

OPTIKUS
MESTERVIZSGÁRA FELKÉSZÍTŐ
OKTATÁSI JEGYZET

BUDAPEST, 2021

SZERKESZTETTE
STOCKINGER-BAKONYI GYÖRGY

LEKTORÁLTA
VÁRY PÉTER

Kiadja:
Magyar Kereskedelmi és Iparkamara

A jegyzet az Innovációs és Technológiai Minisztérium, illetve a Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Hivatal támogatásával a Nemzeti Foglalkoztatási Alap képzési alaprésze terhére nyújtott forrás felhasználásával jött létre.

Tartalomjegyzék

1. Optikai alapismeretek.....	4
1.1. Az optika alapelvei.....	4
1.2. A geometriai optika.....	5
1.2.1. A fényvisszaverődés, a fénytörés, és a teljes visszaverődés jelensége.....	7
1.2.2. Síkfelületű optikai testek hatása a fény terjedésére.....	8
1.2.3. Gömbfelületű tükrök jellemzői és képalkotása.....	10
1.2.4. Gömbfelületű lencsék jellemzői és képalkotása.....	13
1.2.5. Vékonylencsék optikai hatása.....	14
1.2.6. Vastaglencsék optikai hatása.....	16
1.2.7. A lencserendszerek optikai jellemzői.....	18
1.2.8. Rekeszek működése.....	20
1.2.9. Leképzési hibák és hatásuk a képalkotásra.....	23
1.3. A fizikai optika.....	27
1.3.1. Fényinterferencia jelensége.....	28
1.3.2. A fényelhajlás jelensége.....	29
1.3.3. A fény polarizációja.....	30
1.4. Fotometria.....	31
1.5. Minta feladatok.....	32
2. Szemészeti alapismeretek és fiziológiai optika.....	34
2.1. Szemészeti alapismeretek.....	34
2.1.1. Az emberi szem egyes részeinek felépítése és működése.....	34
2.1.2. A látás fiziológiája.....	43
2.1.3. A legfontosabb szembetegségek.....	44
2.2. Fiziológiai vagy szemészeti optika.....	50
2.2.1. Az emberi szem optikai jellemzői.....	50
2.2.2. A szem alkalmazkodóképessége és konvergenciája.....	54
2.2.3. Az emberi szem felbontóképessége, és a látóélesség fogalma.....	57
2.2.4. A binokuláris látás.....	59
2.2.5. A pupilla működése optikai szempontból.....	61
2.2.6. Az emberi szem alkalmazkodása a fényviszonyokhoz.....	62
2.2.7. Az emberi szem helyes és helytelen fénytörése.....	63
2.2.8. A korrekciós eszközök optikai hatása.....	70
3. Optikai cikkek anyag- és áruismerete.....	71
3.1. Szemüveglencsék anyag- és áruismerete.....	71
3.1.1. Szemüveglencsék anyagjellemzői.....	72
3.1.2. Szemüveglencsék gyártása.....	75
3.1.3. Felület- és anyagkezelések.....	83
3.1.4. Szűrők - színezések.....	88
3.1.5. A szemüvegvény adatai és az ezzel kapcsolatos mérések és jelölések.....	92
3.2. Szemüvegkeretek anyag- és áruismerete.....	98
3.2.1. A szemüvegkeretek alapanyagai és azok jellemzői.....	98
3.2.2. A szemüvegkeretek jellemzői és gyártástechnológiájuk.....	100

3.2.3. A szemüvegkeretek kiválasztásához szükséges optikai szempontok.....	103
3.2.4. Szemüvegkeretek javítása.....	104
3.3. Távcövek, látásjavító segédeszközök és finommechanikai cikkek anyag- és áruismerete	104
3.3.1. Távcövek.....	104
3.3.2. Látásjavító segédeszközök.....	106
3.3.3 Finommechanikai cikkek anyag- és áruismerete.....	108
4. Kontaktlencse és kontaktlencse ápolószerek anyag és áruismerete.....	110
4.1. A kontaktlencse történeti áttekintése.....	110
4.2. A kontaktlencsék osztályozása.....	112
4.3. A kontaktlencsék alapanyagai.....	113
4.4. A kontaktlencsék típusai.....	116
4.5. A kontaktlencsék élettartama és viselési szabályai.....	117
4.6. A kontaktlencsék gyártástechnológiája.....	118
4.7. A kontaktlencsék illesztésével és viselésével kapcsolatos információk.....	121

1. Optikai alapismeretek

A fényjelenségek és a látás folyamata nagyon régóta foglalkoztatja a tudósokat, amely önálló tudományterületté vált az idők során. Az optika a fizikának az az ága, mely az elektromágneses hullámok látható-, és ahhoz közeli – az UV és az infravörös – tartományaival foglalkozik. Az Optikus szakmában három fő részterületre bontjuk: a geometriai-, a fizikai- és a fiziológiai optikára.

A geometriai optika legfontosabb területe a látható fény, és a fényjelenségek geometriai módszerekkel történő leírása. A legtöbb esetben a geometriai optika leegyszerűsíti a fényjelenségeket, inkább csak leírja azokat, és nem ad kellő magyarázatot a jelenségek valódi hátterére. Azonban a mindennapi élet számára gyorsan és könnyen alkalmazható módszereket ad, melyek kielégítő pontossággal használhatóak egyszerű formában.

Ezzel szemben a fizikai optika a fény természetével és a jelenségek tényleges magyarázatával foglalkozik. A fényt elektromágneses hullámként írja le, figyelembe véve annak részecske természetét is. Célszerűbb lehetne, ha először a fizikai optika kerülne bemutatásra, azonban ez túlságosan bonyolulttá tenné az optikai eszközök, és az emberi szem optikai viselkedésének megértését.

