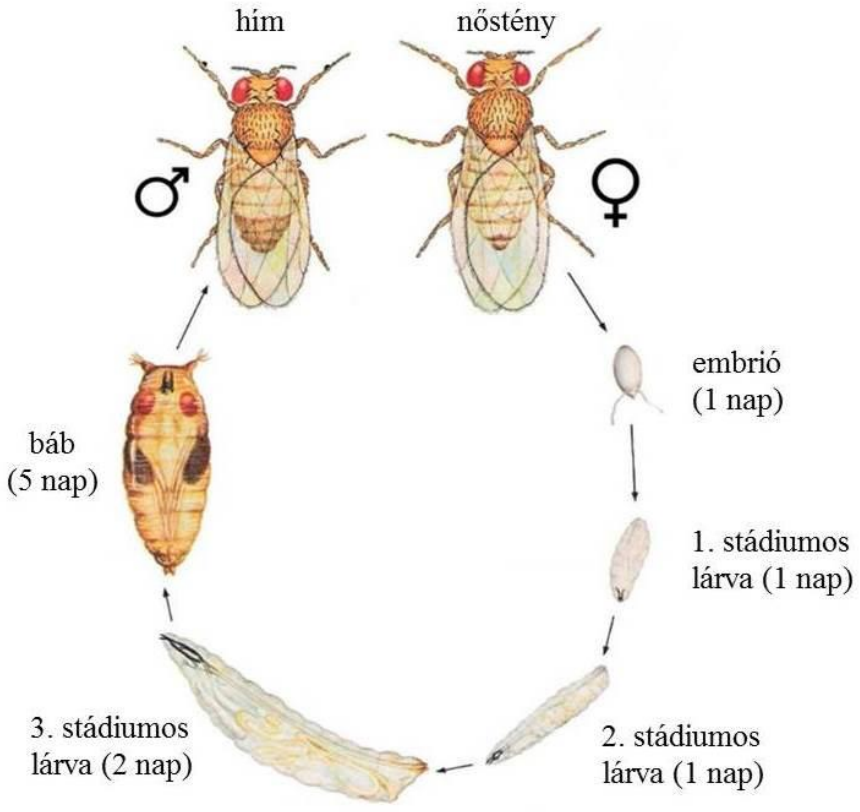
Az ecetmuslica előnyös tulajdonságai: a kis méret, olcsó és egyszerű tenyészthetőség, rövid generációs idő (25 ^{o}C-on 10 nap), nagy utódszám (több száz utód/szülőpár), egyszerű keresztezhetőség, kis kromoszómaszám (4 pár). Az elmúlt több mint száz évben mutánsok ezreit azonosították, és a modern genetikai eszköztárnak köszönhetően ma már bármely génben elő tudunk állítani mutációt. Nagyszámú életképes, de látható fenotípust okozó ún. marker mutáció létezik, melyek jól használhatók például gének kromoszómákra történő lokalizációjához, valamint a kromoszómákon a gének helyzetének térképezéséhez. Ezen marker mutációk között vannak recesszív, illetve domináns öröklődést mutatók is. A nagyszámú, jól jellemzett kromoszómamutációt hordozó törzsek szintén hasznos genetikai eszközök. Így például a deléciós térképezéshez *Drosophila*-ban hozzáférhető egy olyan mutáns gyűjtemény, amelyben átfedő deléciók sorozata a kromoszómák több mint 75%-át lefedi. A biokémiai, molekuláris biológiai és mikroszkópi technikák fejlődése lehetővé tette a sejt-, szövet- és szervszintű megfigyeléseket az ecetmuslicában. Az alapvető, a sejtosztódást meghatározó gének mellett, a viselkedés, tanulás tanulmányozására is alkalmas modellszervezetnek bizonyult az ecetmuslica. 2000-ben befejeződött a teljes ecetmuslica genom nukleotid sorrendjének meghatározása, ami nagyban megkönnyíti a molekuláris szintű vizsgálatokat. A *Drosophila* genom mérete mintegy 180 megabázispár (Mbp), jelenlegi becslés szerint kb. 17727 gént tartalmaz.

A hagyományos mutagén kezelésekkel végzett mutagenezis kísérletek mellett manapság a *Drosophila* genetikában is előtérbe került az ún. transzpozonos mutagenezis, mely során ugráló génekkel, ún. transzpozonokkal beépüléseket hoznak létre. A módszer azon alapszik, hogy az alkalmazott transzpozon DNS szakasza beékelődve egy adott gén szekvenciájába megváltoztathatja annak kifejeződését, ily módon az adott gént elronthatja, mutáns allélje jön létre. A transzpozonos mutagenezis nagy előnye, hogy a gének területére beépülő több ezer bázispár hosszúságú ismert nukleotid sorrendű transzpozon szakaszok a genomban könnyen megtalálhatók. A genom szekvenciájának ismeretében bázispár pontossággal térképezhetők, ily módon az általuk érintett gének könnyen azonosíthatók.

Az ecetmuslica modellszervezet felhasználásával számos alapvető biológiai kérdés került megválaszolásra, és az átütő eredményekért Nobel-díjban részesítették a következő kutatókat:
1933. Thomas Hunt Morgan: A kromoszómák szerepe az öröklődésben
1946. Hermann Joseph Muller: A röntgensugárzás mutagén hatásának vizsgálata
1995. Edward B. Lewis, Christiane Nüsslein-Volhard, Eric F. Wischaus: A korai embriogenezis genetikai szabályozásának vizsgálata
2011. Jules Hoffmann: A veleszületett immunitás vizsgálata
2017. Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash, Michael W. Young: A cirkadián ritmus génjeinek leírása

6.2. Az ecetmuslica életciklusa

Az ecetmuslica teljes átalakulással fejlődő rovar (6.1. ábra). A megtermékenyülést követően a pete burkán belül játszódik le a kb. 24 óra hosszú embrionális fejlődés. A petéből 1. stádiumos lárvák (L1) kelnek ki, melyek szintén kb. egy nap elteltével vedlenek 2. stádiumos lárvákká (L2), illetve újabb egy nap múlva 3. stádiumos lárvákká (L3). A hozzávetőlegesen két nap hosszúságú L3 stádium végén az állatok bebábozódnak, majd a bábban kialakuló kifejlett egyedek a bábozódást követően kb. öt nap múlva kelnek ki. A 3. lárvastádiumban minden olyan anyagot megszintetizálnak a lárvák, amelyekre a teljes átalakulás során szükségük lesz a báb stádiumban.

