

A FÉNYÉRZÉKELES ANATÓMIAI ALAPJAI (KIEMELTEN A LÓ LÁTÁSA)

SÓTONYI PÉTER

ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány célja, hogy bemutassa a gerinces látószerv szerkezeti felépítésében résztvevő alapvető struktúrákat szövettani, anatómiai és funkcionális szempontból, kihangsúlyozva a klinikai vonatkozásokat is. A látószerv rendkívül összetett érzékszerv, amely szemgolyóból, látóidegből és járulékos szervekből áll, úgymint szemmozgató izmokból, könnykészüleből, ill. különböző, a szemgolyót védő struktúrákból. A gerinces állatok számára a vizuális információ feldolgozása nagy fontossággal bír, a külső környezetből származó információ jelentős része fény formájában, mint látási információ éri el a központi idegrendszert. A szemgolyó és az abban található fényérzékeny réteg képes a világos és sötét megkülönböztetésére, a tárgyak színének, alakjának és mozgásának érzékelésére. A szembe jutó fényt több ún. leképező apparátuson keresztül jut a retinához, útja során fénytörő közegeken halad keresztül, sőt a látott képfeldolgozás is megkezdődik a szemben.

SUMMARY

Sótonyi, P.: ANATOMY OF LIGHT DETECTION (with special focus on the vision of the horse)

The aim of this article is to demonstrate the structure and organization of the vertebrate visual organ from a histological, anatomical, functional, and clinical perspective. The organ of vision is a very complex sensory apparatus; it consists of the eyeball, the optic nerve and additional associated machinery, such as ocular muscles, lacrimal apparatus and various protective structures. In vertebrate animals the processing of visual information is of great importance, and most of the information from the external environment reaches the central nervous system in the form of light through the eye. The eyeball and its light-sensitive inner layer is able to distinguish between light and dark, the color, shape and movement of objects. Light that is processed by the eye passes through an elaborate imaging apparatus before it is being detected by the retina, and the process of 'image-formation' already starts within the local circuitry of the retina.

BEVEZETÉS

A látószerv (*organum visus*) három fő részből tevődik össze:

1. Szemgolyó, *oculus*, *bulbus oculi*, a fényérzékelő receptor szerv.
2. A látóideg, *n. opticus*, a látóközpont *area optica*, a fény ingerületét a látóideg a látókötegen, *tractus opticus*, át a subcorticalis látóközpontba, majd a látókisugárzás, *radiatio optica*, útján az agykéreg látó mezőjébe, az optitipalis lebenybe juttatja.
3. A szem járulékos szervei, *organa oculi accessoria*, a szemgödör, *orbita*, a szemgödör és a szem pályái, *fasciae orbitales et bulbi*, a szem izmai, *musculi bulbi*, a szemhéjak, *palpebrae*, a kötőhártyával, *tunica conjunctiva*, és a könnykészülék, *apparatus lacrimaris*.

A SZEMGOLYÓ (BULBUS OCULI)

A szemgolyó craniocaudalisan lapított, gömb alakú szerv, amelynek elülső része kisebb, a hátulsó pedig nagyobb sugarú gömb szegmentumának felel meg. (1-2. ábra)

A szemgolyót az egyenlítő sík, aequator, elülső (distalis) és hátulsó (proximalis) félre osztja. A pólusokon áthaladó délkörök, meridianok, közül a függőleges és a vízszintes a szemgolyót négy negyedre, *quadrans*, (két dorsalis és ventralis, illetve két nasalis (medialis) és temporalis (lateralis) osztja. Az aequator a negyedeket elülső, distalis, illetve hátulsó, proximalis nyolcadokra, *octans*, tagolja, amelyeknek helyzetét három jelzővel tudjuk meghatározni, például belső- elülső- alsó (nasalis- distalis- ventralis) octans, vagy külső- hátulsó- felső (temporalis- proximalis- dorsalis) octans.

A szemtengely divergenciája (a két szem tengelyének egymással alkotott szöge) lóban 90 fok, így az ellenségeiktől óvakodó, állandóan éber, növényevő állatok, mint a ló is, egy időben a környezet nagyobb részét képesek áttekinteni, ugyanakkor rosszabb az alaklásuk és kevésbé látnak élesen, mint a húsevő állatok.

A szemgolyó a szorosan vett látószerv felépítése és működése a fényképezőgéphez hasonló. Legbelül fényérzékeny lemez, *retina*, található, melyet fényzáró réteg, *pigmenthám*, az *érhártya pigmentes sejtjei*, és ellenálló burok, *ínhártya*, vesz körül. A fény változtatható átmérőjű nyíláson, *pupilla*, keresztül jut be a szem belsejébe, és a külvilág képét optikai rendszer, *szaruhártya*, *lencse*, vetíti a retinára. A szemgolyó falának táplálásáról a retina és az inéhártya közé iktatott érhártya gondoskodik.

A szemfejlődés ismerete segít a szövettani szerkezet megértésében. A fényérzékeny réteg és a hozzá csatlakozó neuronhálózat (retina) az agy telepéből kinövő szemhólyag származéka. A hólyag falának betüremkedésével kettős falú szemserleg alakul ki, majd a két fal összefekvésével az agykamrák folytatását képező eredeti lumen megszűnik, és helyén csak virtuális rés marad. A szemserleg magába foglalja a felületi ectodermából lefűződő lencsehólyagot. Ventralisan a szemserleg tökéletlenül záródik, és az így keletkező szemhasadákon keresztül mesenchyma vándorol a szem belsejébe. A szemtelep körül tömörülő mesenchyma a kemény és lágy agyhártya folytatásaként két rétegben (érhártya és inéhártya) veszi körül a retinát. A külső buroknak az a része, amely a szemserleg nyílása (apertura) előtt helyezkedik el, átlátszóvá válik (szaruhártya), a középső burkon és az intrabulbaris mesenchymán (pupillaris membrán) keletkező lyuk a pupillát hozza létre. (3. ábra)

KÜLSŐ VAGY ROSTOS BUROK (TUNICA EXTERNA S. FIBROSA BULBI)

A szemgolyó falát három, jól elkülöníthető réteg építi fel. A legkülső réteg a központi idegrendszer dura materének folytatása, a tömött rostos kötőszövetből álló *tunica fibrosa*. A rostos burok az átlátszatlan inéhártyából és a transzparens szaruhártyából áll. A bulbus alakját a futball-labdához hasonlóan a tágulásra nem

képes rostos burok és a szem belsejében uralkodó nyomás együttesen határozza meg. A szemgolyó alakja a pontos leképezés (emmetropia) miatt döntő jelentőségű. A szem fénytörő közegeinek fókuszpontja és a retina távolsága szigorúan meghatározott.

Az ínhártya (sclera) a szemgolyó falának hátsó 4/5 részét alkotó, kemény tapintatú, tömött képlet, amely ellenáll az intraocularis nyomásnak és fenntartja a szemgolyó alakját. A sclera szövete lóban sárgásfehér és sima, elől a corneoscleralis határ mögött a kötőhártya borítja, a belső szemzugban kismértékben előtűnik. Az ínhártya hátrébb az orbitalis zsírszövettel szomszédos, attól egy laza kötőszövetes tér, *Tenon-féle tér*, *spatium episclerale*, választja el, amelyet capillarisok hidalnak át. A szemgolyó az orbitalis zsírszövetbe úgy van beágyazva, hogy középpontja körül gömbízület módjára szabadon foroghat. Az ízvápat az orbitalis szövettel körülvevett, *Tenon-féle tok vagy vagina bulbi*, adja.

A szaruhártya (cornea) a rostos burok elülső, átlátszó, a scleránál valamivel vastagabb része kisebb görbületi sugaránál fogva a szemgolyóból előre kidomborodik, a szemgolyó teljes törőképeességének mintegy 2/3-áért felelős. A legkiemelkedőbb és kissé vékonyabb pontja középen van, ez a vertex corneae. Külső és belső felülete, *facies anterior et posterior*, éles szélben, *limbus cornea*, találkozik egymással. A cornea széle óraüvegszerűen metszett, így a sclera mind kívül, mind belül túlér a cornea szélén, belül a torus sclerae-t képezve. Szövetteni metszeten az átmenet a sclera és a cornea között nem felűnő, hiszen lényegében ugyanazok a szöveti elemek építik fel mindkettőt. A cornea rétegei kívülről befelé haladva a következők: (4. ábra)

A *corneahám (epithelium anterius corneae)* a felületi ectodermából származó többrétegű el nem szarusodó laphám, amely rendszerint 4-5 sejtrétegből áll. A hámkötőszöveti határ egyenes. A hám a cornea széle felé megvastagszik, mintegy 10 rétegűvé válik, és fokozatosan átmegy a kötőhártya hámjába. A corneahám igen érzékeny, mivel nagyszámú szabad idegvégződést tartalmaz (n. ophthalmicus). Regenerációs hajlama kitűnő, kisebb defektust az osztódó hámsejtek egymás felé vándorolva képesek befedni. Osztódásra képes sejtek elősorban a corneoscleralis határ környékén találhatók, innen tolódnak a differenciálódó új hámsejtek a szaruhártya közepe felé. A felszíni hámsejteken mikrobolyhok találhatók, amelyek a könnyfilm fenntartásában működnek közre.

A *Bowman-hártya (lamina limitans anterior)* a cornea hámjá alatt húzódó vékony (6-9 μm) kötőszövetes lemez, amely tulajdonképpen a stroma része, arról nem választható le. Kollagénrostjainak szabálytalan elrendeződése alapján azonban szövettanilag állatokban nehezen elkülöníthető a stromától. A cornea szélén hirtelen megszakad, helyét egyszerűen a kötőhártya kötőszövetes stromája és a Tenon-féle tok elülső széle foglalja el.

A *Bowman-hártya feladata a cornea mélyebb részeinek kórokozótól és sérültől való védelme. A cornea regenerációs képessége is ezen a rétegen múlik: amíg a Bowman-hártya ép, van remény a sérült corneaszövet újraképződésére. A Bowman-hártya azonban nem képes regenerálódni, pusztulása után a cornea sérült része végérvényesen elveszti átlátszóságát.*

A *substantia propria* a cornea vastagságának 90%-át kitevő, átlátszó, rendkí-

vül szabályos szerkezetű, lemezes kötőszövet. Üvegszerű átlátszósága számos körülmény együttes fennállásának köszönhető. A pontosan azonos átmérőjű kollagénrostokból (V-ös típusú kollagén) felépülő lemezek mintegy 60-70 párhuzamos réteget képeznek. Egy rétegen belül a rostok egymással és a cornea síkjával párhuzamosak, a szomszédos rétegekben azonban rostai egymáshoz viszonyítva eltérő irányúak, többnyire merőlegesek. A kollagénrostok azonos átmérője és rendezettsége miatt a szóródott fénysugarak interferencia révén kioltják egymást. A rostok közét túlnyomórészt kondroitinszulfátot és keratinszulfátot tartalmazó proteoglikánból (lumikán, cornealis proteoglikán) álló alapállomány tölti ki, amelynek törésmutatója megegyezik a rostokéval. A cornea a scleránál alacsonyabb víztartalmú, dehidrált struktúra. Ha víztartalma megnő (mint pl. gyulladásos oedema, corneasérülés esetén vagy a halál után, amikor csarnokvíz vagy a könnyfolyadék infiltrálja), homályossá válik (corneahomály). A rostrétegek között elhelyezkedő kötőszöveti sejtek, a keratocyták nyúlványai a határoló lemezek kollagénrost-kötegeivel párhuzamosan, és így gyakran kereszt alakban állnak. Pigmentsejteket és ereket a cornea nem tartalmaz, táplálása részben az elülső csarnok felől, részben a sclera (episclerális erek) felől történik. A cornea a hámon keresztül a könnyfilmből is kap oxigént.

