

A SZEM OPTIKÁJA



A SZEM FELÉPÍTÉSE

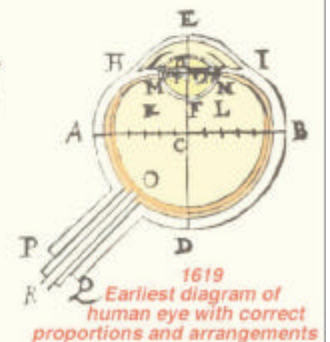
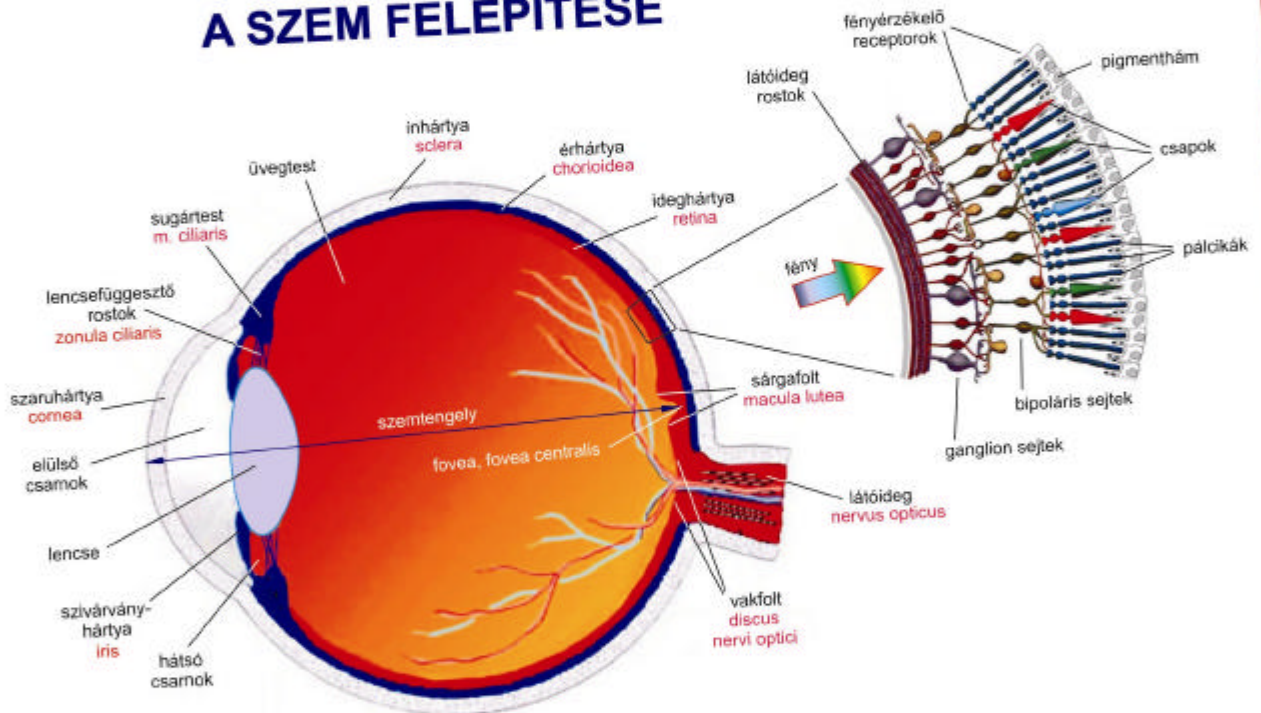


Figure 5. Diagrams showing the formation of the retinal image from Kircher (1645) (left) and Des Cartes (1677) (right) (from Polyak, 1957).

Figure 3. Drawings of the structure of the eye from the 16th and 17th century (from Polyak, 1957).

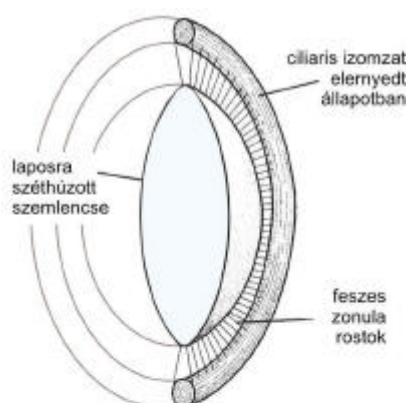
Kapcsolódó részek:
Rontó, Tarján: A biofizika alapjai
Függelék: A2, A3, A4

akkomodációs képesség
accomodation
Akkomodationsbreite

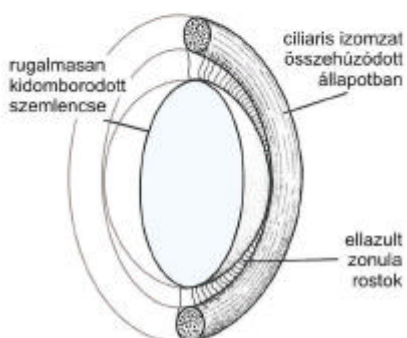
látásélesség
visual acuity
Sehschärfe

vakfolt
optic disc, blind spot
blinder Fleck

sárgafolt, macula lutea
fovea centralis
yellow spot
central fovea
gelber Fleck
fovea centralis



A ciliaris izomzat elernyed állapotban.
A lencse lapos, akkomodálatlan.



A ciliaris izomzat összehúzódott állapotban.
A lencse domború, közelre akkomodált

1. ábra. A szemlencse akkomodációja.

A mérésben az emberi szem néhány fontos és érdekes paraméterét határozzuk meg, hagyományos (vonalzó, mérőszalag) ill. korszerű (ultrahangos távolságmérő) eszközöket alkalmazva.

1. **Akkomodációs képesség.** A legtávolabbi ill. a legközelebbi még éppen élesen látott tárgy távolsága az ún. *távolpont*, ill. a *közelpont*. Ezeket kísérletileg megmérjük, vagy megbecsüljük, majd kiszámoljuk az akkomodációs képesség dioptriában kifejezett értékét.

2. **Látásélesség.** Szemünk legfontosabb tulajdonsága az élesen látás, melyet sokféle fizikai, biológiai tényező befolyásolhat. A sárgafolt az a hely a retinán, melynek közepén a látásélesség a legnagyobb. A mérés során az ún. Landolt gyűrűk segítségével ki-ki megmérheti saját szemének látásélességét, szemüveggel, kontaktlencsével ill. anélkül. A csoport legjobb eredményeiből közelítő számítást végzünk a fovea centralis receptorsűrűségére.

3. **A vakfolt mérete és a sárgafolttól való távolsága.** Mindenkinek van ún. vakfoltja a retinán, ahonnan hiányoznak a receptorsejtek, így az odavetülő képet nem érzékeljük. A mérés során megállapíthatjuk, hol helyezkedik el a vakfolt a sárgafolthoz viszonyítva és mekkora az átmérője.

