

# A szem optikája

## I. Célkitűzés:

Ismertetjük a geometriai optika alapjait, a lencsék képalkotási tulajdonságait. Meghatározzuk szemüveglencsék törőerősségét.

Az orvosi gyakorlatban optikai lencsékkel a mikroszkópos vizsgálatok alkalmával, illetve a szem fénytörési hibáinak korrekciója során találkozunk. A gyakorlat második részében a szem optikai tulajdonságait vizsgáljuk.

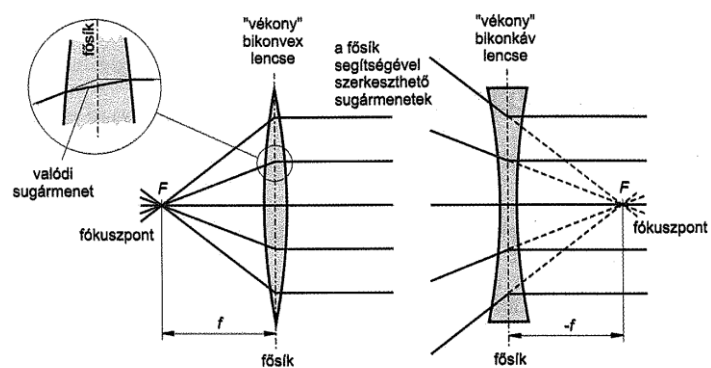
## II. Elméleti összefoglalás:

### A. Optikai lencsék

Az optikai lencsék szerepének megértéséhez elegendő a fénynek a geometriai optikában használatos modellezése. Ebben az esetben feltételezzük, hogy a tárgypontról minden irányba fénysugarak indulnak ki, melyek egy adott közegben egyenes vonal mentén terjednek, közegek határán pedig törést szenvedhetnek. Az ún. vékony lencsék esetén a valódi sugármenet jól helyettesíthető a lencse közepén elhelyezkedő fősíkon történő egyetlen töréssel, ami a fényút szerkesztését könnyebbé teszi.

Alapvetően kétfajta lencsét különböztetünk meg: gyűjtő- és szórólencsét. Az elnevezés azon alapul, hogy a lencsére párhuzamosan érkező fénysugarak a lencse után hogyan haladnak tovább.

A gyűjtőlencsére eső, az optikai tengellyel párhuzamos sugarak az optikai tengely egy pontjába gyűlnek össze, ezt nevezük a lencse gyűjtő- vagy fókuszpontjának (F). Szimmetriaokokból két fókuszpont van a lencse két oldalán, a lencsétől azonos  $f$  távolságra (fókusz-távolság).



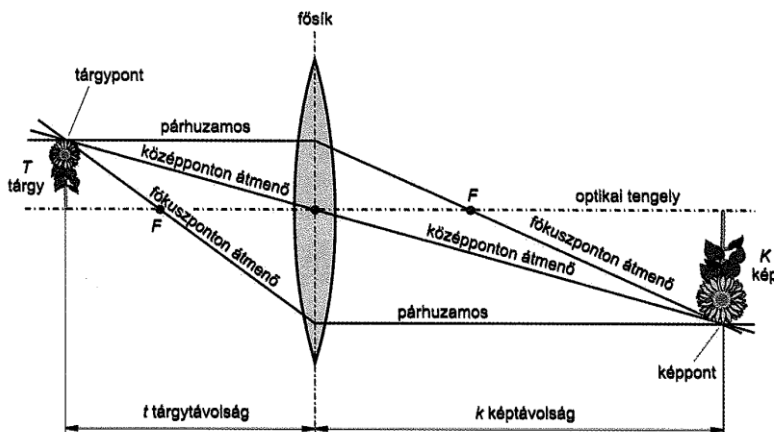
Szórólencsék esetén a párhuzamosan érkező fénysugarak nem találkoznak, hanem úgy szóródnak szét, mintha egy pontból indultak volna ki. Szórólencse esetén ezt a pontot nevezük a lencse fókuszpontjának, a fókuszpont lencsétől mért távolsága pedig a szórólencse fókusz-távolsága. Megegyezés szerint a gyűjtőlencsék fókusz-távolsága pozitív, a szórólencsék fókusz-távolsága negatív értékű.

Szemüvegoptikában a lencsét a méterekben kifejezett fókusz-távolság reciprok értékével, a törőerősséggel ( $D = \frac{1}{f}$ ) szokás jellemezni, melynek mértékegysége a dioptria ( $1 \text{ dpt} = 1 \text{ m}^{-1}$ ).

A törőerősség illetve a fókusz-távolság a lencse geometriai paramétereitől függ. Minél domborúbb a lencse, annál kisebb a fókusz-távolság, illetve nagyobb a törőerősség. Ez utóbbi teszi érthetővé szemünknek azt a képességét, hogy különböző távolságokban levő tárgyakat egyaránt élesen le tud képezni (akkomodáció). Ilyenkor ugyanis a ciliáris izom feszességi állapotától függően változik a szemlencse görbülete, ezáltal fókusz-távolsága.