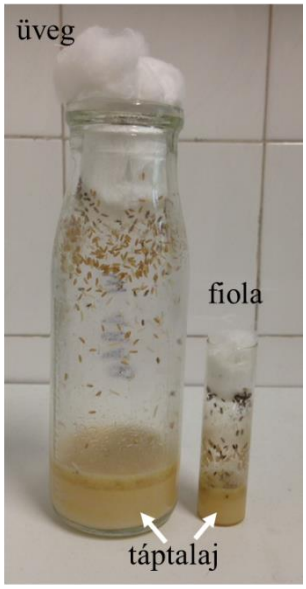


6.1. ábra: Az ecetmuslica életciklusa 25 ^{o}C-on

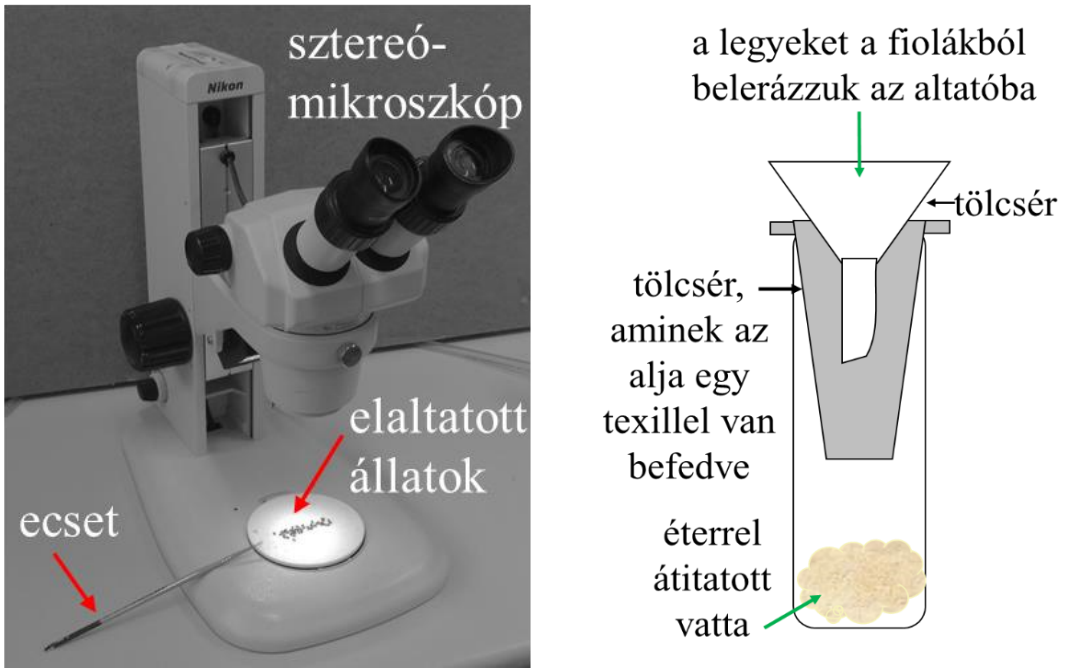
6.3. Az ecetmuslica tenyésztése

6.3.1. Az ecetmuslica tenyészet fenntartása és vizsgálata

Az ecetmuslicákat egy élesztő-kukoricadara-cukor alapú táptalajon tarjuk fenn. A táptalajt műanyag vagy üveg fiolákba adagoljuk, és a legyeket a megszilárdult táptalaj felületére rázzuk. A fiolákat vattadugóval zárjuk le, amely lehetővé teszi a szellőzést, de megakadályozza a legyek elrepülését (6.2. ábra). Nagyobb egyedszám előállításához a tenyészeteket nagyobb üvegekben tartjuk. Az állatokat 25 ^{o}C-on 4 hetente, ennél alacsonyabb hőmérsékleten (>17 ^{o}C) 5 hetente rázzuk át friss táptalajt tartalmazó üvegbe. Az első és második stádiumos lárvák a táptalaj felületén figyelhetők meg, a harmadik stádiumos lárvák az üveg felületére kimászva száraz felszínt keresnek a bebábozódáshoz. A bebábozódott állatok az üveg falán figyelhetők meg.



6.2. ábra: Az ecetmuslica tenyészet fenntartására alkalmas üvegek



6.3. ábra: Az állatok vizsgálatára használt sztereómikroszkóp és az éteres altatásra alkalmas altatórendszer

Ahhoz, hogy a keresztezésekhez válogatni tudjuk a muslicákat, és felismerjük az egyes markerek jelenlétét, szükség van az altatásukra, amely éter használatával valósítható meg. Az ecetmuslicákat éteres altatást követően sztereómikroszkóp segítségével tudjuk vizsgálni (6.3. ábra). Az állatokat az altató edényből a sztereómikroszkóp fehér felületű vizsgáló korongjára

helyezzük, és egy ecset vagy hegyes csipesz segítségével tudjuk forgatni az állatokat, így a külső morfológiai bélyegek jól megfigyelhetők rajtuk. Az altatáshoz ma szén-dioxidot használnak legtöbb laboratóriumban, aminek legfőbb előnye, hogy a muslicák csak addig alszanak, amíg szén-dioxidot kapnak, ezt követően felébrednek, és fertilitási képességük is megmarad.

6.3.2. Táptalaj összetétele és annak elkészítése

A természetben az ecetmuslicák érett vagy túlérett gyümölcsökön található élesztőgombát, baktériumot és növényi anyagot fogyasztanak. Morgan az ecetmuslicák tenyésztésénél még banán alapú táptalajt használt. A laboratóriumokban ma az ecetmuslicákat egy kukoricadarát és élesztőt tartalmazó táptalajon tenyésztjük. A táptalaj szilárdságát biztosító agar (VWR) és a gombák elszaporodását gátló nipagin kivételével minden hozzávaló élelmiszerboltokban is beszerezhető.

100 ml táptalaj összetevői:

3 g szárított élesztő
0,7 g agar
4 g kukoricadara
2 g búzaliszt
9 g cukor
600 µl nipagin
50 ml víz

A száraz összetevőkhöz egyenletes keveréssel hozzáadjuk a vizet, és 20 percig főzzük. A nipagint a ~80 °C-osra hűlt táptalajba keverjük. Fiolánként kb. 5-8 ml táptalajt mérünk ki. A szilárdulást követően háztartási vattával zárjuk le a fiolákat, ami lehetővé teszi a levegő szabad áramlását, de a legyek kiszabadulását megakadályozza. A táptalajjal töltött fiolákat hűtőszekrényben (4 °C-on) 3 hétig is eltarthatjuk. Az állatok fiolák közötti mozgatását egyszerűen megoldhatjuk, amennyiben egy határozott mozdulattal átrázzuk a legyeket a friss táptalajt tartalmazó fiolába. Ha bizonytalanok vagyunk, éteres altatást is alkalmazhatunk. Jelenleg nincs hatékony módszer a felnőtt egyedek és lárvák fagyasztására majd regenerálására, így a muslica vonalak fenntartásának módja a felnőttek folyamatos átrázása friss táptalajra.

6.3.3. Éteres altatás hatásának vizsgálata

Az éteres altatást évtizedeken keresztül használták biztonságosan a laboratóriumokban. Néhány dologra azonban figyelni kell az éteres altatás során. Az éter gyúlékony anyag, kellő óvatossággal kell kezelni. A 6.3. ábrán látható altatóüveg könnyen elkészíthető. Az üveg aljára vattapamacsot helyezünk, és 1-2 ml étert rácsepegtetünk. Az éteres altatás esetén mindig gondoskodjunk a helyiség megfelelő szellőztetéséről. Az éter használata esetén mindig tanári felügyelet szükséges.

Az éterrel történő altatás során arra is figyelni kell, hogy ne altassuk túl a muslicákat, mert ez enyhébb esetben a fertilitásuk erőteljes csökkenését, súlyosabb esetben a halálukat

okozza. A túlaltatott muslicák arról ismerhetők fel, hogy szárnyaik a hátuk fölött párhuzamosan-vertikálisan állnak, és lábaik mereven kinyúlnak.

Fontos az éterrel történő altatás optimális idejének meghatározása a további sikeres keresztezések érdekében.

6.3.4. Elvégzendő feladat

Az étert tartalmazó altatóedénybe rázz bele 10 muslicát, amelyet már előző nap leválogattál egy fiolába, és várd meg, amíg enyhe rázogatással az altató alján tartott muslicák elalszanak (kb. 40 másodperc)! Amikor mindegyik elaludt, várj további 30 másodpercet, majd tedd ki a muslicákat a sztereómikroszkóp vizsgáló korongjára, és jegyezd fel, hogy mennyi idő múlva ébredtek fel (szárnyukat, lábukat mozgatták, elkezdtek megfordulni)!

Végezd el ugyanezt a kísérletet az altatási időtartam 30 másodperccel történő emelésével, az elalvást követően (+1 perc, +1,5 perc, +2 perc)! Jegyezd fel, hogy melyik altatási időtartam volt a legmegfelelőbb, azaz volt elég idő a válogatásra, és a muslicák mindegyike a vizsgálat után felébredt! Ez lesz az optimális altatási időtartam a későbbi alkalmakkor.