A bemutató mérés a szem evolúciójának egy lépését demonstrálja. Miért fizikai szükségszerűség a szaruhártya kiemelkedése a szemgolyóból? Erre kapunk választ egy üveglencsében végzett kísérletből, ahol vízzel töltött félgömbök sugártól függő leképezési távolságát vizsgáljuk.

AZ AKKOMODÁCIÓ

Amikor a figyelem valamely tárgyra irányul vagy rögzül, akkor a szem normálisan úgy áll be, hogy a tárgyról érkező fénysugarak a sárgafoltra (*macula lutea*), pontosabban annak központi részére *fovea centralis*-ra essenek. Az itt keletkező kép azonban nem feltétlenül éles.

Amikor a sugártest (*ciliaris izomzat*) ernyed állapotban van (1. ábra), akkor az optikailag normális szem a párhuzamosan beérkező fénysugarakat az ideghártyán (*retina*) gyűjti össze. Ilyenkor csak a nagyon messze lévő tárgyakról keletkezik éles kép a retinán. Mindaddig, amíg az ernyedtség fennáll, a közeli tárgyakról érkező sugarak a retina mögött fókuszálódnak, következésképpen elmosódottan látszanak. A szemlencse görbületének, azaz törőképségének növelésével elérhető, hogy a közeli tárgyakról érkező sugarak is a retinán gyűljenek össze. Mindkét esetben teljesül a leképezés törvénye:

$$D = \frac{n}{t} + \frac{n'}{k},$$

ahol D a szem összes törőképsége dioptriában (1/m), t ill. k a tárgy ill. a kép távolsága (m), n a tárgy közegének törésmutatója (általában levegő, $n = 1$), és n' az üvegtest törésmutatója. Mivel k , n , és n' nem változik, különböző tárgytávolságok éles leképezése különböző dioptriájúra akkomodált szemet igényel.

A fényképezőgép élesre állításánál az üvegből készült lencse görbülete nem módosítható, így a lencse és a film közötti távolságot változtatják, csakhogy, mint ahogy a csontos halak szeme működik.

A lencse görbület növelésének folyamatát akkomodációnak nevezzük. Nyugalomban a gyűrű alakú ciliaris izomzat elernyed állapotban van és a lencsefüggesztő (*zonula*) rostok megfeszülve, ellapult alakban tartják a rugalmas szemlencsét (1. ábra.). Amikor a tekintet közeli tárgyra irányul, a ciliaris izomzat egy kisebb átmérőjű gyűrűt alkotva összehúzódik. A zonula rostok elernyednek, és a lencse saját rugalmasságánál fogva domborúbbá válik. Az akkomodáció aktív izommunkát követel, a ciliaris izomzat valójában a test egyik legjobban igénybevett izma. A lencse görbület növelhetőségének foka természetesen korlátozott. Azt a szemhez legközelebb eső pontot, amelyet akkomodációval még élesre tudunk állítani, a **látás közelpontjának** (t_p) nevezzük. Ekkor a legnagyobb a szem törőképsége:

$$D_p = \frac{n}{t_p} + \frac{n'}{k}.$$

Azt a szemtől legtávolabbra eső pontot, amelyet a teljesen ellazult (akkomodatlan) szem még élesen lát, a **látás távolpontjának** (t_r) nevezzük. Ekkor a legkisebb a szem törőképpessége:

$$D_r = \frac{n}{t_r} + \frac{n'}{k}.$$

Az **akkomodációs képesség**, vagy **szélesség** a legnagyobb és legkisebb törőképpesség különbsége:

$$DD = D_p - D_r = \frac{1}{t_p} - \frac{1}{t_r}.$$

A felnőttkori normális látásélesség tartománya $t_p = 25$ cm-től (a közelpont kb. 45 éves korban rövidül ekkorára) végtelenig terjed. Az ennek megfelelő akkomodációs szélesség:

$$DD = \frac{1}{0,25} - \frac{1}{\infty} = 4 - 0 = 4 \text{ dpt}.$$

Gyermekekben azonban a közelpont normálisan akár 7 cm is lehet, ami 13 dpt akkomodációs képességnek felel meg (2. ábra).

A KÉPALKOTÓ MECHANIZMUS SZOKVÁNYOS HIBÁI

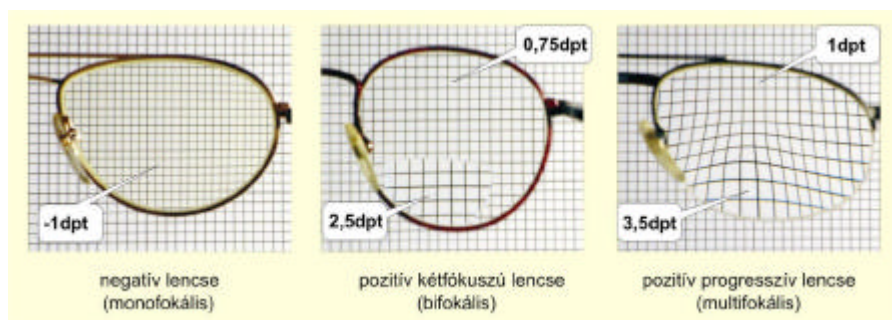
A 4. a. ábra a normális látás viszonyait mutatja be. A szemlencse alsó fele a nyugalmi (lapos), míg a felső fele a maximálisan akkomodált (kidomborodott) állapotot mutatja be. Figyeljük meg a távolpont és a közelpont által határolt éleslátás tartományát!

Rövidlátás (myopia): A rövidlátásban szenvedő személynél a szemgolyó szemtengelye (anteroposterior átmérője) túl hosszú (4. b. ábra), így a végtelen távoli pontból érkező párhuzamos sugarak a retina előtt fókuszálódnak, a retinán pedig éles pont helyett egy életlen folt keletkezik. A páciens közelre lát jól, azaz távolpontja kisebb, mint végtelen. Ez a defektus szóró (konkáv) lencsével korrigálható, és amennyiben a szemlencse akkomodációja normális, a normális látás visszaállítható.

Távollátás (hypermetropia): Egyes egyének szemtengelye rövidebb a normálisnál (4. c. ábra), ezért a közélről beeső sugarak a retina mögött fókuszálódnak, a retinán pedig homályos folt keletkezik. A távollátás gyűjtő (konvex) lencsével korrigálható és normális akkomodáció esetén a normális látás szintén visszaállítható.