A cornea – érzéketlenségének köszönhetően – a kilökődés veszélye nélkül átültethető. Ha gyulladás vagy sérülés folytán a cornea hegesedik, erek vándorolnak be a corneaszövetbe, és átlátszósága elvész. Az erek felől lymphocyták és gyulladásos sejtek (neutrophil granulocyták) is bejuthatnak a corneába.

A Descemet-féle hártya (*membrana limitans posterior*) a substantia propria és az endothel határán elhelyezkedő különleges lamina basalis, amelyet az endothel termel, és a stromáról leválasztható. Vékonyága (5-10 μm) ellenére igen ellenálló réteg. A fénymikroszkóppal szerkezet nélkülinek tűnő hártya elektronmikroszkóppal nagyfokú rendezettséget mutat. Tangenciális metszetén hexagonális rajzolat látszik, mely a szabályosan elrendeződő és egymással kapcsolódó rövid kollagénfilamentumoknak köszönhető (VIII-as típusú kollagén).

Az *endothelium corneae* (*endothelium camerae anterioris*) az elülső szemcsarnok felé néző lapos sejtréteg, amelyen keresztül a szemcsarnokból víz és ionok juthatnak be a cornea stromájába. A cornea víztartalmát aktív ionpumpa tartja alacsonyan, magasabb szembelnyomás esetén, vagy az endothel károsodásakor a pumpa elégtelenné válik, és a magasabb víztartalom (oedema) miatt a szaruhártya átlátszósága elvész. Az *endothelium corneae* az írist előlről határoló endothelbe megy át. Itt, a csarnokzuggal határos zónában találhatók azok a kevésbé differenciált őssejtek, amelyekből az endothel regenerálódik, a differenciálódó sejtek ezután a cornea közepe felé tolódnak.

A corneoscleralis határ képletei

Mivel a sclera és a cornea görbületi sugara eltér, az átmenet (*limbus corneae*) körkörös árok formájában, *sulcus sclerae*, jól felismerhető kívülről. Ehhez a határhoz közel a csarnokvíz-elvezetésért felelős endothellel béelt *Schlemm-féle plexus*, *plexus venosus sclerae*, fut körbe a sclera állományában. A csarnokvíz a Schlemm-féle plexusból a *venae aquosae*-ba jut, amelyek a sclerális kötőszövet speciális erei, mivel bennük nem vér, hanem csarnokvíz, *humor aquosus* kering.

Innen a folyadék az episcleralis vénákba kerül, majd a szemgolyó nagy vénáin keresztül hagyja el a szemet. (5. ábra)

A Schlemm-féle plexust az elülső szemcsarnok széli részével, a *csarnokzuggal*, *angulus iridocornealis*, szivacsos szerkezetű, finom endothellel borított hálózattal, *spongiosa sclerae*, köti össze. A csarnokvíz a kötőszöveti rostokból álló gerendák, *trabeculák*, közötti űrökön (Fontana-féle űrök), *spatia anguli iridocornealis*, keresztül jut az elülső szemcsarnokból a Schlemm-féle plexusba. A csatorna nem közlekedik az intertrabecularis űrökkel, a két térséget a Schlemm-féle plexus endothel borítása és kötőszövetes adventitája, valamint a Fontana-féle űrök endothelje választja el egymástól, ezért a csarnokvíz elvezetődéséhez aktív reabszorpció szükséges.

A csarnokvíz-keringés zavarára vezethető vissza a *zöldhályog (glaucoma)*, amikor a csarnokvíz-elfolyás akadályozottsága folytán megnő az intraocularis nyomás, és a retinát ellátó erek keringése akadályozottá válik. Ennek következtében a retina idegsejtjeiben, így a fotoreceptorokban is *trophicus* zavarok lépnek fel, súlyosan károsodnak, majd elpusztulnak, aminek látásromlás, végül vakság a következménye. A csarnokzug mechanikus elzáródása (pl. a szivárványhártya szövetének pupillatágulat során bekövetkező összetömörülése) mellett a csarnokvíz-keringés zavarainak számos oka ismert a klinikumban. A *parasympathicus* idegrendszer izgatói szűkítik a pupillát, mivel az ellapult szivárványhártya kevésbé domborodik be a csarnokzugba, a csarnokvíz elfolyása könnyebbé válik. A *sympathicus* idegrendszer izgatói csökkentik a csarnokvíz-termelődést.

KÖZÉPSŐ BUROK VAGY ÉRHÁRTYA (TUNICA MEDIA S. VASCULOSA BULBI, UVEA)

A középső burok a központi idegrendszert körülvevő lágy agyhártyák származéka. Az erekkel sűrűn átszövött kötőszövetes burok három részből áll. Legnagyobb felületű, hátulsó része a szűkebb értelemben vett *érhártya, choroidea*, amely előrefelé a *sugártestbe, corpus ciliare* megy át, majd legelől a *szivárványhártyán, iris* folytatódik. Az érhártya és a sugártest ráfekszik az ínhártya belső felszínére, az iris pedig szabadon beemelkedik a szemgolyó belsejébe, és elválasztja egymástól az elülső és hátulsó szemcsarnokot. Szövettanilag mindhárom rész lényegében azonos felépítésű; eret és simaizmot tartalmazó kötőszövetes stroma, amelyhez belülről neuroectodermalis eredetű hám csatlakozik. Utóbbit csak a corpus ciliare és az iris esetében tekintjük a középső burok részének. A choroideával szomszédos hám fényérzékeny retinává differenciálódott, és a szemgolyó belső burkát alkotja.

A *choroidea* az ínhártya és a retina között elhelyezkedő vékony, kötőszövetes réteg. A choroideát a n. opticus átfúrja, és szilárdan rögzíti az ínhártyához. Legfontosabb feladata a fényérzékeny retina vérellátásának biztosítása. A choroidea az erekken kívül nagyszámú pigmentsemmel telt melanocytát is tartalmaz, amelyek szerepe a szemgolyóba kívülről behatoló fénysugarak kiszűrése és a retina pigmenthámján esetlegesen keresztülhaladó fény elnyelése.

Az eres rétegben a látóideg belépése (discus nervi optici) fölött található az ovális, vagy félhold alakú ér nélküli terület, a kékes zöld színű *tapetum lucidum*, amelynek különleges szerkezete fény- és színeffektusban mutatkozik meg. (6. ábra) A tapetum lucidum lóban koncentrikusan rendezetlenül lefutó, hullámos

rostokból *tapetum fibrosum* épül fel. A fényt részben visszaveri, egyes komponensei fény interferenciát hoznak létre, ami egyfelől különböző színeffektust vált ki, másfelől a fényérzékelő sejtekhez jutó fényhatást növeli, azaz reflexió révén megnöveli a retina fényérzékeny rétegére jutó fény mennyiségét, ezért a *tapetum lucidum*mal bíró állatok alkonyatban és sötétben jobban látnak. A *tapetum* tájékán a retina külső pigmentált rétege pigment nélküli. A *tapetum lucidum* széle tájékán az eres réteg ismét vastagabbá és pigmenttartalmúvá válik, feketés barna színű *tapetum nigrum*ot képez.

A sugártest, **corpus ciliare**, legfontosabb feladatai a lencse felfüggesztése, az akkomodáció biztosítása és a csarnokvíz termelése. Hátrafelé a choroidea és a sugártest átmenete megfelel az *ora serratának*. Meridionalis keresztmetszetben a sugártest háromszög alakú; külső felszíne a sclerával nőtt össze, előrefelé az irisben folytatódik, hátulsó felszíne a bulbus belseje felé tekint. A szem belseje felől nézve a sugártest körkörös lefutású, gyűrűszerű beemelkedés, amely két részre tagolódik; előrébb helyezkedik el a kisebb átmérőjű, keskeny sugárkoszorú, *corona ciliaris*, hátrébb pedig a nagyobb átmérőjű, szélesebb sugárgyűrű, *orbiculus ciliaris*. (7. ábra) Lóban a sugárkoszorú belső felszínéről mintegy 100 meridionalis nyúlvány, *processus ciliaris*, emelkedik be a szem belsejébe. A sugárgyűrű igen sűrűn redőzött; a sugárredők, *plicae ciliares*, ugyancsak meridionalis lefutásúak. A redőkről és a nyúlványokról indulnak ki a vékony lencsefüggesztő rostocskák, *fibrae suspensoriae lentis*, Zinnius-féle rostok, együttesen a *zonula ciliaris* Zinniit alkotják. A rostok a lencse tokján tapadnak meg, mégpedig oly módon, hogy az orbiculusról kiindulók az aequator előtt, a *corona ciliaris*ról kiindulók pedig amögött, vagyis a rostok végeredményben keresztezik egymást és köztük rések *spatia zonullaria* jönnek létre. A sugártest alakja lóban a pupilla alakjához hasonlóan harántovális, aszimmetrikus, nasalisán és kis mértékben ventralisan keskenyebb, itt igen vékony, vagy hiányzik az orbiculus ciliaris is, ebből a jellegzetes alakulásból következik, hogy a retina fényérzékelő felülete nasalisán előrefelé kiterjedt, így a látótér hátrafelé megnövekedett.

A sugártest térfogatának legnagyobb részét a lóban viszonylag gyengén fejlett *m. ciliaris* teszi ki, amely elsősorban a közelrenézés (akkomodáció) szolgáltatában áll, de a csarnokvízfolyást is befolyásolja.

A parasympathicus beidegzésű *m. ciliaris* rostjai különböző irányúak, de komplex szöveteket alkotnak, és az izom működése az akkomodáció biztosítása szempontjából egységes.

A körkörös rostok a sugártest átmérőjét sphincterszerűen csökkentik, a meridionalis rostok pedig a sugártestet előrehúzzák és megvastagítják, tehát még jobban bedomborítják a szemgolyó belseje felé. A sugárnyúlványok közötti árkok mélyében eredő lencsefüggesztő rostok ezáltal ellazulnak. A lencse saját rugalmasságánál fogva összeugrik, domborúbbá válik, és fénytörő képessége menő. Távolra nézéskor a sugárizom ellazul, és a sugártestet a *m. ciliaris* antagonistájaként működő elasztikus aponeurosis (Bruch-membrán) húzza vissza.

Csarnokvíz.

A sugárnyúlványok és a sugártest-hám együttese („*sugártest-mirigy*”) az agykamrák plexus choroideusával rokon, és a csarnokvíz termelődéséért felelős. A sugártestet borító hámsejtek ultrastruktúrája megfelel az aktív ion- és víztransz-

portot végző sejtekének, amennyiben a sejtek basalis és lateralis felszíne gazdagon elágazó membránbetüremkedésekből álló járatrendszer képez. A termelt csarnokvíz egyik feladata a szembelnyomás fenntartása és ezzel a szemgolyó mechanikai stabilitásának biztosítása. Ehhez a termelődés és az elvezetődés állandó egyensúlya szükséges. Ezen túlmenően a csarnokvíz a cornea, a lencse, az üvegtest és a retina táplálásában is szerepet játszik. A csarnokvíz összetétele a speciális táplálási feladatnak megfelelően különbözik a plazmától. Fehérjetermála alacsonyabb, aszkorbát-, piruvát- és laktáttartalma azonban magasabb. A belső sugártesthám sejtjei között található nagyszámú zonula occludens *vércsarnokvíz gátat* hoz létre.