Megjegyzendő, hogy az éteres altatás szükség esetén többször ismételhető, de az állatok fertilitásának csökkenésével járhat.

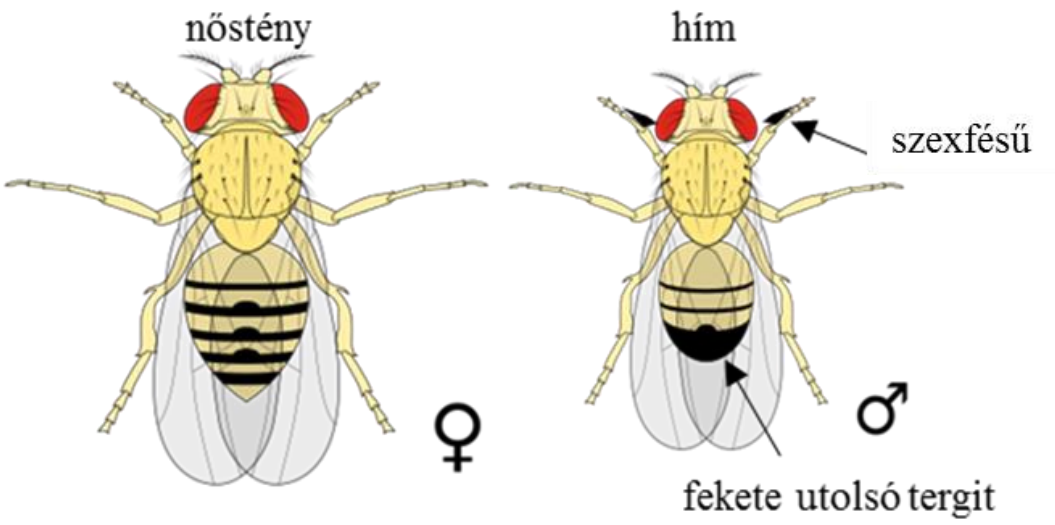
6.4. Az ecetmuslica külső morfológiai bélyegei

6.4.1. Az ecetmuslica külső morfológiai bélyegeinek megfigyelése

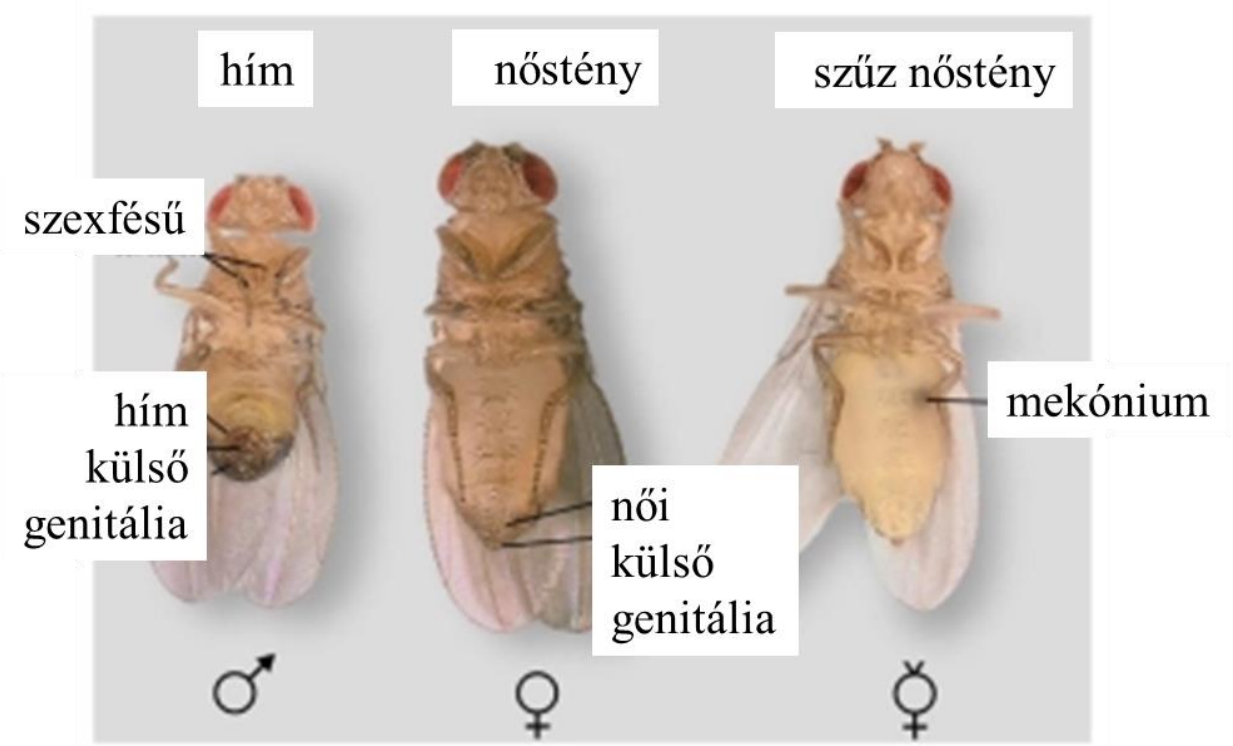
Az ecetmuslica testtájai (fej, tor potroh) jól elkülöníthetők. Jellegzetes kutikula függelékek figyelhetők meg az egyes testtájakon. A fejen az összetett szemeket elemi szemek alkotják, amiket ommatídiumoknak nevezünk.

A *Drosophila* hímek és nőstények egymástól jól megkülönböztethetők. Ez nagyban megkönnyíti a keresztezések irányított végrehajtását. A két nem közötti legszembetűnőbb külső bélyegek a következők (6.4. és 6.5. ábra):

- a hímek első pár lábán kitin fogacskákból álló ún. szexfésű található;
- a hímek potrohának utolsó két háti lemeze (*tergit*) teljesen fekete, ellentétben a nőstényekkel, ahol a sötét pigmentáció csupán a háti lemezek hátsó részére korlátozódik;
- a nőstények nagyobbak a hímeknél, potrohukat kitölti a petékkel teli ovárium;
- az egyik legszembetűnőbb különbséget a nemek között a külső genitáliák mutatják, amit a hát hasi oldalán tudunk megfigyelni.



6.4. ábra: Az ecetmuslicák ivari dimorfizmusának külső bélyegei

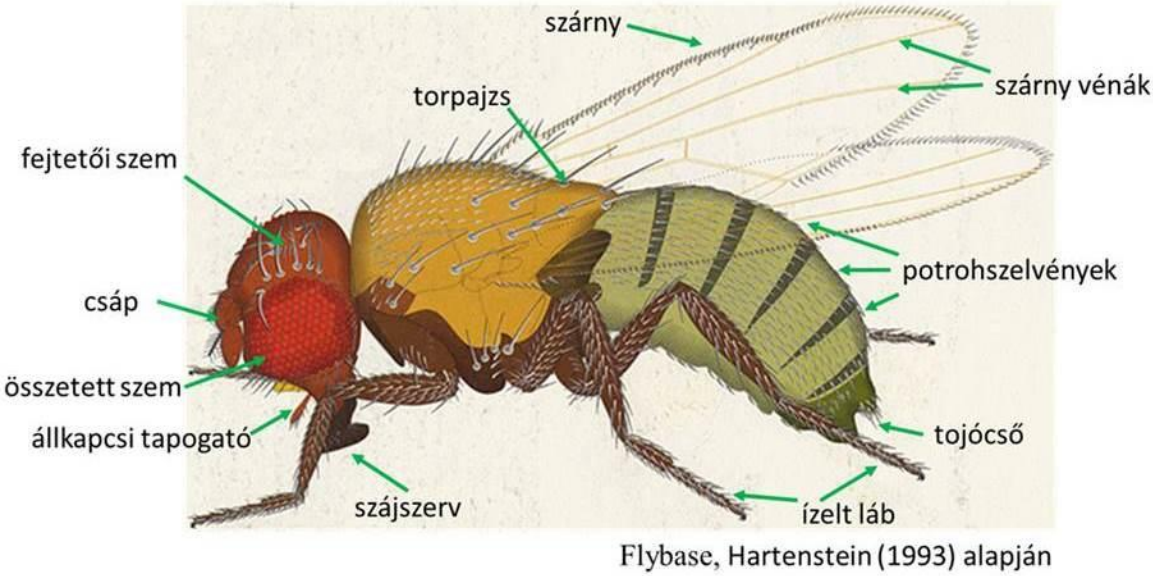


6.5. ábra: A hímek és nőstények ivarspecifikus jegyei és a szűz nőstények külső bélyegei, mint a hamvas, világos test, a mekónium felhalmozódása a belekben szintén megfigyelhetők