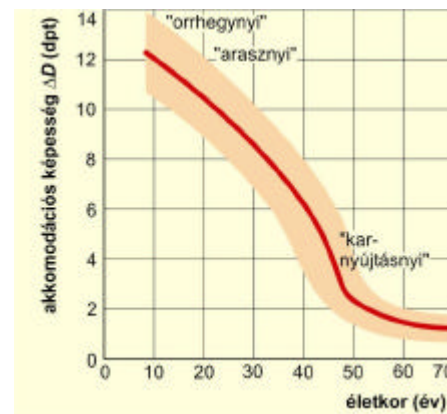
Öregkori távollátás (presbyopia): A közelpont távolsága az életkor előrehaladtával nő. Ezt főleg a lencse merevségének fokozódása okozza, ui. a ciliaris izomzat összehúzódásakor is lapos marad a szemlencse. Öregkorban tehát az akkomodációs képesség lecsökken. (4. d. ábra). Csupán részleges korrekciót eredményez a konvex lencse alkalmazása (olvasó szemüveg), mivel a lecsökkent akkomodációs képesség csak a közeli tárgypontokra nézve lesz kielégítő. Az akkomodációs képesség romlása fiatal korban 10 évenként kb. 2 dpt, ami kb. 40 éves kortól felgyorsul, majd öregkorban lelassulva 1-2 dpt-nál megállapodik (2. ábra).

A két utóbbi rendellenesség kombinációja esetén a páciens már távolra sem lát élesen, ezért ilyenkor ún. bifokális (két különböző fókustávolságú lencse kombinációja), vagy ún. progresszív (fokozatosan változó fókustávolságú) korrekciós lencsét alkalmaznak (3. ábra).



3. ábra. Néhány példa a korrekciós szemüveglencsék képkalkotására.

A t_p ill. a t_r jelölésekben a „p”, ill. az „r” a „proximal”-t azaz közelit ill. „remotal”-t azaz távolit jelenti.



2. ábra. Az akkomodációs képesség életkortól függő változása.

-  rövidlátás (myopia)
-  távollátás (hypermetropia)
-  öregkori távollátás (presbyopia)
-  nearsightedness
-  farsightedness
-  longsightedness
-  Kurzsichtigkeit
-  Weitsichtigkeit, Übersichtigkeit
-  Alterssichtigkeit

A szemüveget valószínűleg a XIII. század végén találhatták fel Itáliában. Egy firenzei kézirat (1299) említi a következőket: „A szemüveget olyan idős emberek számára találták ki, akik szeme világa már meggyengült”.



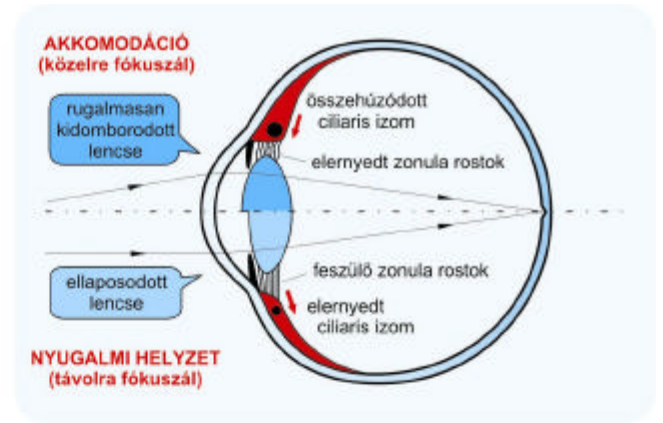
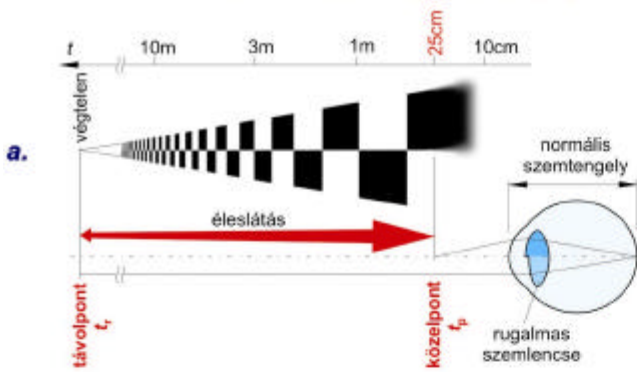
Ezek az addig is használt bikonvex () nagyító-lencséből álltak. Lornyetként azonban már addig is használtak domborúra csiszolt drágaköveket.

Roger Bacon már 1267-ben írt negatív lencsék használatáról, azonban ezek igazán csak az 1500-as években terjedtek el. Érdekes, hogy egészen a XVIII. század végéig illetlenségnek számított a szemüveg nyilvános használata.

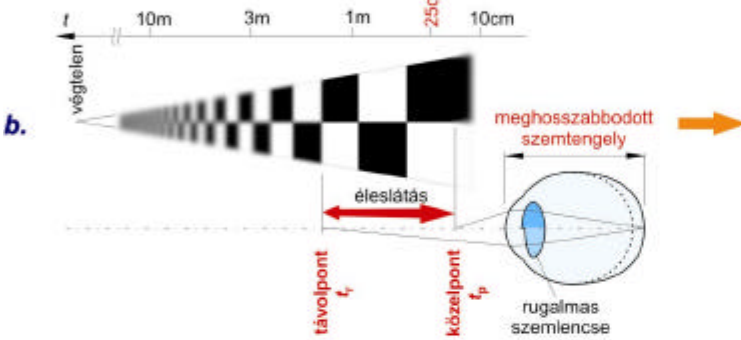
Az addig használt szemüveglencsék szimmetrikusan konvex, ill. konkáv alakúra voltak csiszolva, és csak a tengelyükön átnézve adtak jó képet. 1804-ben William Wollaston szabadalmaztatta a konkáv-konvex, vagyis „fogyó hold” ún. meniszkusz lencsét. Ez már a szemgolyó elfordulásakor is kis torzítású képet adott.

Az első kontaktlencse Adolf Fick német fiziológus tervei alapján 1887-ben készült.

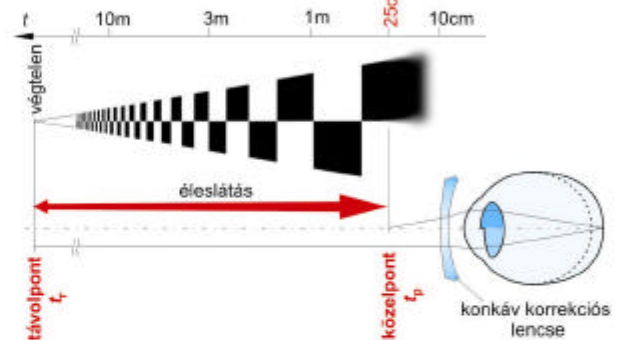
NORMÁLIS LÁTÁS (emmetropia)