A szivárványhártya, **iris**, a sugárest folytatása előrefelé. Kontraktilis fényre-kesznek megfelelő lyukas korong (blende), amely a szem belsejébe jutó fény mennyiségét szabályozza a megvilágítási körülmények függvényében. Elülső felszíne az elülső szemcsarnok felé néz, hátsó felszíne pedig szorosan ráfekszik a lencse elülső felszínére, és közöttük csak hajszálrés marad szabadon, hogy a csarnokvíz a hátulsó szemcsarnokból az elülsőbe kerülhessen. A pupilla felé néző szélét, amely kissé vastagabb, margo pupillarisnak, sugártest felé eső szélét margo ciliarisnak hívjuk. Utóbbi csipkeszerű képletekkel, *ligamenta pectinata*, rögzül a spongiosa sclerae-n. A csipkék között keskeny rések a spongiosa sclerae üregeivel együtt képezik a *spatia anguli iridocornealist*. A szélek felé a korong kissé elvékonyodik. Az iris szövete a középső burok többi részéhez hasonlóan erősen erezett és pigmentált laza kötőszövetekből (stroma) áll. (8. ábra)

Az iris vázát pigmentsejteket tartalmazó, laza, rostos kötőszövet a *stroma iridis* képezi, amely a vascularis rétegnek felel meg. Hálózatos kollagénrostrendszere a fényképezőgép-blende lemezeihez hasonlóan képes átrendeződni és a pupilla átmérőjét változtatni. A rosthálózatban, különösen a szélek felé, szabálytalan alakú, változatos méretű crypták helyezkednek el, amelyek az iris szövetében csarnokvízzel kitöltött, hálózatos üregrendszert alkotnak. Az iris erei jól alkalmazkodnak a pupilla szűküléséhez és tágulásához. A pupillaris és ciliaris szél mentén egy-egy körkörös érfonat helyezkedik el, *circulus arteriosus iridis minor et major*, amelyeket radiaer lefutású érhurkok kötnek össze. A stromában a pupillaris szélhez közel elhelyezkedő, parasympathicus beidegzésű, körkörös lefutású simaizmok lapos, lemezszerű izomgyűrűt, a *m. sphincter pupillae*-t alkotják.

A kétrétegű pigmenthámnak az iris stromájával határos hámsejtjei nemcsak folyamatos hámréteget, hanem hosszan, simaizomszerűen megnyúlt basalis nyúlványaik révén lapos, kontraktilis lemezt, pupillatágító izomréteget, *m. dilatator pupillae*-t is alkotnak a vascularis réteg és a hámréteg között. Ezen myoepithelsejtek nyúlványai radiaer irányúak, sympathicus beidegzésűek.

Az iris hámját hátulról (belülről) szabályos lamina basalis, *membrana limitans iridis*, fedi, amely a sugártestet borító és a retinát bélelő lamina limitans interna folytatása.

Lóban az iris pupillaris szélén, elsősorban felül, de az alsó szélén is képződhetnek, a retina pigmentrétegének túlsarjadzásából barna-fekete csomócskák, az ún. szőlőgerezd, *Granula iridica*, amelyek pigmentsejtekkel körülvett laza kötő-

szövetet, vékonyfalú, tág ereket és folyadékkal töltött kis üregeket tartalmaznak, részt vesznek a csarnokvíz képzésében is. (4. ábra)

Az iris színe a stroma vér- és pigmenttartalmától függ. Ha a stroma vastag, és sok pigment szemcsét tartalmaz, akkor az iris színét ezen szemcsék határozzák meg. Ha vékony, és benne kisebb a melanocyták száma, akkor áttűnik a pars iridica retinae fekete pigmenthámja, minél vékonyabb a stroma, annál sötétebb ez a szín. Albinókban, ahol a pigment szemcsék teljesen hiányoznak, az iris színe a dús erezettség miatt piros.

Az iris leghátsó (legbelső) rétege a kétrétegű irishám, *stratum pigmenti iridis*. A sugártest hámfával ellentétben az irist borító hám mindkét lemeze pigmentált; a külső gyengébben, a belső erősebben. A külső hám a retina pigmenthámjának a folytatása, a lencsével szomszédos belső hámréteg pedig a fényérzékeny retina, illetve a nempigmentált sugártesthám folytatása, *pars iridica retinae*. Az embryonális szemserleg két fala az iris pupillaris szegélye mentén megy át egymásba, és mivel a pupillaszél mentén az áthajlási vonal kissé kifordul, a hám a pupillát szegélyező keskeny, pigmentált gyűrű formájában láthatóvá válik.

A pupilla tágasságát befolyásoló tényezők

A pupillatágító izom sympathicus, a szűkítő parasympathicus beidegzésű, és a két izom aktivitásának eredője határozza meg a pupilla mindenkor átmérőjét, amely diaphragmaszerűen szabályozza a beeső fény mennyiségét. A pupilla reakciókészsége a változó fényviszonyokra nagy diagnosztikai jelentőséggel bír, mivel mind a m. ciliaris, mind pedig a m. sphincter pupillae parasympathicus beidegzés alatt áll (III. agyideg), az akkormodációt mindig szimultán pupillaszűkület is kíséri. A fényrekesz aperturájának tágassága ezen kívül a látásélességet is befolyásolja; minél szűkebb a pupilla, annál nagyobb a szem mélységélessége.

Szemészeti vizsgálat során gyakran kerül sor a pupilla tágítására parasympathicus bénító atropinnal. Ilyenkor az iris megvastagszik és betüremkedik a csarnokzugba, ami akadályozza csarnokvíz elfolyását. Parasympathicus izgató szerek ezzel szemben a csarnokvíz elfolyását segítik elő, mert a m. sphincter pupillae összehúzódásakor az iris ellaposodik, ugyanakkor a m. ciliaris meridionalis rostjainak összehúzódása pedig tágítja a csarnokzugot.

BELSŐ BUROK VAGY IDEGHÁRTYA (TUNICA INTERNA BULBI S. RETINA)

A retina az agyhólyagból kitüremkedő, kettős falú szemserleg származéka, tehát különleges differenciáltságú agyszövetnek tekinthető. A retinát az agyburkoknak megfelelő uvea és sclera veszi körül, az agykamrának pedig az a virtuális tér felel meg, amely a szemserleg üregének (ventriculus opticus) maradványaként a pigmenthám és a fotoreceptorok között található. A szemserleg külső fala végig, a belső fal pedig az ora serrata előtt egyrétegű marad, a belső fal hátsó 4/5-e azonban fényérzékeny ideghártyává, *pars optica retinae*, differenciálódik. (9. ábra)

Vertikális neuronrendszer

A központi idegrendszer neuronhálózataihoz hasonlóan a retinában is alapvetően két síkban történik az ingerület továbbítása, illetve feldolgozása. A retina síkjára merőleges (vertikális) irányú ingerületátadás a fotoreceptoroktól a látóideg rostjai felé halad. Kívülről befelé három neuron kapcsolódik sorban egymáshoz: a fotoreceptorsejtek az információt a bipoláris sejteknek adják át, amelyek a ganglionsejtekkel synaptizálnak. Utóbbiak axonjaiból szedődik össze a látóideg. Mindhárom sejtfeleség perikaryonjai egy-egy, perikaryonokban gazdag „magvas” réteget alkotnak, amelyek között összesen két „synapticus” réteg helyezkedik el.

Horizontális neuronrendszer

A vizuális információ retinalis szintű feldolgozása a retina síkjával párhuzamos (lateralis vagy horizontalis) kapcsolakon keresztül valósul meg. Ehhez olyan neuronok szükségesek, amelyek nyúlványai ugyanazon rétegen belül maradnak, és egymástól távolabb elhelyezkedő sejteket kötnek össze. Ezen asszociációs neuronok a bipoláris sejtek rétegében foglalnak helyet, és nyúlványaik a két synapticus réteg valamelyikében ágazódnak el. A horizontális sejtek rostjai a külső synapticus rétegben haladnak, és szomszédos vagy távolabbi fotoreceptorsejteket kötnek össze egymással. Az amakrin sejtek pedig a belső synapticus rétegben elágazódó nyúlványaikkal különböző bipoláris sejtek között létesítenek kapcsolatot. A horizontális és amakrin sejtek úgy működnek, hogy a retina adott pontján fellépő izgalmi állapotot nagyobb területre terjesztik ki (serkentés) vagy éppen szűk területre összpontosítják (gátlás).

Határhártyák, Müller-sejt

A retina üvegtest felé néző felszínén a ganglionsejtek axonjai, a látóidegrostok, külön rétegben haladnak a látóidegfő felé. A három magvas réteget, a köztük lévő két synapticus réteget, valamint az opticus rostok rétegét egy-egy határhártya fogja közre. A belső határhártya az üvegtesttől választja el az eddig felsorolt hat réteget, a külső határhártya pedig a fotoreceptorsejtek perikaryonjait zárja le a fotoreceptor nyúlványok (fejlődéstanilag a volt ventriculus opticus) irányában. A fotoreceptorok (csapok és a pálcikák) ezen a határhártyán keresztül nyúlnak ki a pigmenthám felé. A határhártyák szoros összefüggésben vannak a retina különleges gliasejtjeivel, a Müller-sejtekkel. Ezek a hosszan elnyúlt gliasejtek a két határhártyát hidalgják át, és vesznek részt annak alkotásában. Sejtmagjuk a belső magvas rétegben helyezkedik el, vitrealis irányban haladó nyúlványuk talpszerű megvastagodással hozza létre a belső határhártyát, míg scleralis nyúlványuk a fotoreceptorsejtek közé illeszkedik, és azokkal sejtkapcsoló struktúrák révén kapcsolódik. A sejtkapcsoló (főként adhaerens típusú) struktúrák sora a fénymikroszkópban vékony vonalnak látszik (külső hártya). (10. ábra)

A retina egyes rétegei bemutatásánál kívülről befelé haladunk, ez megfelel annak a sorrendnek, amelyben a fény által keltett ingerület halad át a különböző szövetrétegeken. Tudnunk kell azonban, hogy a fény útja ezzel ellentétes irányú, és mielőtt a fotoreceptorokhoz elér, át kell, hogy hatoljon a retina valamennyi

rétégén. A retina rétegeinek leírásánál általában a scleralis (külső) és vitrealis (belső) iránymegjelölő fogalmakat szokás használni.

A szemserleg hajdani üregének megfelelő intraretinalis teret sejtkapcsoló struktúrák vagy kötőszövetes lemezek nem hidalják át. A pigmenthámsejtek apicalis nyúlványai mindössze glukózaminoglikánokat tartalmazó „ragasztóanyag” (*interfotoreceptor mátrix, IPM*) közvetítésével érintkeznek a fotoreceptorokkal. Az IPM által biztosított retinalis adhézió kívül a retinát a pigmenthámhoz tulajdonképpen csak a szembelnyomás rögzíti.

Ezen laza kapcsolat következménye, hogy ha a szemgolyó (pl. ütés következtében) megsérül vagy az intraocularis nyomás hirtelen csökken, a neuralis retina leválhat a choroideához szorosan rögzülő pigmenthámról (retinaelválás, ablatio retinae), ami a fotoreceptorok pusztulásával jár. A retina szorosan csak a látóideg belépésénél és az ora serratánál rögzül a pigmenthámhoz és az érhártyához.