Az ecetmuslica nőstények párzás után elraktározzák a hím ivarsejteket, és több napon keresztül ezeket használják petéik megtermékenyítésére. Ezért a sikeres keresztezések végrehajtásához szűz nőstényekre van szükség. A kifejlett ecetmuslica egyedek a kikelés után 6-8 óra időtartamon belül nem párosodnak, addig szüzek maradnak. Szűz állatokat úgy

gyűjthetünk, hogy a keresztezendő nőstényeket a bábból való kikelés után néhány órán belül leválogatjuk, és a megfelelő hímeket tartalmazó fiolákba tesszük őket. A szűz nőstények morfológiai jegyei közé tartozik a hamvas test, világosabb kutikulával. A hasi oldalon a bélsár (mekónium) még áttűnik a kutikulán, a szárnyak gyakran még nem simulnak ki, szintén hamvasak (5. ábra). A nőnemet Venus római istennő kézitükre és fésűje alapján a ♀ jelképezi, míg a hímeket Mars római istenség pajzsa és lándzsája után a ♂ jellel szimbolizáljuk.

A természetben előforduló leggyakoribb megjelenést (fenotípus) nevezzük vad típusnak. A természetben előforduló, ún. vad típusú szemszín a piros, mind az összetett szemek, mind a fejtetői szemek tekintetében (6.6. ábra). Morgan azonosított fehér szemű muslicákat, amiket a fenotípusuk alapján „**white**”-nak nevezett el. A nevezéktanban gyakran előfordul, hogy a gén neve a fenotípust tükrözi. Ebben az esetben a fehér szemszín annak a génnek az elrontásával alakul ki, amely hozzájárul a piros szemszín kialakításához.



6.6. ábra: Az ecetmuslica külső szerveinek és végtagjainak morfológiája

A hozzávetőleg egy évszázada folyó ecetmuslica genetikai kutatások eredményeképpen manapság számos olyan eszköz áll a kutatók rendelkezésére, melyek egyedülálló lehetőséget biztosítanak klasszikus genetikai kísérletekhez. Nagyszámú életképes, de látható fenotípust okozó ún. marker mutációt azonosítottak a kutatók, melyek jól használhatók például gének kromoszómákra történő lokalizációjához, a kromoszómákon a gének helyzetének térképezéséhez, valamint a kromoszómák nyomon követéséhez a keresztezések során. Ezen marker mutációk között vannak recesszív, illetve domináns öröklődést mutatók is. A domináns mutációkat a jelölésben nagy kezdőbetűvel különböztetjük meg a recesszív mutációktól, amelyeket kis kezdőbetűvel írunk. A mutációkat dőlt betűvel jelöljük. A recesszív letális mutációkat (amelyek az állat halálát okozzák) homozigóta formában (ha mind a két

kromoszómán a letális allél van, azaz nincs vad típusú géntermék) hordozó egyedek nem életképesek.

Számos, a vad típustól eltérő fenotípusú ecetmuslica vonalat azonosítottak, melyeknél a szem, szárny vagy a szőrök tekintetében látunk különbségeket (6.7. ábra).

A vad típusú állatokat a Föld különböző területeiről gyűjtötték be. Az Oregon Államban begyűjtött vad típusú állatokat **OreR**-nak is hívják. Ehhez hasonlítva szembetűnő a **white** mutáns fehér szeme, a **Bar** mutánson a szem fejtetői oldalán látható becsípés vagy a **Dr^{Mio}** mutációt hordozó állatok tizedére csökkent szeme (6.7. ábra).

A kutikulán elhelyezkedő szőrök száma, hossza és formája szintén genetikailag meghatározott. Az **Oce** mutánsokban a fej tetején hiányzik két hosszú szőr. A tor szőreinek száma és hossza is jól követhető bélyeg. A **Stubble** (**Sb**) mutánsban rövidek a szőrök a toron, míg a ***Tft Pin*** mutánsban a rövidülésen kívül a szőrök nagyobb számában vannak jelen (6.7. ábra).

Az állatok kutikulájának színe lehet barna, sárga vagy akár feketés (6.8. ábra). A szárnyak állása lehet testhez simuló és elálló (**os** mutáció hatására) vagy a **CyO** fenotípust mutató felfelé kunkorodó. A szárnyak éle vad típusban folytonos. Az **Ap^{Xa}** mutánsoknál jellegzetes V alakú becsípés figyelhető meg, míg a **Ser** mutánsoknál a szárnyél hátulsó szélén hiányoznak kisebb részek, az élek nem folytonosak (6.8. ábra).

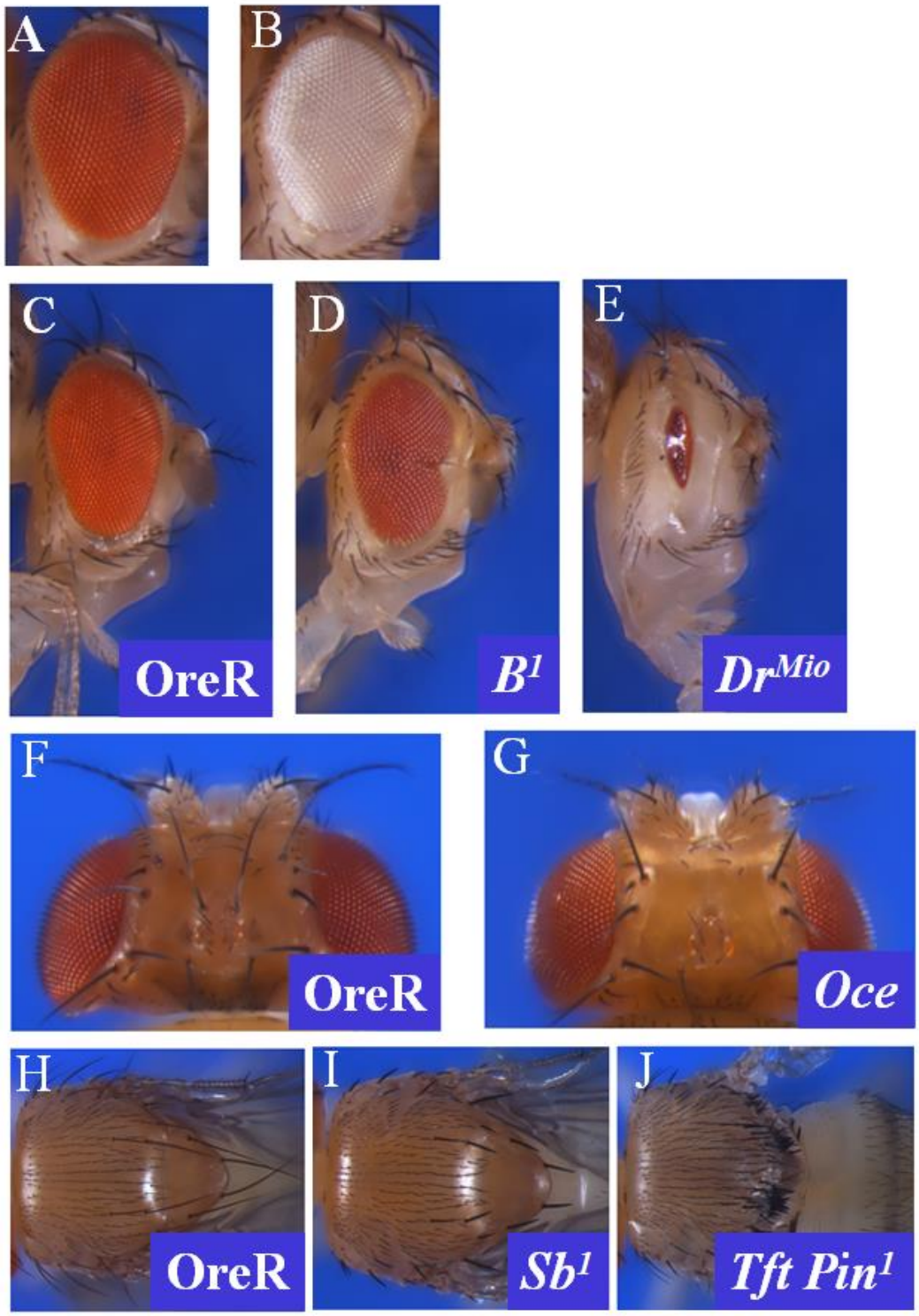
A modern genetikai technikák lehetővé tették a fenotípust okozó gének azonosítását és azok biológiai funkciójának pontosabb vizsgálatát. A különböző mutáns fenotípusok részletes jellemzése, az azok hátterében álló gének azonosítása és a génekkel kapcsolatos tudományos eredmények a FlyBase adatbázisban kerülnek összegyűjtésre (http://flybase.org/). Ez az adatbázis minden gén esetében tartalmazza az eddig publikált adatokat, a gének által kódolt fehérjék biológiai funkcióját. Számos szemléltető ábra és videó is letölthető, amelyek jól használhatók a fenotípusok azonosítására vagy az egyedfejlődés folyamatának szemléltetésére.