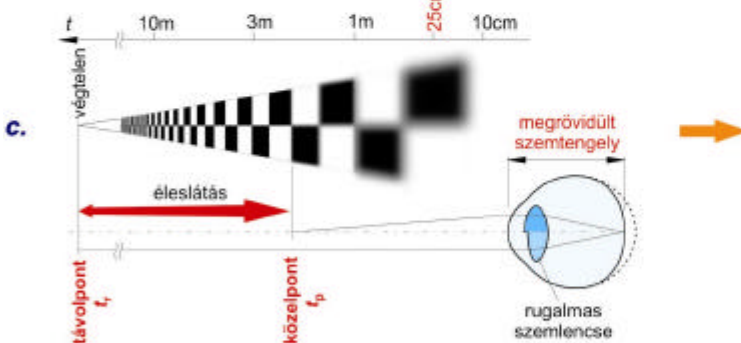
RÖVIDLÁTÁS (myopia)



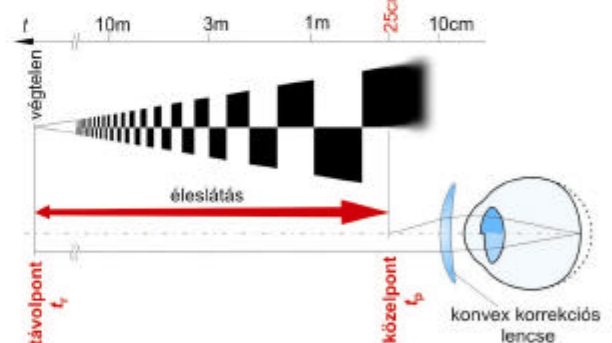
KORRIGÁLT RÖVIDLÁTÁS



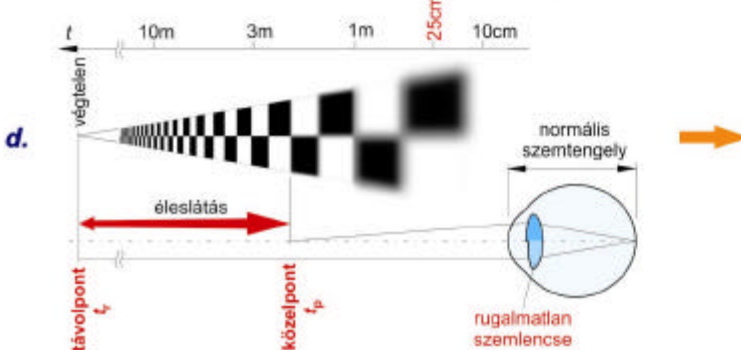
TÁVOLLÁTÁS (hypermetropia)



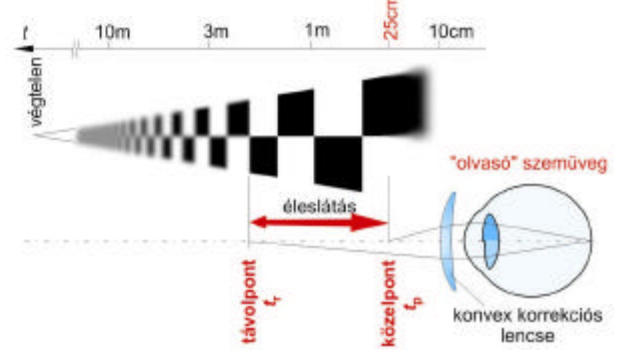
KORRIGÁLT TÁVOLLÁTÁS



ÖREGKORI TÁVOLLÁTÁS (presbyopia)



KORRIGÁLT ÖREGKORI TÁVOLLÁTÁS



4. ábra. Akkomodáció, tipikus szemhibák az éleslátás tartományaival és lehetséges korrekciójuk (torzított méretek!).

A SZEM LÁTÓSZÖGHATÁRA, FELBONTÓKÉPESSÉGE

A szem több törőfelülettel rendelkező, bonyolult optikai rendszer. Az optikai képalkotás szempontjából azonban jól helyettesíthető a sokkal egyszerűbb, ún. „redukált” szemmel.

A redukált szem egyetlen törőfelülettel rendelkező homogén test (5. ábra).

A redukált szem törésmutatója $n = 1,34$, a törőfelület görbületi sugara $r = 5,1$ mm, görbületi középpontja a K csomópont, ami 17 mm-re helyezkedik el a sárgafolttól.

A redukált szem segítségével az 5. ábrán látható módon a képalkotás nagyon leegyszerűsödik. A különböző távolságban lévő tárgyakról ugyanakkora képet kapunk, ha a látószögük megegyezik (lásd különböző méretű nyilak). Látószög alatt a tárgy széleiről a K csomópontban kereszteződő sugarak által bezárt f szöget értjük.

Azt a legkisebb látószöget, amelyenél két különálló A és B pontot éppen meg tudunk különböztetni egymástól, látószöghatárnak (α) nevezzük (6. ábra).

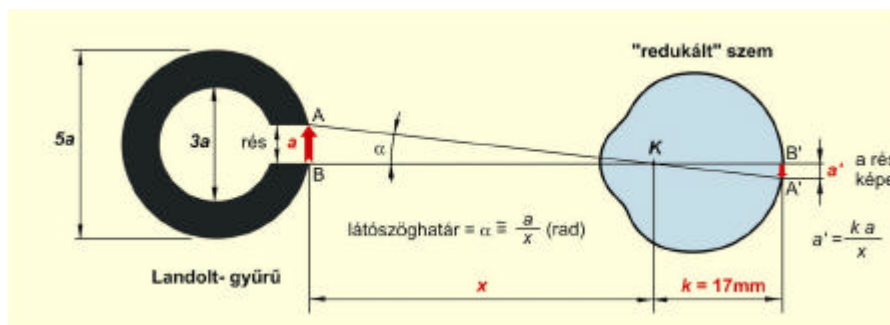
A normális, vagyis látáshibákban nem szenvedő szem esetén ennek értéke kb. 1 szögperc ($1'$). A látószöghatár egyénenként változó érték.

A szem felbontóképessége, vagy látásélessége (visus) a tényleges látószöghatárnak (α) a normális $1'$ -es látószöghatárhoz viszonyított százalékban kifejezett értéke:

$$\text{látásélesség (visus)} = \frac{1(\cdot)}{\alpha(\cdot)} \cdot 100\%$$

Ha tehát valakinek valóban $\alpha = 1'$ a látószöghatára, akkor látásélessége 100%. Ha a látószöghatára $\alpha = 2'$, akkor látásélessége 50%, míg ha az átlagosnál jobban, pl. $\alpha = 0,8'$ látószöghatárral lát, akkor látásélessége 125%. A látásélesség a fovea centralisban a legnagyobb (kb. 100%), tőle távolodva csökken, a vakfolton pedig 0.

A látásélesség például különböző méretű ún. **Landolt-gyűrűkkel** mérhető, ahol az „ a ” méretű rés felbontása szükséges ahhoz, hogy lássuk, milyen irányba mutat a gyűrű nyílása (6. ábra). A tényleges látószöghatár egyenlő a legkisebb, még észlelhető gyűrűnyílás látószögével (α).