A retinában kétféle fotoreceptor fordul elő: *pálcika és csap (duplicitási elv)*. A pálcikák ingerküszöbe alacsony, tehát gyenge megvilágítási körülmények között is képesek a fényingerek felfogására, *szkotópiás látás*. A csapok ugyan kevésbé érzékenyek, tehát csak nappali fényben működnek, *otópiás látás*, „cserébe” azonban képesek a különböző hullámhosszúságú fénysugarak megkülönböztetésére, *színlátás*. Speciális neuronális kapcsolataik és elrendeződésük révén a csapok felelősek az éleslátásért is. A retina színdiszkriminációs képességét a különböző spektrális érzékenyséű csapok együttes jelenléte biztosítja. A ló két féle csapja zöld és kék fényre a legérzékenyebb, aszerint, hogy kultagjukban milyen elnyelési maximummal rendelkező fotopigment foglal helyet.

A fototranszdukciós lánc

A pálcikák és a csapok morfológiai és élettani sajátosságai között számos eltérés van, az alapvető fotokémiai folyamat azonban mindkettőben ugyanaz. A kultagmembrán lipid kettősrétegében felhalmozott fotopigment integrális membránfehérjéből (opszin) és fényérzékeny prosztetikus csoportból (11-cisz-retinál) áll. A foton abszorpciójára a retinál megváltoztatja alakját (cisz-transz izomerizáció), ami az opszin konformációváltozását idézi elő. Az így aktivált opszin jelátviteli láncot indít el. Először a transzducin (G-protein), majd a foszfodiészteráz aktiválódik, aminek hatására csökken a sejtmembrán Na-csatornait nyitva tartó cGMP szint, és a fényexpozíció a Na-csatornák bezáródása révén hiperpolarizációt okoz. Sötétben, ezzel szemben, a nyitott csatornák depolarizációt tartanak fenn, és a transzmitter (glutamát) is ekkor szabadul fel. A fotoreceptorsejtek tehát sötétben aktívak, és fény hatására gátlódnak. A folyamat végén a retinál leválk az opszincról, a pigmenthám pedig reizomerizálja (transz-cisz), miáltal a retinál újra lakalmassá válik az opszinba való beépülésre és újabb fototranszdukcióra.

A lovak látásélességét, színlátását és gyenge fényben való látási képességét retinájuk felépítése határozza meg. Retinájukban található fotoreceptor sejtek sűrűsége kisebb, mint az emberé, ami rosszabb látásélességet eredményez. A lóban becslések szerint mintegy 4-5 millió csap található, sűrűségük a periférián néhány 5000/mm², a látóávban pedig 15-20 ezer/mm² körül mozog.

A színlátásért felelős fotoreceptor sejteknek, a csapsejteknek a lovakban két fajtája fordul elő, melyek egyike rövid hullámhosszú (kék) fényre, a másik közepes

hullámhosszú (zöld) fényre érzékeny. Az ember retinájában van egy harmadik fajta csapsejt is, amelyik az előzőeknél hosszabb hullámhosszú (vörös) fény érzékelésében játszik szerepet. A lovak színlátása tehát dikromatikus, vagyis hasonló a részlegesen színvak emberekéhez. A lovak retinája mögött fényvisszaverő réteg (tapetum lucidum) helyezkedik el. A fény így kétszer halad át a retinán, ezért az alacsonyabb fényintenzitást is képes érzékelni (lásd: chorioidea). A lovak ezért igen gyenge fényben is látnak.

A különböző színérzékenyséű csapok közös morfológiai módszerekkel nem különíthetők el egymástól. Immuncitokémiával, fotopigment-ellenes ellenanyagok segítségével azonban bizonyos fotoreceptorok megjelölhetők. A pálcika rodopszinja és a csapok opszinjai ugyanazon fehérjecsaládhoz tartoznak, és színspecifitásukat éppen kisebb vagy nagyobb mértékben eltérő primer szerkezetüknek köszönhetik. A pálcikák és a kékérzékeny csapok szelektíven megjelölhetők. A vörös- és zöldérzékeny fotopigmentek aminosavsorrendje azonban annyira hasonló, hogy immuncitokémiai módszerrel sem különböztethetők meg egymástól. A csapokban a pálcikákéhoz hasonló fotokémiai folyamat megy végbe. A fototranszdukciós rendszer egyes elemei is hasonlóak, de kismértékben különböznek a pálcikákban és csapokban, illetve a spektrálisan eltérő csapokban. Ezek a különbségek is felhasználhatók az eltérő színspecifitású csapok elkülönítésére.

LÁTÓIDEGFŐ (DISCUS NERVI OPTICI)

A retina egyik kitüntetett helye a szemfenék ventro-temporalis részén elhelyezkedő látóidegfő, *discus nervi optici*. A sáncszerű szegéllyel körülvett, enyhé bemélyedés a retina többi részénél világosabb. Itt hagyják el a szemgolyót a látóideg rostjai, és itt lépnek be a retina erei (a. et v. centralis retinae), hogy azután a retina felszínén elágazódjanak. Ezen vakfoltnak is nevezett területen fotoreceptorok egyáltalán nincsenek. Az említett képletek a sclera lamina cribrosáján haladnak keresztül.

A látóidegfőtől laterálisan, ahol a pupillán átfutó fénysugarak a látótengely mentén az ideghártyát merőlegesen érik, van az éleslátás helye, a sárga folt, macula. Emberben 2 mm átmérőjű, ellipszis alakú terület, *area centralis rotunda*, ahol a retina vékonyabb és bemélyedt, fovea centralis. Házi emlősállatokban, így lóban is, ezenkívül még egy csík alakú terület, *area centralis striaeformis*, is növeli az éleslátás területét, amely a discus fölött a tapetum alsó széle mentén található, túlnyomórészt csapokat tartalmazó terület, a színlátást szolgálja.

Az *area centralis rotunda* a binocularis, az *area centralis striaeformis* pedig a monocularis látás szolgáltatásában áll.

A lovak szeme laterálisan helyezkedik el, ezért látóterük és térérzékelési képességük, a többi zsákmány-állathoz hasonlóan, jellegzetes módon eltér a ragadozóképtől, köztük az embertől. Horizontálisan mindkét szemük egyedi látótere (monokuláris látótér) igen kiterjedt előre- és hátrafelé, hátul csupán egy szűk területet hagyva, amit az állat nem lát („vak” terület). A térérzékelést (3D látást) lehetővé tevő binokuláris látótér (két szem együttes látótere) viszonylag szűk. (11-12. ábra)

A SZEMCSARNOK (CAMERA BULBI)

Az elülső és hátulsó szemcsarnok, *camera anterior et posterior bulbi*, a szaruhártya mögött és a szemlencse előtt helyeződik, a szivárványhártya választja el őket egymástól. Benne víztiszta, kevés fehérjét, aminosavakat, tejsavat, enzimeket, szőlőcukrot, karbamidot, sókat és hyaluronsavat tartalmazó folyadék, a csarnokvíz, humor aquosus, van. Az elülső szemcsarnok konkáv-konvex lencséhez hasonló alakú. Pereme a csarnokzug, *angulus iridocornealis*, amelyet a szaruhártya és a szivárványhártya határol; széle a *spongiosa sclerae*. A hátulsó szemcsarnok lapos korong alakú, az elülső szemcsarnokkal a pupillán át közlekedik.

A SZEMLENCSE (LENS)

A szemlencse, *ectodermalis* eredetű, átlátszó, enyhén sárgás árnyalatú, bikonvex lencse alakú szerv. A szivárványhártya és az üvegtest között foglal helyet. Függesztőkészüléke révén alakját változtatni képes. Elülső, laposabb felülete, *facies anterior lentis*, hátulsó domború felületével, *facies posterior lentis*, kör alakú tompa szélben, *aequator lentis*, találkozik egymással. A két felület legkiemelkedőbb pontját, *polus anterior et posterior*, a lencse tengelye *axis lentis*, köti össze. Az elülső és hátulsó felület görbületi sugarának aránya 3:2.

A lencsét a lencsehám által termelt, homogén, fénytörő lencsetok, *capsula lentis*, veszi körül, amely szokatlanul vastag lamina basalisnak felel meg. A lencsetok kollagénlemezéből, lamininból, fibronectinből és proteoglikánokból áll. A 10-20 μm vastag réteg szerkezete a Descemet-hártyához hasonló, elöl és az aequator mögött vastagabb, mint hátul. Rajta a sugártest felfüggesztő rostjai, *fibrae zonulares* tapadnak meg. A lencse tokon belül helyeződő állományát, *substantia lentis*, kívül lágyabb kéreg, *cortex*, centrálisan tömörebb, a korral növekedő mag, *nucleus lentis*, alkotja. Az állomány egymás fölé rétegződő lemezekből, *laminae lentis*, áll, amelyek ragasztóanyag útján egymáshoz kötött lencserostokból, *fibrae lentis*, épülnek fel.

Az öregedés során először a lencse középpontjában (*nucleus lentis*) lévő rostok vesztik el rugalmasságukat, a felszíni kéregállomány (*cortex lentis*) tovább is rugalmas marad. A lencsemag fokozatosan növekszik, és az alkalmazkodóképesség jelentősen beszűkül.

A lencse elülső felszínén egyrétegű köbhámot, *epithelium anterius*, találunk, amely fejlődését tekintve az embryonalis lencsehólyag elülső falának maradványa. A lencsehámsejtek apicalis vége a lencserostok felé, a korábbi lencseürege felé néz, egymással és a lencserostokkal desmosomák és nexusok segítségével kapcsolódnak. Más hámokkal ellentétben, itt *zonula occludens* nem fordul elő.

A lencserostok a lencsehámból, *epithelium lentis* fejlődnek, 7-10 mm hosszú, hexagonális prizma alakú hasábok, amelyek a rendelkezésre álló teret hézagmentesen töltik ki. A „rostok” valójában rendkívüli módon megnyúlt és átalakult hámsejtek, amelyek az embryonalis lencsehólyag hámsejteiből alakulnak ki. A szomszédos rostok nexusokkal kapcsolódnak egymáshoz. A rostok lemezeket alkotnak, amelyek egymalevél szerűen rendeződnek el a lencse geometriai

középpontja körül. A lencse ellentétes szektorai felől érkező, interdigitáló rostok elől egy fordított, hátul egy álló Y alakú, varratszerű vonalrendszert, lencsecsilлагot, *radii lentis*, hoznak létre. (13. ábra) A lencserostok sejtorganellumokban szegények, magot is csak a felszínhez közel elhelyezkedő, fiatalabb rostok tartalmaznak. Legfontosabb komponensük az oldott állapotban található krisztallin nevű fehérje. A lencserostok a szervezet legnagyobb fehérjetartalmú (60 %) sejtselemei, és ezen fehérjék 90 %-át a krisztallinok teszik ki.

A lencse sem ereket, sem idegeket nem tartalmaz, felépítésénél fogva szinte teljesen el van zárva az immunrendszer humoralis vagy sejtsele tényezőitől. Táplálásaért a csarnokvíz felelős.

Lencsefüggesztő készülék, akkomodáció

A lencsét a lencsefüggesztő rostok, *fibrae zonulares*, rögzítik, amelyek összességét *zonula ciliaris*nak nevezzük. A rostok a corpus ciliare hámfájában, a sugárnyúlványok között mélyedésekben erednek és a lencsetokban, az aequator környékén tapadnak. A sugártesten eredő rostkötegek száma mintegy 140, a lencse ekvátora felé haladva azonban felrostdozódnak, és a lencsén nagyszámú egyedi fibrillummal végződnek. A 11-12 μm vastag rostok ultrastruktúrája az elasztikus rostok elemi mikrofibrillumaira emlékeztet. Szerepük az akkomodációban passzív, az erőátvitelre korlátozódik. Az aktív szerepet a m. ciliaris játssza, amely közelrenézéskor a sugártestet előrehúzza, és a gyűrű átmérőjét csökkenti, ami a rostok ellazulást okozza. Távolrenézéskor a Bruch-membrán, mint elasztikus aponeurosis, visszahúzza a sugártestet, így a lencsefüggesztő rostok megfeszülnek.