Az irányított genetikai keresztezéseket a látható „marker” mutációk segítségével követhetjük nyomon. Ezek lehetővé teszik az utódok csoportosítását morfológiájuk alapján. Mivel ezeknek a markereknek a kromoszómális helye ismert, ezért a követésükkel tulajdonképpen a kromoszómákat tudjuk követni.

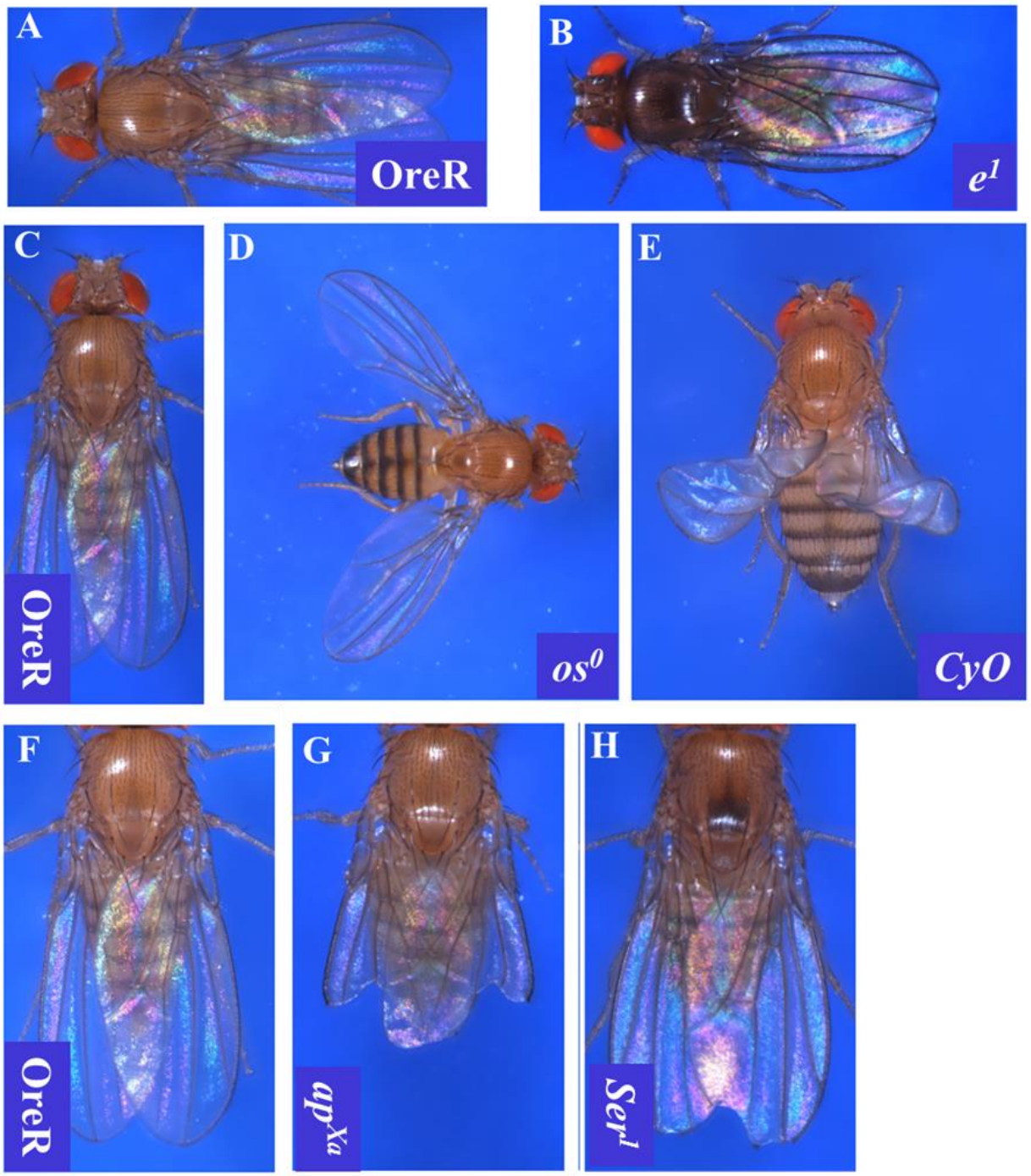
6.4.2. Ellenőrizd tudásodat!

6.4.2.1. Vizsgáld meg, hány ízből tevődnek össze a lábak!

6.4.2.2. Készíts rajzot a tor felületéről, és jelöld rajta a vad típusra jellemző hosszabb szőröket!



6.7. ábra: A szem színét, morfológiáját, a feji struktúrákat és a tor szőreit befolyásoló mutációk fenotípusai (Flybase: Holtzman és Kaufman 2013). A: vad típus, B: fehér szem, C: vad típus (Oregon Államból begyűjtött), D: **Bar** mutáns (a szem becsípett), E: **Dr^{Mio}** mutáns (a szem résnyire redukálódott), F: vad fej, G: **Oce** mutáns (fejtetőn hiányzik 2 szőr), H: vad tor, I: **Sb** mutáns (rövid szőrök a toron), J: **Tft-Pin** mutáns (sok rövid szőr, csomókban)