## B. Képpalkotás

Egy világító vagy megvilágított tárgy pontot akkor látunk, ha a róla szóródó fény szemünkbe jut. Optikai leképezésnél a tárgy pontból szóródó fény optikai elemeken (pl. lencsén) halad át, mely a terjedési irányt megváltoztatja. A képpont az a pont, ahol a tárgy pontból szórt sugarak újra találkoznak.



A lencse fókusztávolsága ( $f$ ), a tárgy távolság ( $t$ ) és a képtávolság ( $k$ ) között az alábbi összefüggés (lencsetörvény) áll fenn:

$$D = \frac{1}{f} = \frac{1}{t} + \frac{1}{k}.$$

Ha a lencse két oldalán két különböző közeg van  $n_t$  törésmutatóval a tárgy oldalon és  $n_k$  törésmutatóval a másik oldalon, akkor a fenti képlet helyett az alábbi használható:

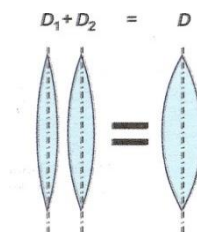
$$D = \frac{1}{f} = \frac{n_t}{t} + \frac{n_k}{k}.$$

A lencse lineáris nagyítását a kép ( $K$ ) és a tárgy ( $T$ ) egydimenziós kiterjedésének hányadosa adja, ami a lencsetörvény segítségével a következő alakokban is kifejezhető:

$$N = \frac{K}{T} = \frac{k}{t} = \frac{k-f}{f} = \frac{f}{t-f}.$$

Két vékony lencse egymáshoz (fókusztávolságukhoz képest) közel elhelyezve egyetlen lencsével helyettesíthető, melynek törőerősége a lencsék előjeles törőerőségeinek összege:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}, \quad D = D_1 + D_2.$$



## C. A szem akkomodációja

A lencse görbületének változtatásával elérhető a szem eredő törőerősége szabályozása, vagyis különböző tárgy távolságok esetén is éles kép keletkezhet a fix távolságban elhelyezkedő retinán. Ezt a folyamatot akkomodációnak nevezzük. Nyugalomban a gyűrű alakú ciliaris izomzat elernyed állapotban van és a lencsefüggesztő (zonula) rostok megfeszülve, ellapult alakban tartják a rugalmas szemlencsét. 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. 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 törőképessége. 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 törőképessége. Az akkomodációs képesség, vagy szélesség a legnagyobb és legkisebb törőképesség különbsége:

$$\Delta D = D_p - D_r = \frac{1}{t_p} + \frac{n}{k} - \left( \frac{1}{t_r} + \frac{n}{k} \right) = \frac{1}{t_p} - \frac{1}{t_r}$$

ahol  $n$  a szem törésmutatója, és a levegő törésmutatóját egynek vettük.

#### D. A látásélesség meghatározása

A tárgyak felismerése szempontjából legfontosabb a *központi alaklátás*, amely tulajdonképpen a fovea centralisban keletkezett kép feldolgozását jelenti. A megfigyelt tárgy szélső pontjairól, a szem optikai csomópontján át húzott képzeletbeli egyenesek által közrefogott szög a *látószög*. A látószög nagyságát a tárgy nagysága és annak távolsága befolyásolja. Közéltőleg:

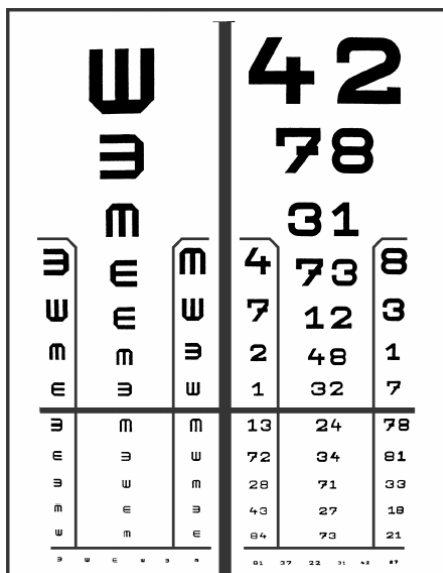
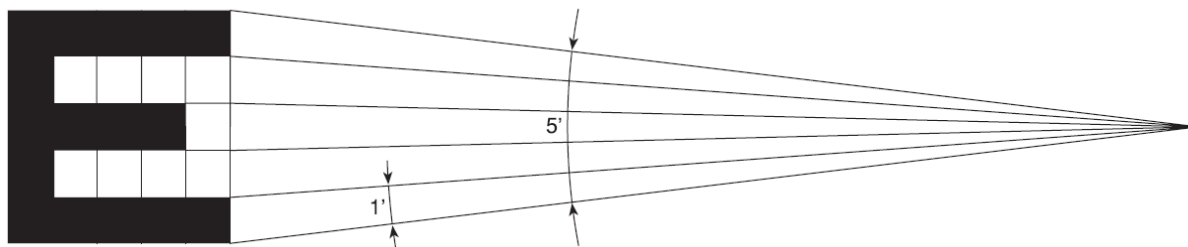
$$\text{látószög} = \frac{\text{tárgy mérete}}{\text{tárgy távolsága}} \text{ [rad]} = \frac{\text{tárgy mérete}}{\text{tárgy távolsága}} \cdot \frac{360 \cdot 60'}{2\pi} \text{ [szögperc]}$$

Azt a legkisebb látószöget, amelynél két különálló  $A$  és  $B$  pontot éppen meg tudunk különböztetni egymástól, látószöghatárnak ( $\alpha$ ) nevezzük. A normális, vagyis látáshibákban nem szenvedő szem esetén ennek értéke kb. 1 szögperc (1'). A látószöghatár egyénekenként változó érték.