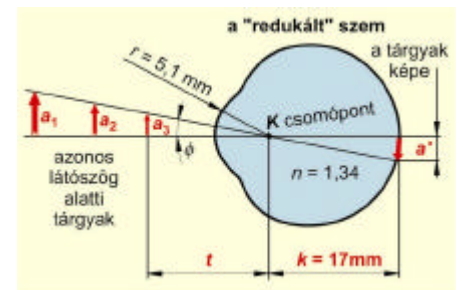


6. ábra. A látásélesség mérése Landolt-gyűrű segítségével és a redukált szem felhasználásával. „ x ” az a távolság amelyenél a rést még éppen észleljük (torzított méretek!).

A látószöghatár a képalkotás geometriájából számítható ki (6. ábra). Mivel α jóval kisebb, mint 5° , ezért szögpercben ($'$) kifejezett értéke:

$$\alpha(\cdot) \equiv \frac{a}{x}(\text{rad}) \cdot \frac{360(\cdot)}{2\pi(\text{rad})} \cdot 60\left(\frac{\cdot}{\cdot}\right)$$

A látásélesség az egyénileg megmért x távolságból és a rés ismert a méretéből az előbbi képletekből számítható ki.



5. ábra. A redukált szem képalkotása.

A mikroszkóp már ismert felbontóképességéből kis látószög esetén házi feladatként levezethető a látószöghatár fényelhajlásból eredő **Qértéke**. (Figyelem: $Q \neq \alpha$!) Itt csak a kiindulást és a végeredményt közöljük.

A mikroszkóp felbontási határa:

$$d = 0,61 \frac{\lambda}{n \cdot \sin w},$$

ahol d a még éppen megkülönböztethető tárgypontok távolsága, λ a fény hullámhossza, n a külső közeg törésmutatója (esetünkben levegőre $n = 1$), w pedig a lencse fénynyílásszöge.

A szem esetén a lencse hasznos átmérőjét a pupilla d mérete határozza meg. A látószöghatár radián egységben:

$$Q = 1,22 \frac{\lambda}{d},$$

ahol d a pupilla átmérője.

A látásélességet az alábbi tényezők befolyásolják:

csapok
cones
Zapfen

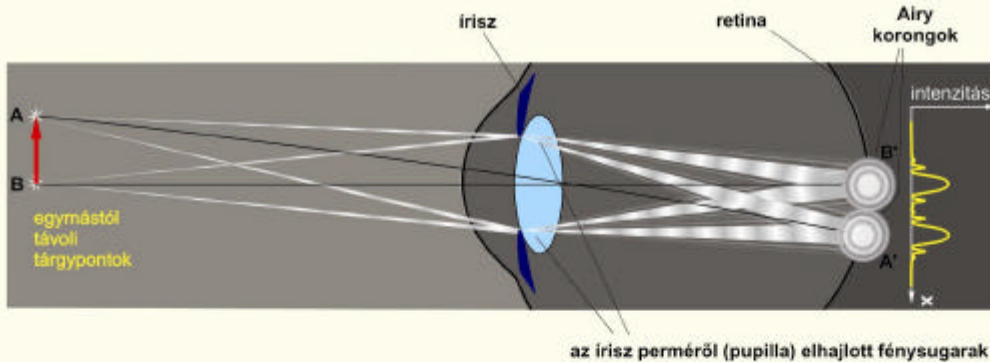
pálcikák
rods
Stäbchen

1. A szemlencse és a szemgolyó alakjának, törőképességének torzulásai, melyek életlen képet eredményeznek a retinán. (szférikus aberráció, kromatikus aberráció, asztigmatizmus, stb.)

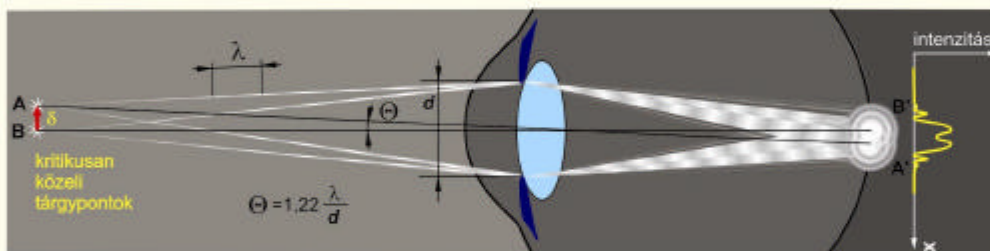
2. A fényelhajlás során fellépő élettenség. Az optikailag hibátlan szemeknek sincs pontszerű képalkotása. A képpontok a fény hullám-természete miatt szóródási körökből ún. Airy korongokból állnak (7. ábra). Minél kisebb a pupilla aktuális átmérője, annál nagyobbak az Airy korongok, és annál rosszabb lesz a retinára vetülő kép élessége is.

Ez látszólag ellentmond a tapasztalatnak, ti, hogy erős fényben élesebben látunk. Ilyenkor azonban a szűk pupilla kizárja a szem törőfelületeinek esetleg tökéletlen külső részeit, valamint a mélységélesség, és a kontraszt is nagyobb lesz.

3. A retina különálló, véges méretű fényérzékelő egységekből, csapokból és pálcikákból áll, amelyek anatómiai sűrűsége meghatározza az elérhető látásélességet (8. ábra).

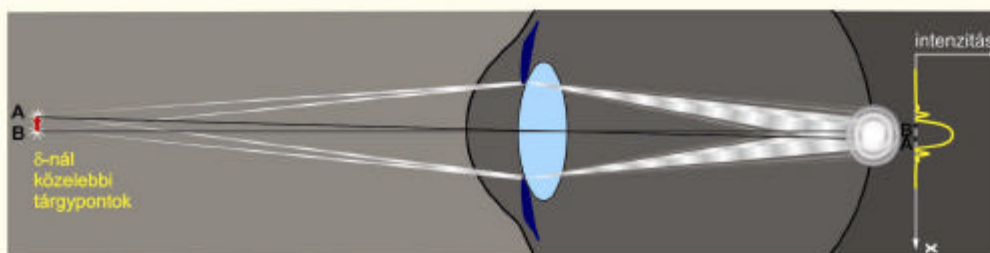


Az egymástól távoli tárgypontok (A, B) esetén az "Airy korongok" még jól elkülönülnek (A', B').



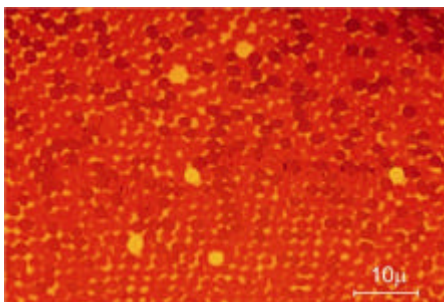
Kritikusan közeli tárgypontok esetén az "Airy korongok" átlapolódnak, még éppen megkülönböztethetők.