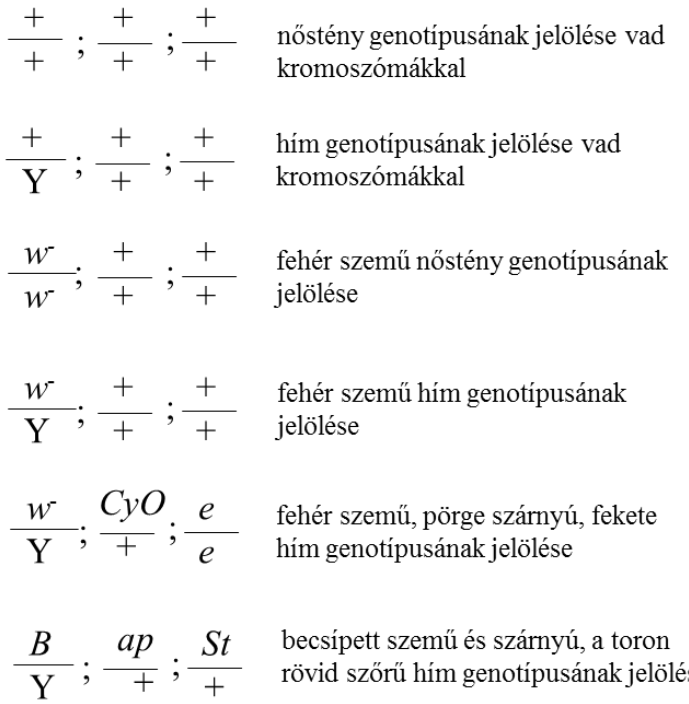


6.8. ábra: Testszínt és a szárny morfológiáját befolyásoló mutánsok fenotípusai (Flybase: Holtzman és Kaufman 2013). A: vad típusú légy barna testszínnel, B: **ebony** (**e**) mutáció fekete testszínt eredményez, C: vad típusú légy rásimuló szárnyakkal, D: **os** mutáció elálló szárnyat eredményez, E: **CyO** mutáció pörge szárnyat eredményez, F: vad típusú szárny, G: **ap** mutáns szárny csipkézett szélű, a szárnyél nem folytonos, H: **Ser** szárnyvég csipkézett, a szárnyél nem ép

6.5. Genotípusok

6.5.1. A genotípusok jelölése, keresztezési sémák szerkesztése

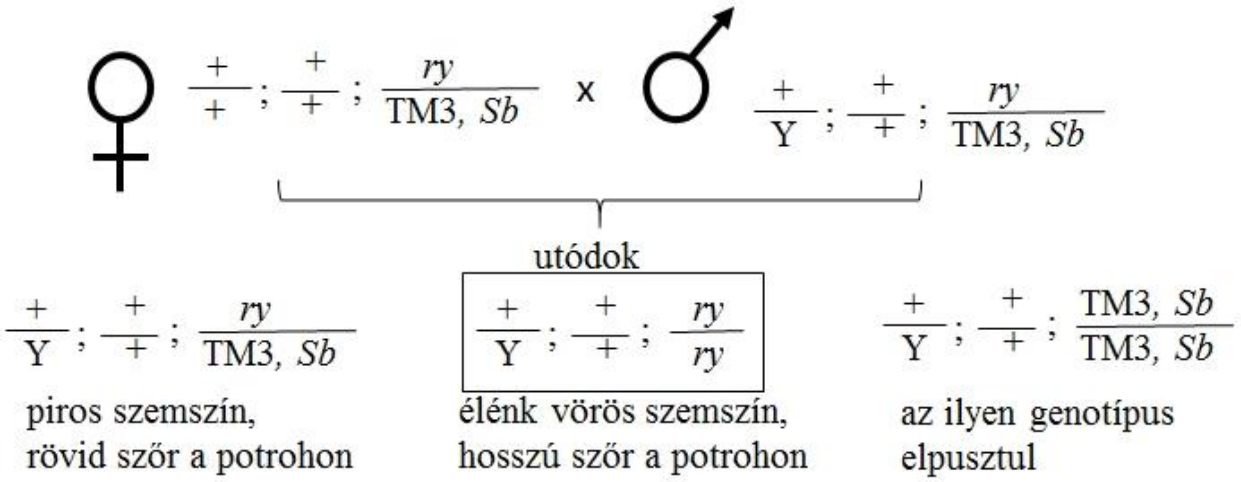
A genetikában a különböző fenotípusú egyedek keresztezéséből származó utódkategóriák megállapítására keresztezési sémát írunk, ahol feltüntetjük a szülők által hordozott mutációkat. Általában a nemi kromoszómát (X kromoszóma) és a két nagy autoszómát (2. és 3. kromoszóma) tüntetjük fel (X, 2, 3 sorrendben), ahol a kromoszómákat pontosvesszővel választjuk el (6.9. ábra). A keresztezési sémák segítségével jósolhatók az utódkategóriák fenotípusai és arányai.



6.9. ábra: Példák az X, 2. és 3. kromoszómát érintő genotípusok feltüntetésére

Az ecetmuslica genetika eszköztárának kivételesen fontos szereplői az úgynevezett balanszer kromoszómák (pl. CyO, TM3). Ezek a kromoszómák domináns látható marker mutációkat, recesszív letális mutációkat, illetve a kromoszóma szinte teljes hosszát érintő nagyméretű, egymást átfedő inverziókat (kromoszóma szakaszok 180^o átfordulását) hordoznak. A domináns markerek, amelyek már egy példányban is láthatóak, lehetővé teszik a balanszer kromoszómák fenotípus szintjén történő követését az utódokban. Az inverziók pedig megakadályozzák a balanszer kromoszóma és a vele homológ kromoszóma közötti rekombinációt. A balanszer kromoszómák felhasználhatók például recesszív letális mutációk törzsben való fenntartásához, genetikailag egységes, ún. izogén kromoszómákat hordozó törzsek előállításához, mutációk kromoszómákra történő lokalizálásához, valamint mutagenezis kísérletek során a kromoszómák generációkon keresztül történő követésére. A balanszerek segítségével lehetőségünk van egy letális vagy bármilyen morfológiai mutáció homozigóta formában történő vizsgálatára. Az alábbi példa szemlélteti, hogy hogyan tudjuk vizsgálni egy

mutáció (**ry**, a szemszínt befolyásolja) fenotípusát a balanszer kromoszóma (TM3, **Sb**) felhasználásával (6.10. ábra).



6.10. ábra: Keresztezési séma az utódkategóriákkal

6.5.2. Ellenőrizd tudásodat!

6.5.2.1. Milyen fenotípusa van egy „B ; CyO ; Ser” genotípusú állatnak? Írd le a szem, a szárny és a szőrök megjelenését!

6.5.2.2. A FlyBase adatbázis felhasználásával (http://flybase.org/) állapítsd meg a „sn” és „Roi” mutációk fenotípusát! Készíts rajzot a vad típusról és a mutánsról egyaránt!

6.6. A nemhez kötött öröklődés vizsgálata ecetmuslicán

A Mendel által leírt uniformitás szabálya szerint a reciprok keresztezésekből származó utódok egységesek és egyformák. Ettől eltérő eredményt kapunk olyan gének vizsgálata esetén, amelyek ivari kromoszómán helyezkednek el. Thomas Hunt Morgan genetikai és citológiai vizsgálatának eredményei meggyőzően bizonyították, hogy a **white** gén az X kromoszómán van. Ezzel az egyszerű keresztezési sorral bizonyították, hogy a gének a sejtmagban megtalálható kromoszómák részei (6.11. ábra).