A lovak esetében az akkomodáció mechanizmusa még nem tisztázódott egyértelműen. Régebben úgy tartották, hogy a lovak ferde retinával rendelkeznek, vagyis a retinának a szemlencse hátsó felületétől való távolsága a szemgolyón belül változó. Ez egy statikus akkomodáció lehetőségét kínálja, mert a ló a fejének felemelésével/leszegésével megvalósíthatja a különböző távolságra lévő tárgyakra való fókuszálást. Az újabb kutatások eredményei szerint a lovak, a többi emlőshöz hasonlóan, dinamikus (ciliaris) akkomodációs képességgel rendelkeznek, vagyis fókuszálás során a corpus ciliaris izmainak segítségével változtatják szemlencsájuk domborúságát. Ez utóbbi nézet szerint a fej felemelése vagy leszegése nem az akkomodációt szolgálja, hanem azt, hogy a megvizsgálni kívánt tárgy a binokuláris látótérbe kerüljön. Ugyankor megjegyzendő, hogy a ciliaris izmok gyengesége miatt az akkomodációs képesség korlátozott.

ÜVEGTEST (CORPUS VITREUM)

Az üvegtest a lencse és a retina közötti teret teljes egészében kitöltő kocsonyás állomány. Szorosan tapad a retina fényérzékeny részéhez, legerősebben az ora serrata vonalában rögzül, előrefelé fokozatosan elválk a corpus ciliarét borító retinalis hámtól. A lencse hátsó felszíne számára bemélyedést képez, *fossa hyaloidea*. Elülső felszíne ezen kívül a lencsefüggesztő rostokkal és a hátsó szemcsarnokkal szomszédos.

A friss üvegtest szintelen, gélszerű massa, amely a vízhez hasonlóan átlátszó, *humor vitreum*. Az üvegtest 99 %-át valóban víz teszi ki, szolubilis állományához

ezen kívül nagy vízkötő képességű, felcsavarodott hialuronsav molekulák járulnak hozzá. Szárazanyag-tartalma a hialuronsavhoz gyenge kötésekkel kapcsolódó (II-es típusú) kollagénből áll. Ezen elemek valamivel nagyobb mennyiségben fordulnak elő az üvegtest perifériás részében (membrana hyaloidea). Itt kis számban sejtek (hyalocyták) is helyet foglalnak, amelyek valószínűleg a kollagén és a hialuronsav szintéziséért felelősek.

A primer ebryonalis üvegtest mesodermális eredetű, a felnőtt szemben található üvegtest azonban valószínűleg a neuroectodermális eredetű retinalis hám termeli.

LÁTÓIDEG (NERVUS OPTICUS, II.)

A szem ideghártyájából a szemgolyó hátulsó pólusán ventrotemporalisan kilépő hengeres köteg, a látás fajlagos idege, a látópálya része. Eredete és szerkezete alapján kihelyezett agyvelőpályának felel meg, mivel az ideghártya is a köztigyevelő kihelyezett része. A látópálya két részből áll: 1. extracranialis szakasza a n. opticus; 2. cerebralis szakasza a tractus opticus és az agyvelői látópálya.

A retina ganglionsejtjeiből eredő látóidegrostok a lamina cribrosa sclerae-n kilépve velőhüvelyesekké válnak. A velőhüvelyt nem Schwann-sejtek, hanem oligodendroglia sejtek alkotják. A n. opticus tehát központi idegrendszeri pályának és nem perifériás idegnek felel meg. A hasonlóság abban is megnyilvánul, hogy megtaláljuk körülötte mindhárom agyburkot; a sclerában folytatódó dura matert és az érhártyában folytatódó lágyagyhártyákat is. A pia mater és az arachnoidea közötti tér, *cavum subarachnoidale*, folytatása, mint *spatium intervaginale* a szemgolyónál vakon végződik. A pia mater számos kötőszövetes sövetet bocsát a rostok közé. A n. opticus közepén az a. et v. centralis retinae fut.

A látóideg *intraorbitális szakasza* lóban kb. 5,5 mm átmérőjű, a szemgolyó hátravonó izmának izomlemezei között, zsírszövetbe ágyazottan, enyhe nagy S alakú görbülettel a foramen opticumhoz tér. Az intracranialis szakasz a canalis opticuson át a koponyaalapon lévő sulcus chiasmatisba jut. Itt a kétoldali látóideg rostjai részben (lóban 80-85 %-ban) kereszteződnek egymással, chiasma nervi optici (semmidecussatio).

Cerebralis szakasz. A chiasma nervi opticiből újonnan kialakult kötegek mint agyvelői pályák, *tractus opticusok*, folytatódnak tovább. Az agytörzset oldalról megkerülik, és afölött a látótelepben, *thalamus opticusban*, végződnek. Eredésüknél rostok, *radiatio optica hypothalamica*, térnek a hypothalamus elülső magvaihoz. A tractus opticus rostainak nagyobb része a *corpus geniculatum laterale* idegsejtjeiben végződik; kisebb része az elülső ikertelepekhez tér. A lateralis térdestest a látás agytörzsi, *subcorticalis*, központja, innen indulnak ki a látóreflexpálya rostjai is.

A corpus geniculatum lateraléből eredő pályák:

- *tractus geniculooccipitalis*, amely a capsula internában haladó látókisugárzás (radiatio optica) útján az agyvelő nyakszirti lebenyében lévő látókéreg központjaiba jut;

- *a pupillareflex pályák*;

Afferens szakasz: az ideghártyából származó és a tractus opticultól elváló rostok a corpus geniculatum lateralén át az elülső ikerdombok karjaiba lépnek,

és az ikerdombok előtt két kötegre válnak szét. A vékonyabbik köteg a középső agyvelő elején lévő nucleus interstitialishoz tér, az erősebb köteg rostjai pedig a commissura caudalisban kereszteződnek egymással, és áttérve az ellenkező oldalra, a nucleus interstitialisnál egyesülnek az ellenkező oldali vékonyabb köteggel. Ez a közös köteg a nucleus parasympathicus n. oculomotorii kissejtes részében, az Edinger-Westphal-féle magban végződik. Innen indul ki a reflexív efferens szakasza.

Efferens szakasz: az Edinger-Westphal-féle magból eredő parasympathicus rostok a n. oculomotoriussal a multipoláris idegsejtekből álló parasympathicus dúchoz, a *ganglion ciliare*-hez térnek, itt átkapcsolódnak, majd a ganglionból kiinduló postganglionaris rostok mint *nn. ciliares breves* a m. sphincter pupillae és a m. ciliarist látják el.

A sympathicus idegek a ganglion cervicale cranialeból erednek, mint postganglionaris rostok, a plexus caroticus internus közvetítésével jutnak a ganglion ciliare-hoz, azon csupán áthaladnak és közvetlenül a m. dilatator pupillaehez térnek. (14-15. ábra)

A szemgolyó járulékos szervei (organa oculi accessoria) a szemgödör, a szemgolyó pólyái, izmai, a szemhéjak és a könnykészülék, amelyek a szemgolyót védik, működésében segítik, így közvetve a fényérzékelést szolgálják.

IRODALOMJEGYZÉK

- Anderson, B. G. – Wyman, M. (1979): Anatomy of the equine eye and orbit, histological structure and blood supply of the eyelid, J. Equine Med. Surg., 3. 4-9.
- Ashdown, R. R. – Done, S. (1988): Topographische Anatomie des Pferdes, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 46-49.
- Beaver, B. V. (1982): Equine Vision, Vet. Med., (SAC), 77. 175-178.
- Bonfig, H. (1992): Ophthalmologie in der Pferdepraxis, Veterinar Spiegel. 4. 14-21.
- Diesem, C. (1968): Gross anatomical structure of the equine and bovine orbit and its contents, Am. J. Vet. Res., 29. 1769-1781.
- Dyce, K. M. – Sack, W. O. – Wensing, C. J. G. (1991): Anatomie der Haustiere, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 509-535.
- Geest de, J. P. – Simoens, P. – Lauwers, H. – Schaepdrijver de, L. (1987): Comparative study of the iridocorneal angle in domestic animals, Acta anat., 130. 21.
- Gelatt, K. N. – Finocchio, E. J. (1970): Variations in the normal equine eye, Vet. Med., (SAC), 65. 569-574.
- König, H. E. – Liebich, H. G. (2009): Sehorgan, In: König, H. E. – Liebich, H. G. (Ed): Anatomie der Hausaugetiere, Schattauer, Stuttgart, 567-588.
- Latimer, C. A. – Wyman, M. – Diesem C. D. – Burt, J. K. (1984): Radiographic gross anatomy of the nasolacrimal duct of the horse, Am. J. Vet. Res., 45. 451-458.
- Moreno Medina, F. – Vázquez Autón, J. M. – Gil Cano, F. (1992): Atlas en color de Anatomía Veterinaria, Volumen I., Universidad de Murcia, 52-57.
- Pfeiffer, R. L. (1980): Foundations of Equine Ophthalmology, Clinical Anatomy and Physiology, Equine Pract., 1. 39-46.
- Samuelson, D. A. (1991): Ophthalmic Embryology and Anatomy. In: Gelatt, K. N. (Ed): Veterinary Ophthalmology, Lea & Febiger, Philadelphia, 3-124.
- Schaller, O. (Ed) (1992): Illustrated Veterinary Anatomical Nomenclature, Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 510-525.
- Schmidt, F. (1992): Zur Morphologie der Cornea beim Pferd, München, Tierarztl. Fak., Diss.,

- Seiferle E. – Böhme G. (1992): Sehorgan, In: Nickel R. – Schummer A. – Seiferle E. (Ed): Lehrbuch der Anatomie der Haustiere Band IV, 3, Verlag Paul Parey, Barlin und Hamburg, 410-437.
- Simoens, P. – Budras, K. D. (2004): Das Auge; Hilfseinrichtungen des Auges, In: Budras, K. D. – Röck, S. (Ed): Atlas der Anatomie des Pferdes, Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co., 40-43.
- Smith, P. J. – Samuelson, D. A. – Brooks, D. E. – Whitley, R. D. (1986): Unconventional aqueous humor outflow of microspheres perfused into the equine eye, Am. J. Vet. Res., 47, 2445-2453.
- Sótonyi P. (2010): Anatomie und Physiologie, In: Tóth J. – Hollerieder J. – Sótonyi P. (Ed): Augenheilkunde beim Pferd, Lehrbuch und Atlas Schattauer, Stuttgart, 3-31
- Wagner, A. (1991): Zur Morphologie des Angulus iridocornealis beim Pferd, München, Tierarztl. Fak., Diss.
- Wissdorf, H. – Otto, B. – Gerhards, H. (2002): Nebenorgane des Auges; Augapfel
In: Wissdorf, H. – Gerhards, H. – Huskamp, B. – Deegen, E. (Ed): Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes, M. & H. Schaper Alfeld (Leine), Hannover, 103-153.
- Wissdorf, H. – Lemke, C. – Kassianoff, I. (1992): Beitrag zur Form und zum Verteilungsmuster der Traubenkörner (Granula iridica) beim Pferd, Pferdeheilk, 8. 35-40.
- Zietzschmann, O. (1912): Die Orbitalarterien des Pferdes, Arch. Vergl. Ophth. 3. 129-210.
- Zietzschmann, O. (1912): Zur Vaskularisation des Bulbus und seiner Nebenorgane, Verh. Anat. Ges., 26. 107-118.