δ a felbontási határ, Θ pedig a fényelhajlás következtében fellépő látászoghatár.



δ -nál közelebbi tárgypontok esetén az "Airy korongok" egyetlen képkoronggá olvadnak össze.

A két tárgypont képe hullámoptikai szempontból felbontatlan.

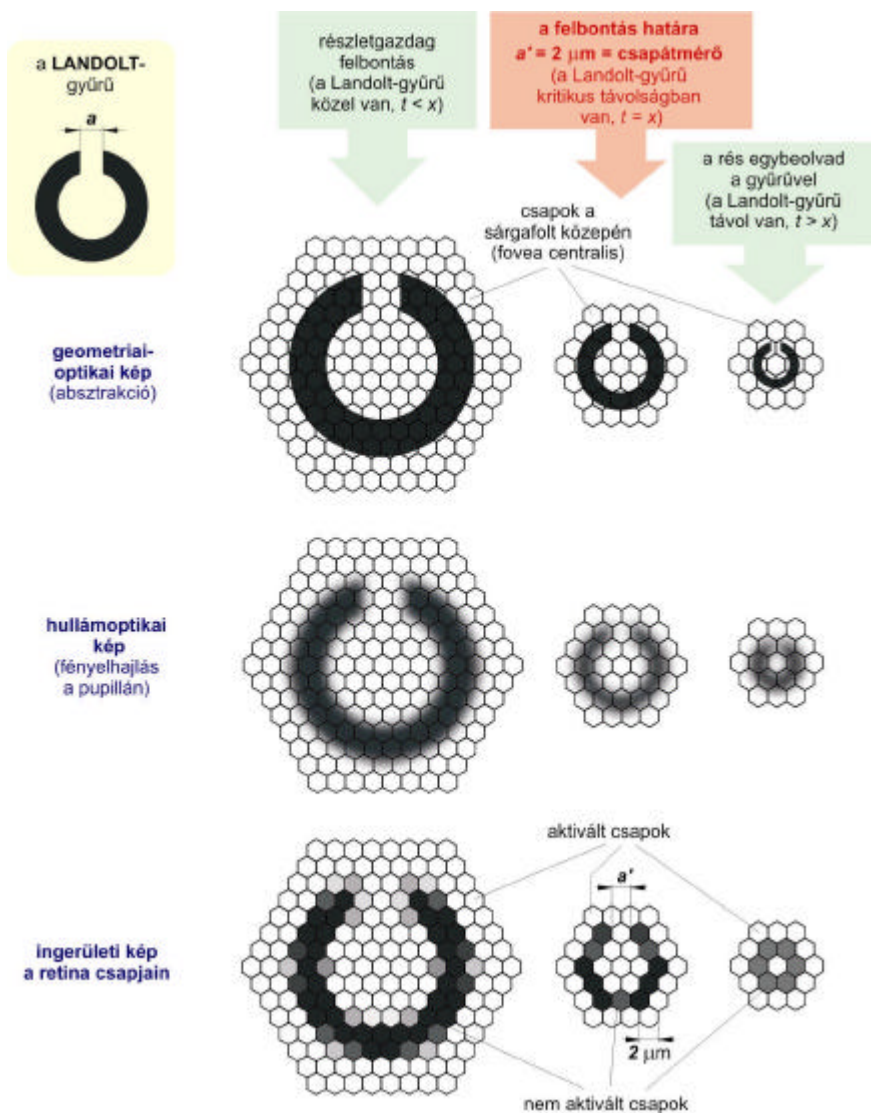


8. ábra. A sárgafolt mikroszkópi képe. Az eltérő színű foltok a különböző hullámhossz-érzékenyséű csapokat mutatják.

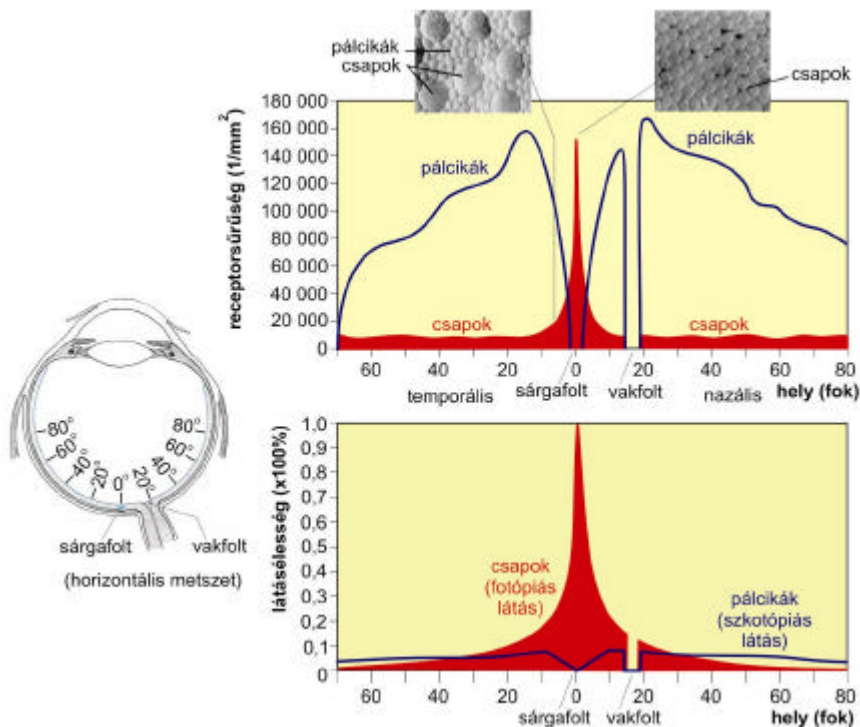
7. ábra. A szem felbontóképessége hullámoptikai szempontból (torzított méretek!).

A retina fovea centralis-beli metszetét mikroszkóp alatt erősen felnagyítva a csap-receptorok méhsejtekhez hasonló elrendezésben, szorosan helyezkednek el (8. ábra).

A 9. ábrán az első ábrásor a három különböző távolságból leképezett Landolt-gyűrű geometriai optikai képét mutatja a fovea centralis receptormezőjén. Ilyen képek optimális körülmények között sem keletkezhetnek, a fényelhajlás ismert homályosító hatása miatt.



9. ábra. A Landolt-gyűrű ingerületi képe a fovea centralis csapjain. A geometriai kép csupán absztrakció. Az ábra hullámoptikai képe 3,5 mm-es pupillaátmérőt modellez.



10. ábra. A receptorok és a látásélesség eloszlása az ideghártyán.

A retinára vetült valóságos, hullámoptikailag korrekt és kissé elkent gyűrűképeket a második ábrásor mutatja.