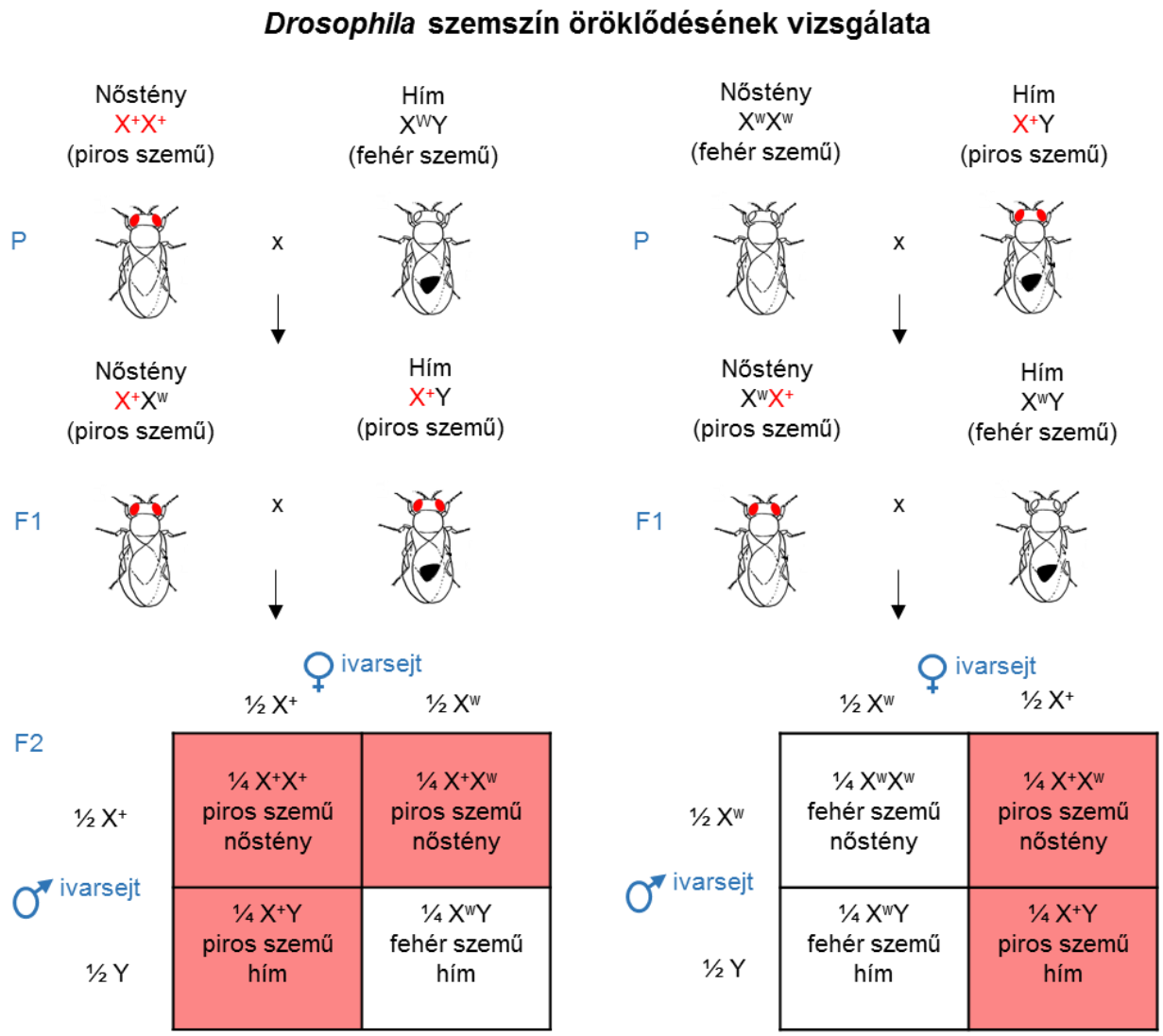
6.6.1. Feladat

Az X kromoszómás *white* (*w*) gén öröklődésének nyomon követése reciprok keresztezésekben.

Felhasználandó törzsek és a kísérlet menete:
- w+: vad típusú törzs, az állatok szeme piros színű;
- **white** (w^-): a **white** génben bekövetkezett recesszív mutáció következtében az állatok szeme fehér színű.

Gyűjts vad típusú (w+) és w^- szűz nőstényeket (6-6 db), és tedd őket külön-külön fiolába!
Gyűjts vad típusú (w+) és w^- hímeket (6-6 db), és tedd őket külön-külön fiolába!
A rendelkezésre álló szűz nőstények és hímek felhasználásával tedd össze a keresztezéseket: vad (w+) nőstényeket és a fehér szemű (w-) hímeket, illetve fehér szemű (w-) nőstényeket és a vad (w+) hímeket! Ezzel reciprok módon elvégeztük a keresztezéseket.
Tartsd a legyeket szobahőmérsékleten, és 5 nap után távolítsd el a szülőket (elaltatjuk és egy alkoholos edénybe dobjuk őket)!
Számold meg 14 nap után az egyes kategóriákba tartozó utódokat (ezeket hívjuk F1 utódoknak; filia, F)!
Jegyezd fel a szemszínre és a nemre vonatkozó adatokat mind a két keresztezés utódainál!
Keresztezd tovább az F1 utódokat egymással (friss táptalajt tartalmazó fiolába tesszük őket)!
Számold meg 14 nap után az egyes kategóriákba tartozó utódokat (ezeket hívjuk F2 utódoknak)!
Milyen F2 utódokat kapunk? Figyeld meg a szemszínüket és a nemüket is!

Készítsd el a keresztezési sémát, feltüntetve a szülők és az utódok genotípusát!



6.11. ábra: A nemhez kötött öröklődés ábrázolása a szülők és az utódok szemszínének követésével és Punnett táblával

6.6.2. Ellenőrizd tudásodat!

6.6.2.1. A muslica piros szemszínét az X-kromoszómán található „white” gén alakítja ki. Ha ez a gén mutáns, fehér színű lesz a muslica szeme, amely recesszív módon öröklődik. Milyen lehetett a szülői muslicák szemszínének fenotípusa, ha az utódaik között minden nőstény piros, a hímek 50%-a viszont fehér szemű?

A. Piros szemű hím és fehér szemű nőstény
B. Piros szemű nőstény és fehér szemű hím
C. Mindkét szülő fehér szemű
D. Mindkét szülő piros szemű
E. A fenti adatokból nem lehet megállapítani

6.6.2.2. A muslica piros szemszínét az X-kromoszómán található „white” gén alakítja ki. Ha ez a gén mutáns, fehér színű lesz a muslica szeme, amely recesszív módon öröklődik. Milyen lehetett a szülői muslicák szemszínének genotípusa, ha az utódaik között minden nőstény piros, a hímek 50%-a viszont fehér szemű?
A. w+/Y hím és w-/w- nőstény
B. w+/w+ nőstény és w-/Y hím
C. w-/w- nőstény w-/Y hím
D. w+/w- nőstény és w+/Y hím
E. A fenti adatokból nem lehet megállapítani

6.6.2.3. A macskáknál ismeretes, ún. teknőctarka (fekete-vörös foltosság) szín csak a nőstényeknél fordul elő. A szín X kromoszómához kötött. Ebben az öröklésmenetben a hím macskák feketék vagy vörösek. A foltosság a fejlődő embrió hámsejtjeiben, embrionális korban bekövetkező mozaikos X kromoszóma inaktivációval magyarázható.
Fekete nőstény és vörös hím utódait beltenyésztve milyen színű kiscicák születhetnek?
A. Fekete és tarka nőstények, vörös és fekete hímek
B. Fekete nőstények, vörös és fekete hímek
C. Tarka nőstények és fekete hímek
D. Vörös nőstények és fekete hímek
E. Tarka nőstények és vörös hímek

6.7. A mozgás vizsgálata

6.7.1. A mozgás vizsgálata fiatal és idős legyek esetében

A rovarok, így a *Drosophila melanogaster* mozgásszervrendszerére jellemző, hogy külső vázhoz belülről tapadó harántcsíkolt izmok segítségével mozognak.

A *Drosophila* életciklusa során kétszer alakulnak ki az izmok és az azokat beidegző perifériás idegrendszer neuronjai. A szelvényesen elhelyezkedő embrionális és lárválisizmok a metamorfózis során lebomlanak, és az ún. imaginális diszkuszokból (lárválisszervek) alakulnak ki a kifejlett légy izmai. Testtájanként speciális típusok is előfordulnak, mint például a repülőizmok.