Érkezett: 2015. október

Szerző címe:

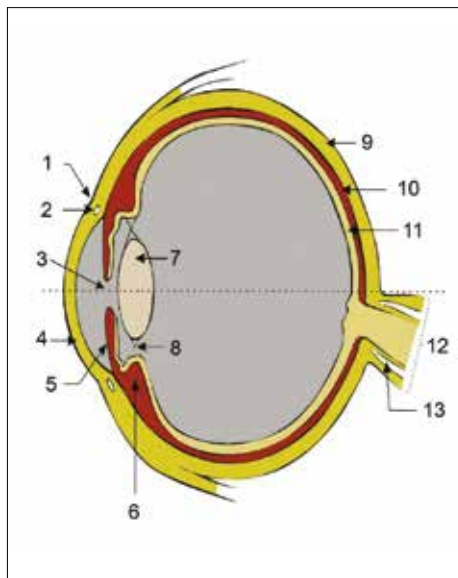
Sótonyi P.

Author's address:

Szent István Egyetem, Állatorvos-tudományi Kar
Faculty of Veterinary Science, Szt. István University
H-1072 Budapest, István u. 2.
sotonyi.peter@aotk.szie.hu

1. ábra A szembgolyó felépítésének sémás ábrázolása

A szaggatott vonal a szembgolyó elülső és hátulsó pólusát összekötő axis bulbit jelöli. (Szél után módosítva)

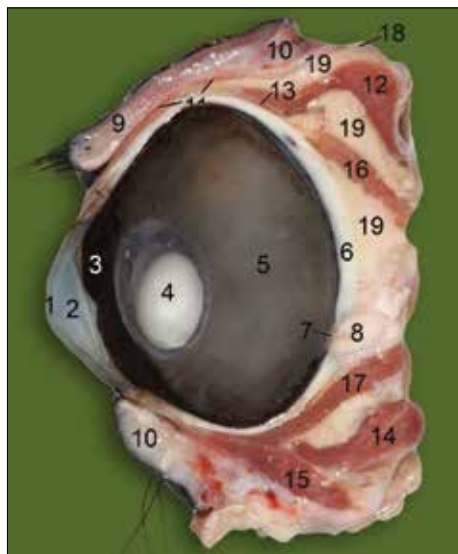


1. sulcus sclerae 2. Schlemm-féle plexus, plexus venosus sclerae 3. pupilla 4. szaruhártya, cornea 5. szivárványhártya, iris 6. sugártest, corpus ciliare 7. szemlencse, lens 8. lencsefüggesztő rostok, fibrae suspensoriae lentis (fibrae zonulares) 9. külső burok, tunica fibrosa, ínhártya, sclera 10. középső burok, tunica vasculosa, érhártya, chorioidea 11. belső burok, tunica interna, ideghártya, retina 12. látóideg, n. opticus 13. liquor tér, spatium intervaginale

Figure 1. Schematic demonstration of the structure of the eyeball. Dashed line represent the axis connecting the anterior and posterior pole of the eyeball

1. sulcus sclerae 2. Schlemm--plexus, plexus venosus sclerae 3. pupil 4. cornea 5. iris 6. corpus ciliare 7. lens 8. zonule fibers, fibrae suspensoriae lentis (fibrae zonulares) 9. tunica fibrosa, sclera 10. tunica vasculosa, chorioidea 11. tunica interna, retina 12. optic nerve, n. opticus 13. liquor space, spatium intervaginale

2. ábra Fagyasztott bal oldali szem vertikális metszete a szemhéjakkal és a szemizmokkal, medialis szemfél

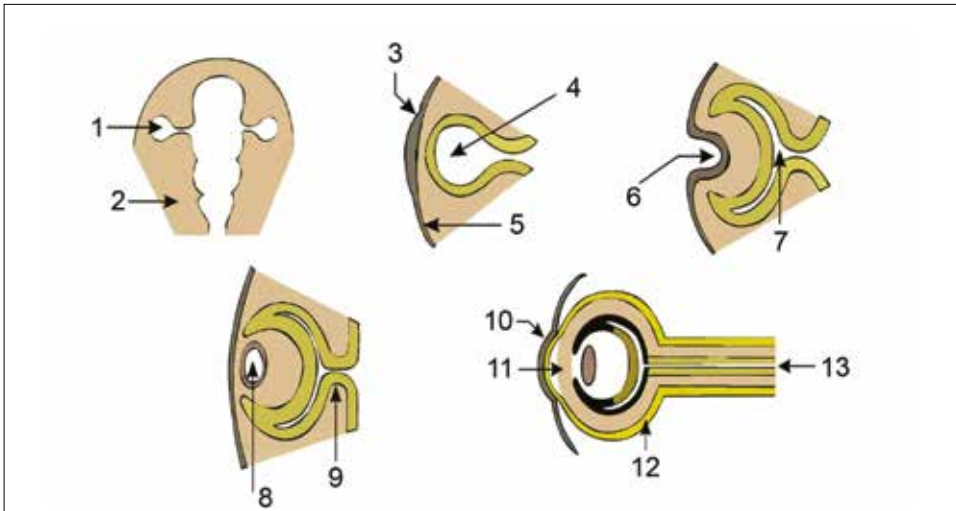


1. cornea, 2. camera bulbi, 3. iris, 4. lens, 5. corpus vitreum, 6. sclera, 7. discus n. optici 8. n. opticus (II.), 9. palpebra superior, 10. palpebra inferior, 11. m. levator palpebrae superioris, 12. m. rectus dorsalis, 13. m. obliquus dorsalis, 14. m. rectus ventralis, 15. m. obliquus ventralis, 16. m. retractor bulbi, pars dorsalis, 17. m. retractor bulbi, pars ventralis, 18. periorbita, 19. corpus adiposum intraperiorbitale

Figure 2. Vertical section of a frozen left eyeball with palpebrae and ocular muscles

1. cornea, 2. camera bulbi, 3. iris, 4. lens, 5. corpus vitreum, 6. sclera, 7. discus n. optici 8. n. opticus (II.), 9. palpebra superior, 10. palpebra inferior, 11. m. levator palpebrae superioris, 12. m. rectus dorsalis, 13. m. obliquus dorsalis, 14. m. rectus ventralis, 15. m. obliquus ventralis, 16. m. retractor bulbi, pars dorsalis, 17. m. retractor bulbi, pars ventralis, 18. periorbita, 19. corpus adiposum intraperiorbitale

3. ábra A szem fejlődése vázlatosan (Szél után módosítva)



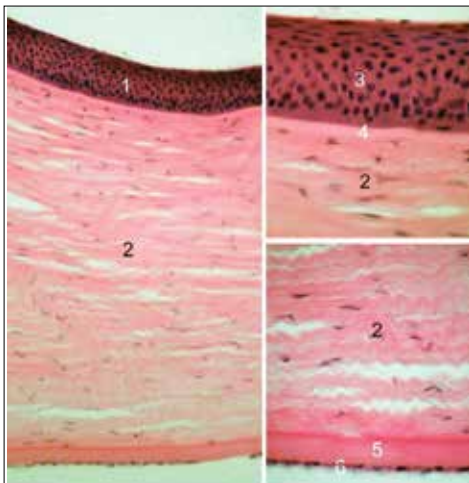
1. szemhólyag, 2. mesenchyma, 3. lencseplakód, 4. ventriculus opticus, 5. felületi ectoderma, 6. lencsegödör, 7. szemserleg, 8. lencsehólyag, 9. szemserlegnyél, 10. szaruhártya (cornea) 11. membrana pupillaris, 12. ínhártya (sclera), 13. látóideg, n. opticus,

Figure 3. Development of the eyeball (modified after Széll)

1. eye vesicle, 2. mesenchyme, 3. lens placod, 4. ventriculus opticus, 5. surface ectoderm, 6. lens pit, 7. cupula optica, 8. lens vesicle, 9. stalk of the cupula, 10. cornea, 11. membrana pupillaris, 12. sclera, 13. optic nerve

4. ábra A cornea rétegei

A cornea hám alsó felszíne nem papillázott, a stroma vastag lemezekből épül fel.

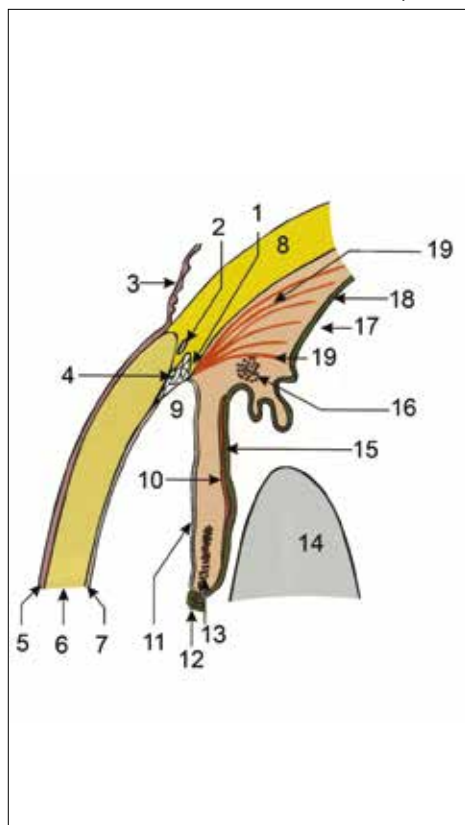


1. A cornea külső felszíne, facies anterior, 2. stroma, substantia propria, 3. A cornea elülső hámja, epithelium anterius corneae, 4. Bowmann-hártya, lamina limitans anterior, 5. Descemet-féle hártya membrana, limitans posterior, 6. cornea belső endothél rétege, endothelium corneae (endothelium camerae anterioris),

Figure 4. Layers of the cornea. Anterior epithelium has a non-papillated base, the stroma is made of thick layers

1. Anterior surface of the cornea, facies anterior, 2. stroma, substantia propria, 3. Anterior epithelium of the cornea, epithelium anterius corneae, 4. Bowmann's membrane - lamina limitans anterior, 5. Descemet' membrane - membrana, limitans posterior, 6. posterior surface of the cornea lined by endothelium, endothelium corneae (endothelium camerae anterioris)

5. ábra A corneoscleralis határ képletei és a belső szemizmok (Szél után módosítva)

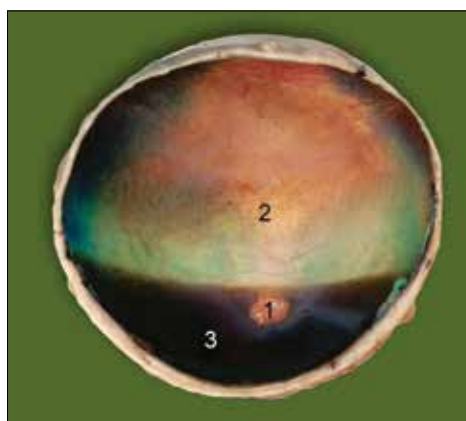


1. torus sclerae, 2. Schlemm-féle plexus, plexus venosus sclerae, 3. conjunctiva hám, 4. spongiosa sclerae, a spatia anguli iridocornealis-szal, 5. cornea hám, epithelium antierius corneae, 6. cornea stroma, substantia cornea, 7. cornea endothel, endothelium camera anterioris , 8. sclera, 9. csarnokzug, angulus iridocornealis, 10. m. dilatator pupillae, 11. iris endothel, endothelium camera anterioris, 12. granulum iridica, 13. m. sphincter pupillae, 14. lens, 15. stratum pigmenti iridis, pars iridica retinae, 16. m. ciliaris, cirkuláris rostok, 17. corpus ciliare, 18. epithelium ciliare, pars ciliaris retinae, 19. m. ciliaris, meridionalis rostok