A retina ingerületi képe (harmadik ábrásor) azt mutatja, hogy a Landolt-gyűrű képe akkor okoz csaponként éppen elkülöníthető aktivációt, amikor a rés képének mérete azonos a csap átmérőjével (középső ábrásor).

A pupilla átmérője a fényviszonyoktól függően 2 mm-től 8 mm-ig változhat. A retinán keletkező kép hullámoptikai elmosódása a pupilla átmérőjétől függ. Minél kisebb a pupilla mérete, annál nagyobb mértékű a fényhullámok elhajlása és a kép elhomályosodása is. A szem evolúciója során a csapok sűrűsége a fovea centralisban úgy alakult ki, hogy a fényelhajlás a legkisebb pupillaátmérőnél se okozzon jelentős elhomályosodást. Itt a csapok átmérője, ill. a szoros illeszkedés miatt egymástól való távolságuk átlagosan $2 \mu\text{m}$. Kiszámítható, hogy a fényelhajlás erős fényben (közel minimális pupillaátmérőnél) alig okoz a csapok méreténél nagyobb életlenséget.

A retinán kétféle fényérzékelő sejt található (10. ábra). A nappali (fotópiás) látásért a csapok, az éjszakai (szkotópiás) látásért a pálcikák felelnek. A csapok a foveában koncentrálnak, itt pálcikák nem találhatók. Ennek megfelelően a látásélesség a fovea centralisban a legnagyobb. A retina perifériális részén a pálcikák nagy sűrűségben helyezkednek el, azonban a pálcikák idegi összekapcsolódása (konvergencia) miatt a látásélesség mégis alacsony értékű.

Amennyiben a látásélességet nem rontják le a szem törőfelületeinek hibái, a látószöghatár méréséből (6. ábra) kiszámítható a retinára leképezett Landolt-gyűrű résképének mérete, a' . Ez a méret feltételezhetően egyetlen csap átmérőjével lesz egyenlő. A redukált szem $k = 17 \text{ mm}$ -es képtávolsága alapján:

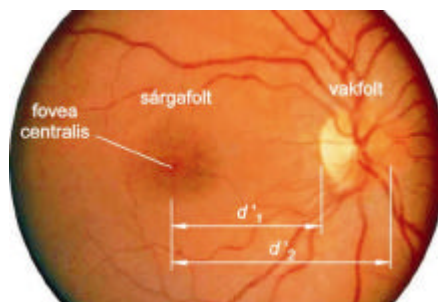
$$a' = \frac{17a}{x} \text{ (mm)},$$

ahol „ a ” a Landolt-gyűrű résmérete, x pedig az a távolság, amelynél a rést még éppen észleljük. A receptorsejt területének reciprokával a receptor-sűrűséget becsülhetjük meg:

$$\text{receptorsűrűség} \approx \frac{1}{(a')^2} \left(\frac{1}{\text{mm}^2} \right).$$

A VAKFOLT ÉS A SÁRGAFOLT

Az információt az agyba továbbító idegrostok a vakfolton haladnak keresztül a retinán. A vakfolt elhelyezkedése a sárgafolthoz képest a 11. ábrán látható.



11. ábra. A sárgafolt és a vakfolt elhelyezkedése a normális retinán.

A vakfolt jelenlétét a normális látás esetén nem érzékeljük, ugyanis a vakfoltra eső hiányzó képrészletet az agy annak környezetével pótolja ki. Azonban egy egyszerű ábra segítségével mégis könnyedén kimutatható jelenléte (M2. ábra, a két jel távolsága $d = 60$ mm).

Bal szemmel a keresztre nézve található egy olyan x távolság, amelynél a piros pont eltűnik. Ekkor a pont képe éppen a vakfoltra esik (12. ábra). A fenti adatokból és a redukált szem képtávolságából, mm-ben számolva:

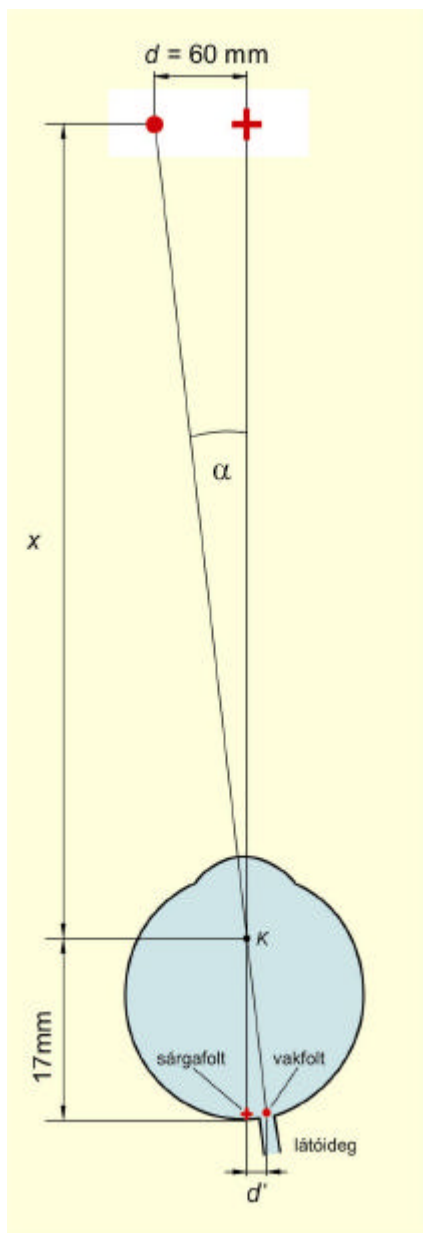
$$\frac{d}{x} = \frac{d'}{17}$$

A piros pont eltűnésekor és előbukkanásakor mért x_1 és x_2 távolságokból a vakfolt bal és jobb szélének d'_1 és d'_2 távolsága a sárgafolttól kiszámítható:

$$d'_1 = 17 \frac{60}{x_1} \text{ (mm)},$$

ill.

$$d'_2 = 17 \frac{60}{x_2} \text{ (mm)}.$$



12. ábra. A vakfolt sárgafolttól való távolságának meghatározása.