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

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

Ha tehát valakinek valóban  $\alpha = 1'$  a látószöghatára, akkor látásélessége 100%. Ha a látószögha-



tára  $\alpha = 2'$ , 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 mérésének gyakorlati kivitelezése *látástáblák* segítségével történik. A táblán felülről lefelé fokozatosan kisebbedő számok, betűk vagy jelek helyezkednek el, mégpedig olyan nagyságban, hogy meghatározott távolságból nézve, meghatározott látószögnek feleljenek meg. A jeleket úgy készítik, hogy elvileg  $5 \times 5$ -ös kis kockára beosztott területen helyezik el őket. Az egész jel a látószög ötszöröse.

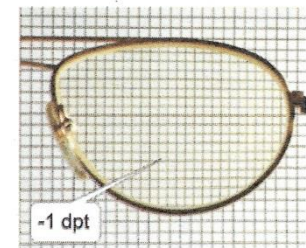
A számokat és betűket nehéz minden részletükben azonos látószöggel szerkeszteni. Ezért alkottak jeleket (például az ún. Ammon-jele). Ezek valóban azonos felismerési értékűek (izognosztikus), és azonos látószögűnek készíthetők (izogonikus). Magyarországon a vizsgált személy 5 m-re ül az olvasótáblától. Nálunk a Kettesy-féle decimális látásélesség-vizsgáló tábla a szabvány. A tábla jobb oldalán számok, a bal oldalán pedig Ammon-jelek találhatóak. A *Kettesy-féle visustábla* legfelső száma vagy jele 10% visusértéknek (10' látószög) felel meg. Az alsó vonal felett elhelyezkedő számok 100% visusértéknek felelnek meg. Az alsó vonal alatti jelek felismerése csak bizonyos foglalkozásokat (pl. berepülőpilóta) űzőktől kívánható meg.

### E. Látáskorrekció szemüveggel

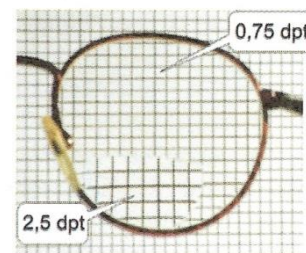
Normális látás (emmetropia) esetén a szem akkomodációja révén a kb. 25 cm közelpont és a végtelen között éleslátás lehetséges. Ehhez képest két alapvető leképezési hibát különböztetünk meg:

**Rövidlátás (myopia):** A rövidlátásban szenvedő személynél a szemgolyó szemtengelye (anteroposterior átmérője) túl hosszú, 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- (negatív) lencsével korrigálható.

**Távollátás (hypermetropia):** Egyes egyének szemtengelye rövidebb a normálisnál, ezért a közletről beeső sugarak a retina mögött fókuszálódnak, a retinán pedig homályos folt keletkezik. A távollátás gyűjtő- (pozitív) lencsével korrigálható.



negatív lencse  
(monofokális)



pozitív kétfókuszú lencse  
(bifokális)

## III. Mérési feladatok

### A. Lencse fókusz távolságának mérése

1. Tanulmányozza a kiadott lencsét. Állapítsa meg, hogy szóró- vagy gyűjtőlencse van-e a szemüvegben.
2. A projektor közel párhuzamos nyalábját fókuszálja le a terem falára. A lencse-kép távolságból határozza meg a lencsék fókusz távolságát és törőerősségét!

Megjegyzés: Szórólencsével nem tud valós (ernyőn felfogható) képet előállítani. A szórólencse fókusz távolságának meghatározásához két lencse kombinációját kell használni.

### B. A szem képalkotása, akkomodációs képesség egyéni meghatározása

1. Hosszméréssel határozza meg a saját szeme közel ( $t_p$ ) illetve távolpontját ( $t_r$ ), mely adatokból az alábbi képlet segítségével határozza meg akkomodációs képességét!

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

A mérés közelpont esetén mérőszalaggal, a távolpont meghatározása mérőszalaggal vagy becsléssel történhet. Aki szemüveget visel, az akár szemüveggel, akár puszta szemmel elvégezheti a mérést.

2. Egy átlagos szem törőerőssége kb. 60 dpt. A tőle 10 m-re elhelyezkedő, 1 m méretű tárgyról a retinán mekkora kép keletkezik?

*C. A Kettesy-féle visustábla vizsgálata*

A látásélesség vizsgálatához álljon a táblától 5 méterre, és határozza meg, hogy melyik a legkisebb jel, amit még lát. A jelen végzett méréssel állapítsa meg a vonalszélességet, és a hozzá tartozó látószöveget, illetve látásélességét.