Figure 5. Structures at the corneo-scleral border and the inner muscles of the eyeball (after Szél)

1. torus sclerae, 2. Schlemm plexus, plexus venosus sclerae, 3. conjunctival epithelium, 4. spongiosa sclerae, 5. corneal epithelium, epithelium antierius corneae, 6. corneal stroma, substantia cornea, 7. corneal endothel, endothelium camera anterioris , 8. sclera, 9. angulus iridocornealis, 10. m. dilatator pupillae, 11. iris endothel, endothelium camera anterioris, 12. granulum iridica, 13. m. sphincter pupillae, 14. lens, 15. stratum pigmenti iridis, pars iridica retinae, 16. m. ciliaris, cirkuláris rostok, 17. corpus ciliare, 18. epithelium ciliare, pars ciliaris retinae, 19. m. ciliaris, meridional fibers

6. ábra Fagyasztott bal oldali szem hátulsó, proximális fele, a szem az aequatoriális sík magasságában átvágva. Elölről nézve

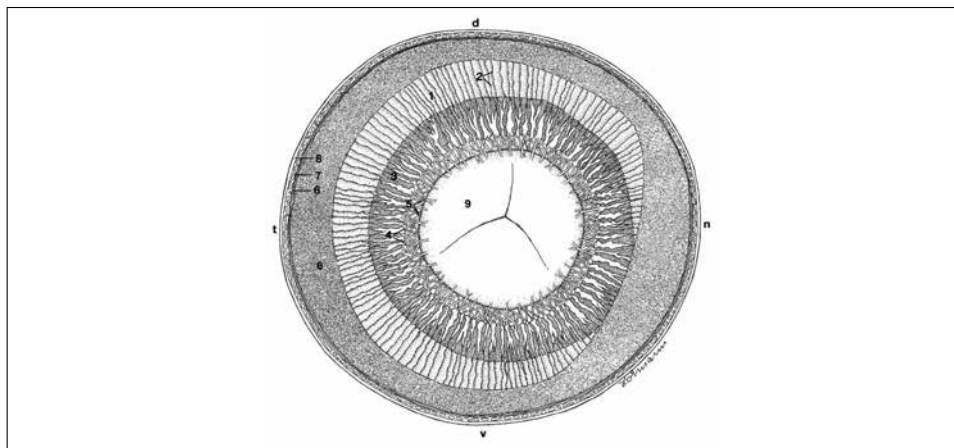


1. discus n. optici, 2. tapetum lucidum, 3. tapetum nigrum.

Figure 6. Posterior, proximal half of a frozen left eyeball (left side). The eyeball has been cut at the equatorial plane

1. discus n. optici, 2. tapetum lucidum, 3. tapetum nigrum.

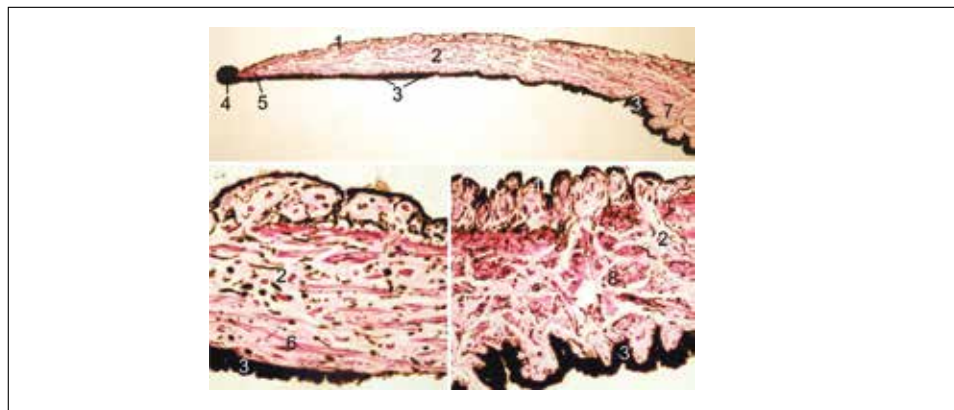
7. ábra Bal szem elülső distalis fele az aequatorialis sík magasságában átvágva. Hátról nézve. (Wissdorf, Otto, Gerhards után módosítva)



n nasal (1), t temporal (2), d dorsal (3), v ventral (4) 1. orbiculus ciliaris, 2. plicae ciliares, 3. corona ciliaris, 4. processus ciliares, 5. fibrae zonulares, 6. pars optica retinae, 7. choroidea, 8. sclera, 9. lens, az áttűnő elülső, fordított „Y” alakú lencse csillaggal, radii lentis

Figure 7. Equatorial dissection plane at the proximal half of the left eyeball. Vieweing from the back (modified after Wissdorf, Otto, Gerhards) n nasal (1), t temporal (2), d dorsal (3), v ventral (4); 1. orbiculus ciliaris, 2. plicae ciliares, 3. corona ciliaris, 4. processus ciliares, 5. fibrae zonulares, 6. pars optica retinae, 7. choroidea, 8. sclera, 9. lens with the transparent, upside-down Y shaped lens star, radii lentis

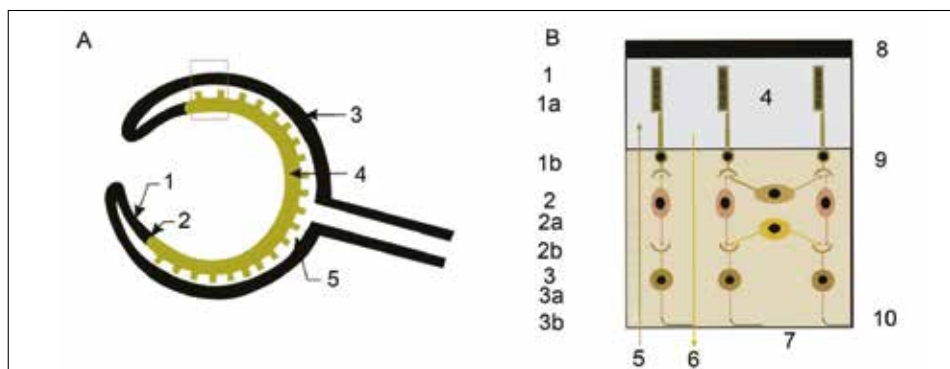
8. ábra A szivárványhártya, iris szövettani képe



1. elülső felszínt borító hám, endothelium camerae anterioris, 2. iris váza (vascularis réteg), stroma iridis, 3. hátulsó felszínt borító pigmenthám, stratum pigmenti iridis (pars iridica retinae), 4. granula iridica, 5. m. sphincter pupillae, 6. m. dilatator pupillae

Figure 8. Histological structure of the Iris

1. Epithelium covering the anterior surface, endothelium camerae anterioris, 2. core of the iris (vascular tunic), stroma iridis, 3. Pigmented epithelium covering the posterior surface of the iris, stratum pigmenti iridis (pars iridica retinae), 4. granula iridica, 5. m. sphincter pupillae, 6. m. dilatator pupillae

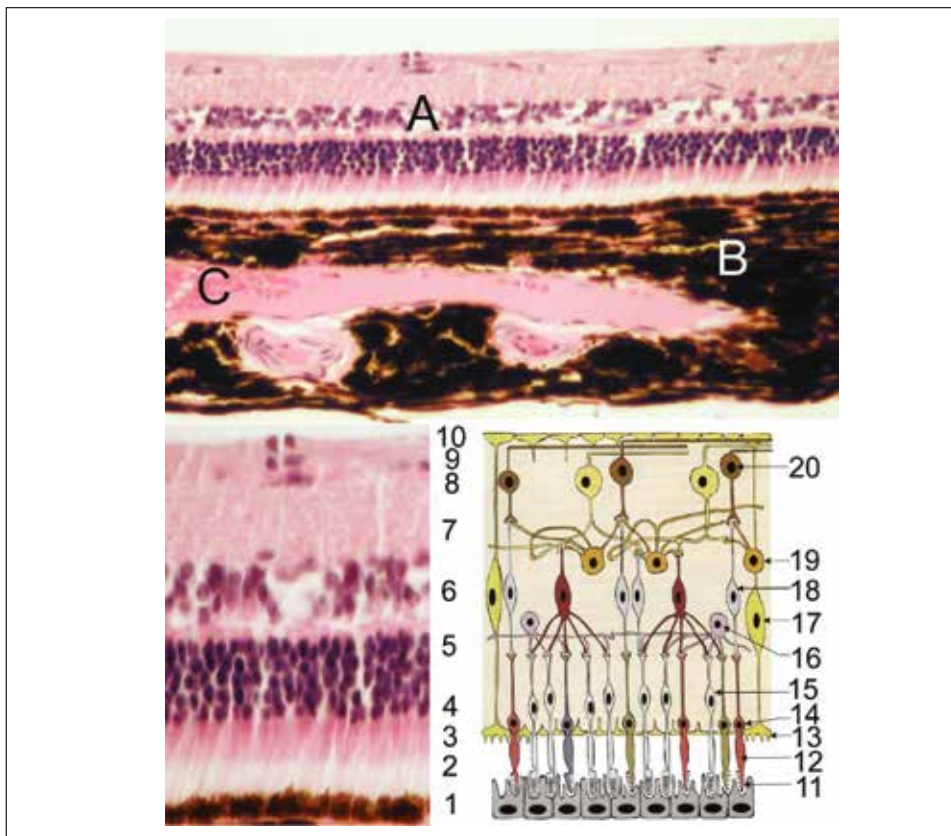
9. ábra A retina szerkezete a fejlődéstan alapján. (Szél után módosítva)

A. A szemserleg belső fala sokrétegűvé válik. A fotoreceptorok az eredeti szemhólyag üregébe nyúlnak, és a szemserleg külső falából fejlődő pigmenthám felé irányulnak. A pigmenthám egyrétegű marad. 1. pars caeca retinae, 2. ora serrata, 3. pigmenthám, 4. pars optica retinae, 5. ventriculus opticus B. ld. 10. ábra

Figure 9. Structure of the retina according to its development

A. The inner wall of the optic vesicle becomes multi-layered. Photoreceptors extend into the original lumen of the optic vesicle, and orienting themselves toward the pigment-epithelium. The latter develops from the outer wall of the optic vesicle and it remains single layered. 1. pars caeca retinae, 2. ora serrata, 3. pigment-epithelium, 4. pars optica retinae, 5. ventriculus opticus. B. see *Figure 10.* for further explanation.