A MÉRÉS MENETE

1. Az akkomodációs képesség egyéni meghatározása:

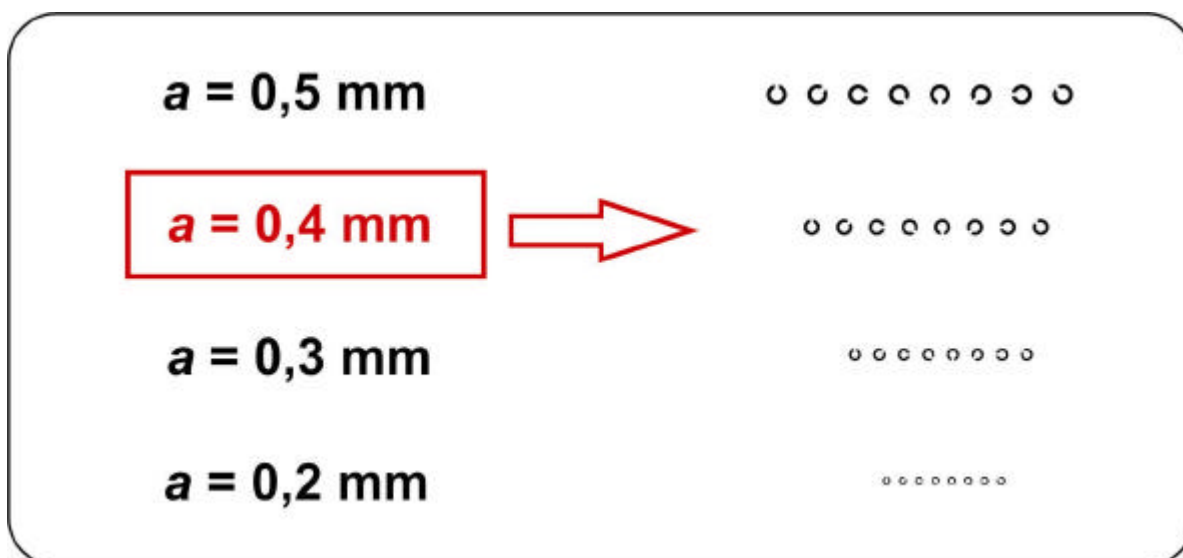
Feladat: Hosszméréssel határozza meg a saját szeme közel- (t_p), ill. távolpontját (t_r)! Számítással határozza meg az akkomodációs képességét (ΔD)!

$$\Delta D = D_p - D_r = \frac{1}{t_p} - \frac{1}{t_r}$$

A mérés a közelpont esetén 30 cm-es műanyag vonalzóval, ill. mérőszalaggal történhet. A távolpont meghatározása mérőszalaggal, vagy nagyobb távolság esetén becslés alapján történik. Aki szemüveget visel, puszta szemmel (bal és jobb) is megmérheti közel-, ill. távolpontját. A terem megvilágításának erőssége legalább 200 lx legyen! Ellenőrzés luxmérővel.

2. A látásélesség egyéni meghatározása:

Feladat: Határozza meg saját látószöghatárát (α , szögpercben) Landolt-ábra segítségével! További számítással határozza meg látásélességét (%)! Számítsa ki a sárgafoltan keletkező réskép méretét (a')! Becsülje meg a fovea centralis receptorsűrűségét ($1/\text{mm}^2$)!



M1. ábra. A Landolt-gyűrűket ábrázoló tábla képe (100%-os méret, azonban a mérésben használt tábla megfelelően nagy felbontásban ábrázolja a gyűrűket).

A méréshez az M1. ábrán látható különböző méretű és irányítottágú Landolt-gyűrűket ábrázoló függőlegesen elhelyezett, jól megvilágított (700 lx) táblát használjuk. Cél szerű a pirossal kiemelt $a = 0,4$ mm-es nyílású gyűrűk sorozatát megfigyelni. A személy először álljon közel az ábrához, hogy jól lássa még a legkisebb méretű sort is, aztán lassan távolodjon mindaddig, amíg a $0,4$ mm-es gyűrűk rései éppen eltűnnek, ill. ellenpróbában, éppen előjönnek. Ekkor mérjük meg a szem és az ábra távolságát (x) mérőszalaggal, vagy ultrahangos távolságmérővel. Aki szemüveget visel, puszta szemmel (bal és jobb) is megmérheti az x távolságot.

$$\alpha (^{\circ}) \cong \frac{a}{x} (\text{rad}) \cdot \frac{360(^{\circ})}{2\pi(\text{rad})} \cdot 60 \left(\frac{'}{^{\circ}} \right),$$
$$\text{látásélesség (visus)} = \frac{1(^{\circ})}{\alpha (^{\circ})} \cdot 100 \% .$$

Az ultrahangos távolságmérőben lézeres irányzék segíti a célzást. **A lézerfény szembe világítás esetén komoly sérüléseket okozhat a retinán!** Ezért kellő óvatossággal kezeljék a műszert!

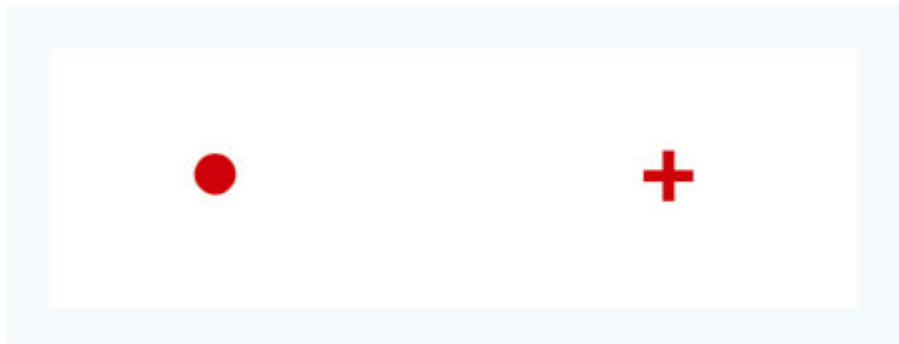
A fovea centralis receptorsűrűségét a csoport legélesebben látó személyének látószöghatárából számíthatják ki. Amennyiben $\alpha \cong 1'$ értéket mértünk, biztosak lehetünk abban, hogy az éleslátást a lencsehibák nem korlátozzák jelentős mértékben.

$$a' = \frac{17a}{x} \text{ (mm)},$$

$$\text{receptorsűrűség} \cong \frac{1}{(a')^2} \left(\frac{1}{\text{mm}^2} \right).$$

3. A vakfolt méretének és a sárgafolttól való távolságának egyéni meghatározása.

Feladat: Határozza meg saját szeme vakfoltjának méretét és távolságát a sárgafolttól!



M2. ábra. A bal szem vakfoltjának kimutatására szolgáló ábra. A két jel távolsága $d = 60 \text{ mm}$.

Letakart jobb szemnél figyeljük **bal szemmel** a piros keresztet (M2. ábra) és fejünket a lapra merőleges irányban addig közelítsük, amíg az ábra piros pontja el nem tűnik, majd tovább, amíg újra elő nem bukkan. A szem és a lap távolságát mérjük meg a 30 cm-es vonalzóval mindkét esetben (x_1 és x_2 mm-ben). A kapott d'_1 és d'_2 távolságokból a vakfolt horizontális átmérője d , ill. a vakfolt középpontjának a fovea centralistól való távolsága kiszámítható.

$$d'_1 = 17 \frac{60}{x_1} \text{ (mm)}, \quad d'_2 = 17 \frac{60}{x_2} \text{ (mm)}, \quad d = d'_2 - d'_1.$$