A *Drosophila* harántcsíkolt izomzata és annak idegi irányítása a magasabb rendű gerincesek vázizomzatával megegyező molekuláris felépítést és működést mutat. Megtalálhatók az érző és motorneuronok, a többmagvú izomsejtek és a neuoromuszkuláris junkciók is az ecetmuslicában. Megfigyelték, hogy az idegsejteknél az akciós potenciál generálása, az ingerület átvitele a szinapszisokon, valamint az izmok elernyedésének és összehúzódásának molekuláris folyamata is alapvető egyezéseket mutat. Mivel az izmok kialakulásában és az ideg-izom működésében is konzerváltság tapasztalható, így az ecetmuslica jól vizsgálható modelljévé vált az ezeket a sejteket, szöveteket érintő betegségeknek.

A kifejlett *Drosophila* mozgására – a többi szárnyas rovarhoz hasonlóan – négytípusú mozgási viselkedés jellemző: járás, mászás, ugrás és repülés. Ezek közül a repülés képessége egy

kicsit specializáltabb felépítésű és működésű izmok, az ún. repülőizmok kialakulásával járt együtt. A *Drosophila* repülőizmait a tor két oldalán párhuzamosan futó 6 emelő izom és 7 indirekt repülőizom alkotja. A repülőizmok ultrastruktúrája és működése is specializált, azok fehérje összetétele erre a szövetre specifikus jellemzőket mutat.

A legtöbb általános izomfehérje gént az indirekt repülőizmok működési hibáinak vizsgálatán keresztül írták le Drosophilában, amelynek során számos domináns repülésképtelen mutánst izoláltak. Ezek a mutációk az életképességet és a szaporodást nem befolyásolták, így vizsgálhatók voltak.

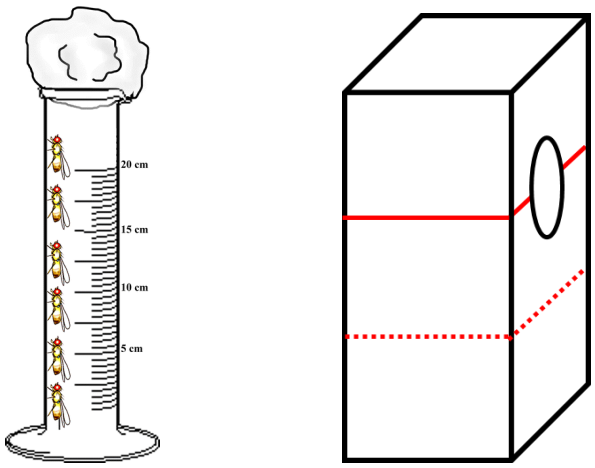
A rovarok mozgási képességének vizsgálatára egyszerű módszereket alkalmazhatunk. Ezekkel megvizsgálhatjuk a vad típusú muslicák korral járó vagy mutációk esetleg valamilyen vegyi anyag hatására bekövetkező mozgási képesség változásait egyszerű mászási és repülési teszttel.

6.7.2. Felhasznált törzsek és a kísérlet menete

Oregon-R vad típusú muslicák

6.7.2.1. Gyűjts legyeket (12 db légy/fiola) 3 héten át hetente, és tedd őket friss fiolába minden héten! A legfiatalabb legyek legyenek egy naposak (1 napos, 1 hetes, 2 hetes, 3 hetes).

Rázd a fiolában lévő muslicákat a mérőhenger aljára, zárd le a henger tetejét (pl. tenyérrel vagy egy vattadugóval), hagyd, hogy elkezdjenek a muslicák felfelé mászni, majd rázd le őket újból (6.12. ábra)! Két ismétlést követően a lerázás pillanatától indítsd el a stoppert, és 15 másodperc elteltével számold meg, hogy hány db muslica érte el a 250 ml-es mérőhenger 140 ml-es jelzését! Végezd el a mászástesztet a különböző korú legyekkel (legalább 10 db légy/vizsgálat) kétszer egymás után! Az adatokat rögzítsd egy Excel táblázatban (jól mászók/összes db)!



6.12. ábra: A ecetmuslica mászási képességét egy 250 ml-es mérőhengerrel vizsgálhatjuk. A repülési képességet egy kb. 25x50 cm-es repülési kamrában vizsgálhatjuk. A kamra könnyen elkészíthető egy akváriumból, aminek a nyitott oldalát egy műanyag lappal lefedjük (egy kör alakú lyukat vágunk rá, ahol az állatokat beengedjük).

A csoport összes adatából készítsetek egyszerű statisztikai analízist (átlagolás, szórás, standard hiba), valamint ábrázoljátok oszlopdiagramon a kor szerinti mászási képességet!

6.7.2.2. Ereszd a fiolában lévő muslicákat a reptetési kamrába (6.12. ábra)! Figyeld meg, hogy a kamra melyik részére repülnek (vagy leesnek), és ezzel egyidejűleg számold meg, hogy melyik kategóriába hány muslica tartozik! Az állatok egy jó része azonnal felrepül, és a repülési kamra tetején mászkál. Végezd el a reptetést a három különböző korú csoporttal (10 db állat/fiola) kétszer egymás után! Az adatokat rögzítsd egy Excel táblázatban!

Kategóriák:
N = leesnek a kamra aljára (nem repülnek) (pontérték: 0);
L = a kamra alsó egyharmadába szállnak (rosszul repülnek) (pontérték: 1);
K = a kamra középső harmadába szállnak (oldalra repülnek) (pontérték: 3);
F = a kamra felső harmadába szállnak (jól repülnek) (pontérték: 5).

A csoport összes adatából készíts egyszerű statisztikai analízist (kategóriák értékének pontozása, átlagolás), valamint ábrázold oszlopdiagramon a három különböző korú csoport repülési képességét!

6.7.3. Ellenőrizd tudásodat!

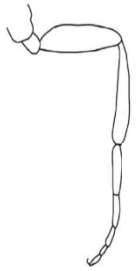
6.7.3.1. Megfigyeltél-e különbségeket a különböző korú legyek mászási és repülési képessége között? Ha igen, milyen okai lehetnek a különbségeknek?

6.7.3.2. Vajon a CyO mutáció befolyásolja-e az állatok repülési képességét?

Vizsgáld meg a repülési kamrában a $\frac{+}{Y}; \frac{CyO}{+}; \frac{+}{+}$ genotípusú legyek repülési képességeit, és hasonlítsd össze a vad típussal!

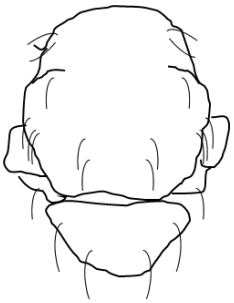
6.8. A feladatok megoldásai

6.4.2.1.



10 ízből áll egy láb

6.4.2.2.



6.5.2.1. **B** (becsípett szem) ; **CyO** (pörge szárny) ; **Ser** (szárnyvég csipkézett)

6.5.2.2. https://flybase.org/reports/FBgn0003447 és https://flybase.org/reports/FBgn0003270; **sn**: perzselt szőr a toron, **Roi**: durva szemfelszín

6.6.1. Lásd 6.11. ábra.

6.6.2.1. D

6.6.2.2. D

6.6.2.3. A

P: $X^F X^F$ és $X^v Y$ -> F1: $X^F X^v$ és $X^F Y$ -> F2:
fekete vörös tarka fekete

ivarsejtek	X^F	Y
X^F	$X^F X^F$ fekete	$X^F Y$ fekete
X^v	$X^F X^v$ tarka	$X^v Y$ vörös

6.7.3.1. Az idősebb legyek rosszabbul másznak és repülnek.

6.7.3.2. A **CyO** mutáció a szárnyak pörgeségét okozza, ami rontja a legyek repülési képességét.

6.9. Felhasznált és ajánlott irodalom

Hartenstein V (1993) Atlas of Drosophila development. Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor
Holtzman S, Kaufman T (2013) Flybase. https://flybase.org/