10. ábra A retina felépítése, rétegei és sejtjeinek „kapcsolási rajza”

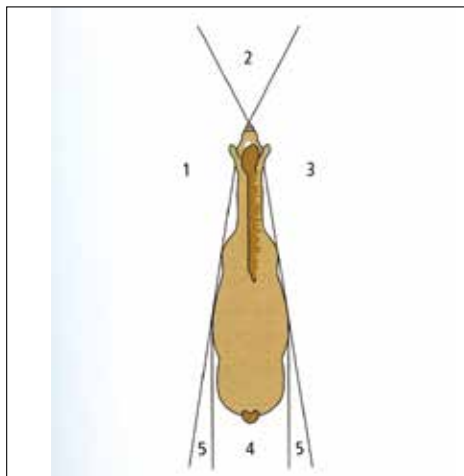


A. retina, B. choroidea, C. capillaris, Retina rétegei: 1. pigmenthám, stratum pigmentosum retinae, 2. csapok és pálcikák rétege, stratum bacillorum et conorum, 3. külső határhártya, membrana limitans externa, 4. külső szemcsés réte, stratum granulosum externum, 5. külső hálózatos (synapticus) réteg, stratum plexiforme externum, 6. belső szemcsés réteg, stratum granulosum internum, 7. belső hálózatos (synapticus) réteg, stratum plexiforme internum, 8. idegsejtek réteg, stratum ganglionare, 9. idegrostok rétege, stratum neurofibrarum, 10. belső határhártya, lamina limitans externa, Retina sejtjei: 11. kültag, 12. beltág, 13. mikrobolyhok, 14. csapsejt perikaryon, 15. pálcikasejt perikaryon, 16. horizontális sejt, 17. Müller sejt, 18. bipoláris sejt, 19. amakrin sejt, 20. ganglion sejt

Figure 10. Structure, layers and connectivity of the cells of the retina

A. retina, B. choroidea, C. capillaris, Layers of the retina: 1. pigment epithelium, stratum pigmentosum retinae, 2. layer of rods and cones, stratum bacillorum et conorum, 3. outer limiting membrane, membrana limitans externa, 4. outer granular layer, stratum granulosum externum, 5. outer plexiform layer, stratum plexiforme externum, 6. inner granular layer, stratum granulosum internum, 7. inner plexiform layer, stratum plexiforme internum, 8. layer of ganglion cells, stratum ganglionare, 9. layer of the optic nerve-fibers, stratum neurofibrarum, 10. outer limiting membrane, lamina limitans externa, Cell types of the retine: 11. outer segment, 12. inner segment, 13. microvilli, 14. cell body of a cone, 15. cell body of a rod, 16. horizontal cell, 17. Müller cell, 18. bipolar cell, 19. amacrin cell, 20. ganglion cell

11. ábra A ló horizontális látótere



1. monokuláris látás bal szemmel, 2. binokuláris látás, 3. monokuláris látás jobb szemmel, 4. vakterület, 5. perifériás látás

Figure 11. Horizontal viewfield of the horse

1. monocular vision with the left eye, 2. binocular vision, 3. monocular vision with the right eye, 4. blind spot, 5. peripheral vision

12. ábra A ló vertikális látótere

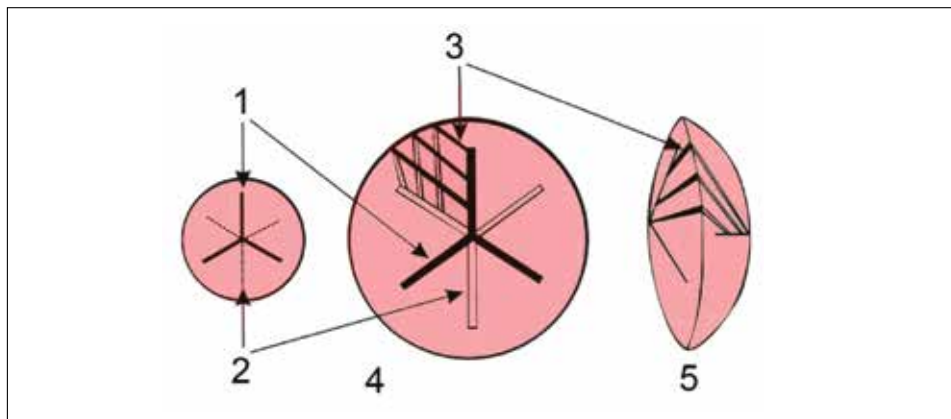


1. monokuláris látás bal szemmel, 2. binokuláris látás, 3. monokuláris látás jobb szemmel, 4. vakterület, 5. perifériás látás

Figure 12. Vertical viewfield of the horse

1. monocular vision with the left eye, 2. binocular vision, 3. monocular vision with the right eye, 4. blind spot, 5. peripheral vision

13. ábra A lencserostok és a lencsecsillag szerkezete vázlatosan

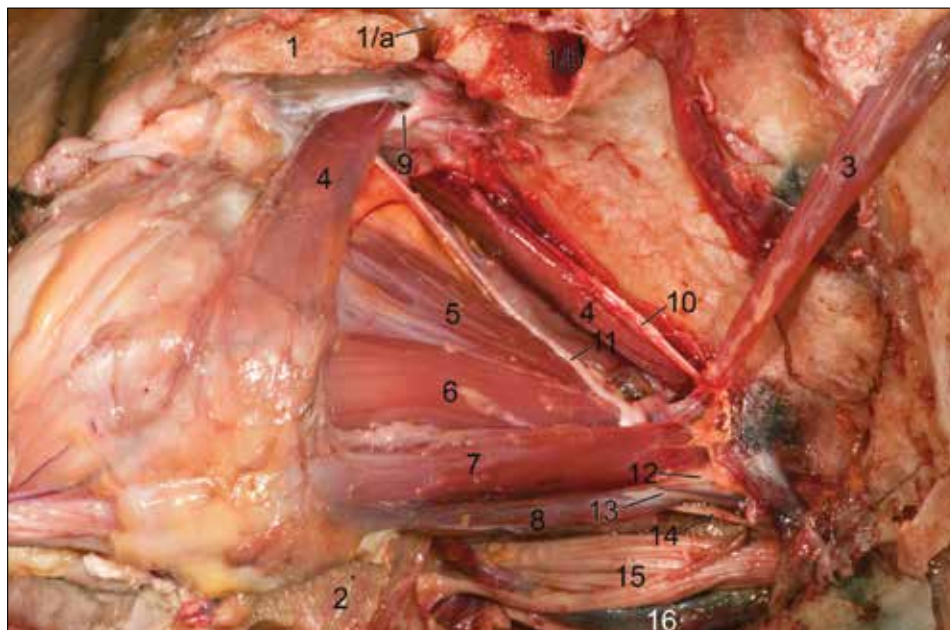


Előlnézetben (4) az előlő lencsecsillag (radii lentis) varratai folyamatos, a hátulsók szaggatott vagy üres vonalakkal vannak jelezve. A lencserostok aequator előtti szakasza folyamatos, a hátulsó része üres vonallal jelölve. (Drawing modified after Szél), 1. előlő lencsecsillag, 2. hátsó lencsecsillag, 3. lencserostok, 4. előlnézet, 5. oldalnézet

Figure 13. Diagram showing the direction and arrangement of the radiating lines and lens fibers

From frontal view (4) the anterior radiating lines (radii lentis) are indicated in solid, the posterior in dashed/empty lines. The lens fibers located frontal to the equator are indicated by solid lines, the posterior fibers are by empty lines. (Drawing modified after Szél), 1. anterior radiating lines, 2. posterior radiating lines, 3. lens fibers, 4. frontatl view, 5. lateral view

14. ábra A szemgolyó izmai és idegei, a *m. levator palpebrae superioris* elemelése után.
Dorsolateralis nézet.

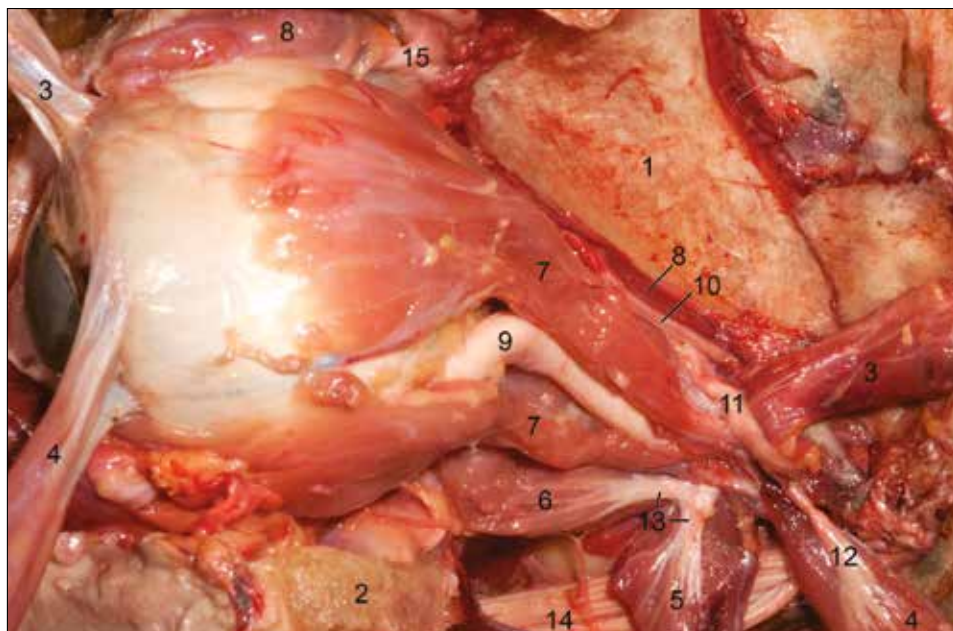


1. proc. zygomaticus ossis temporalis, 1/a. foramen supraorbitale, 1/b. sinus frontalis, 2. os zygomaticum, 3. *m. levator palpebrae superioris* elemelve, 4. *m. obliquus dorsalis*, 5. *m. rectus medialis*, 6. *m. retractor bulbi*, 7. *m. rectus dorsalis*, 8. *m. rectus lateralis*, 9. trochlea, 10. n. trochlearis (IV.), 11. n. infratrochlearis (n. nasociliaris, V/1.), 12. n. oculomotorius (III.), 13. n. abducens (VI.), 14. n. zygomaticofacialis (n. zygomaticus, V/2.), 15. n. maxillaris (V/2.), 16. a. maxillaris.

Figure 14. Dorsolateral view of the muscles and nerves of the eyeball after lifting the m. levator palpebrae

1. proc. zygomaticus ossis temporalis, 1/a. foramen supraorbitale, 1/b. sinus frontalis, 2. os zygomaticum, 3. *m. levator palpebrae superioris* elemelve, 4. *m. obliquus dorsalis*, 5. *m. rectus medialis*, 6. *m. retractor bulbi*, 7. *m. rectus dorsalis*, 8. *m. rectus lateralis*, 9. trochlea, 10. n. trochlearis (IV.), 11. n. infratrochlearis (n. nasociliaris, V/1.), 12. n. oculomotorius (III.), 13. n. abducens (VI.), 14. n. zygomaticofacialis (n. zygomaticus, V/2.), 15. n. maxillaris (V/2.), 16. a. maxillaris.

15. ábra A szemgolyó izmai és idegei, a felső, külső, alsó egyenes szemizmok átvágását és elemelését követően, és a n. opticus feltárását követően. Dorsolateralis nézet



1. lamina orbitalis ossis frontalis, 2. os zygomaticum, 3. m. rectus dorsalis, 4. m. rectus lateralis, 5. m. rectus ventralis, 6. m. rectus medialis, 7. m. retractor bulbi, 8. m. obliquus dorsalis, 9. n. opticus (II.), 10. n. trochlearis (IV.), 11. n. infratrochlearis (n. nasociliaris, V/1.), 12. n. abducens (VI.), 13. n. oculomotorius (III.), 14. n. maxillaris (V/2.), 15. trochlea

Figure 15. Dorsolateral view of the muscles and nerves of the eyeball after removing and lifting the upper, outer and lower muscles and exposing the nervus opticus

1. lamina orbitalis ossis frontalis, 2. os zygomaticum, 3. m. rectus dorsalis, 4. m. rectus lateralis, 5. m. rectus ventralis, 6. m. rectus medialis, 7. m. retractor bulbi, 8. m. obliquus dorsalis, 9. n. opticus (II.), 10. n. trochlearis (IV.), 11. n. infratrochlearis (n. nasociliaris, V/1.), 12. n. abducens (VI.), 13. n. oculomotorius (III.), 14. n. maxillaris (V/2.), 15. trochlea