Az Optikus szakma szempontjából lényeges az optika harmadik területe a fiziológiai optika, mely az emberi szem optikai jellemzőivel, képalkotásával, a szem és az emberi látás vizsgálati módszereivel és a látási hibák korrigálási lehetőségeivel foglalkozik. Döntően a geometriai optika módszereivel mutatja be a látás optikai hátterét. A fiziológiai, vagy más néven szemészeti optika megtárgyalására a Szemészeti alapismeretek és fiziológiai optika című fejezetben kerül majd sor.

1.1. Az optika alapelvei

Egy tudományterület alapelvei azokat a téziseket foglalják magukban, melyek segítségével a későbbiekben a jelenségeket magyarázza és értelmezi az adott tudományterület. Így mind a geometriai optikának, mind pedig a fizikai optikának vannak alapelvei.

A geometriai optika legfontosabb alapelve a Fermat-elv. Ennek megértéséhez először definiálni kell az ún. optikai úthossz fogalmát. Az optikai úthossz megmutatja, hogy egy adott közegben megtett fényút mekkora vákuumbeli útnak felel meg, amit matematikailag úgy kaphatunk meg, ha az adott közegben megtett út hosszúságát megszorozzuk a közeg abszolút törésmutatójával. A Fermat-elv értelmében ***a fény mindig a legrövidebb optikai úthosszon halad.*** Gyakorlati megközelítésben ez annyit jelent, hogy a fénysugár két pont között mindig azt az utat követi, melynek megtételéhez a legrövidebb időre van szükség. Ennek egyik következménye, hogy a fény homogén közegben egyenes vonalban terjed. Ez a geometriai optika alaptörvénye, mellyel a legalapvetőbb geometriai optikai jelenségek (például a fényvisszaverődés, a fénytörés) bizonyítható.

A fizikai optikában a fény terjedésével kapcsolatos jelenségek a Huygens-elv segítségével magyarázhatóak. A Huygens-elv a fény hullámtermészetéből indul ki, és a valóságnak megfelelő magyarázatokat ad a legtöbb fényjelenségekre. A Huygens-elv segítségével pontosabban bizonyítható a legtöbb fényjelenség, amit a geometriai optika mutat be, azonban még ez sem ad magyarázatot minden optikai jelenségre. Például a fényelhajlás jelenségénél

derült ki a Huygens-elv hiányossága, amely nem vesz tudomást az elemi hullámok interferenciájáról. A fényelhajlás jelenségének felfedezése után Fresnel módosította az elven, és ennek megfelelően a fényjelenségek teljes körét leíró tézist Huygens-Fresnel-elvnek nevezzük. A Huygens-Fresnel-elv kimondja: **I. a hullámfelület minden egyes pontja másodlagos ún. elemi hullámforrásként viselkedik, II. a kialakuló új hullámfelületet az egymással koherens elemi hullámok interferenciája hozza létre.**

Az optika harmadik alapelve, mely a tudomány jelenlegi fényvel kapcsolatos álláspontját adja, és a fény természetét írja le, De Broglie és Schrödinger nevéhez fűződik. Ők oldották fel azt az ellentétet, mely végig kísérte az optika történetét, és ami miatt régebben mindig kétféle, egymásnak részben ellentmondó magyarázat született a fényjelenségekre. Az általuk megfogalmazottak alapján **a fény kettős természetű, egyszerre viselkedik részecskeként és hullámként.**

A fény részecske jellegének legfontosabb bizonyítéka, hogy van elemi részecskéje, melyet fotonnak nevezünk. A foton létezését leginkább a fény keletkezésekor és elnyelődésekor érthetjük meg. Például amikor a nap süti az aszfaltot, az aszfalt jelentősen felmelegszik. Ilyenkor a napfény fotonjai beleütköznek az út atomjaiba, azok elnyelik a foton energiáját, és hőenergiává alakul át a foton energiája. Ilyen típusú hőkeletkezés csak részecskék ütközésekor valósulhat meg, így a jelenség a fény részecske jellegének egyik bizonyítéka.

A hullámtermészet leírásához először definiálni kell a hullám fogalmát. **Hullámnak nevezük azt a jelenséget, amikor térben és időben energia terjed.** Mivel a fény térben és időben is terjed, illetve szállít energiát, vagyis a fény a definíció értelmében hullámként viselkedik. A fény hullámtermészetének legfontosabb bizonyítékai a fényinterferencia, a fényelhajlás, és a polarizáció. De emellett a valóságban az olyan hétköznapi jelenségek is, mint a fényvisszaverődés, a fénytörés, vagy akár a lencsék képképzése is a fény hullámtermészetéből fakadnak.

1.2. A geometriai optika

A fényjelenségek geometriai módszerekkel történő leírása és magyarázata előtt néhány dolgot tisztázni kell. Minden esetben abból indulunk ki, hogy a fény az elektromágneses hullámoknak az a csoportja, mely az emberi szem számára látható, érzékelhető. Fénynek, vagy másként fogalmazva látható fénynek nevezzük az elektromágneses hullámoknak a 380 nm-től 780 nm-ig terjedő hullámhossz tartományát.

A hullámok mindig valamilyen közegben terjednek. Az elektromágneses hullámok az ún. elektromágneses térben terjednek, és az egyes terjedési jellemzőket az adott közeg elektromos és mágneses jellemzői határozzák meg. Azonban a geometria optikában nem foglalkozunk a közegek elektromágneses jellemzőivel, csak az optikai viselkedésével, illetve a fényre gyakorolt hatásával.

A geometriai optikában különféle közegfajtákat definiálunk. **Homogénnek** nevezünk egy közeget, amelyben a fény minden irányban azonos sebességgel terjed. Számunkra ez a legoptimálisabb, mivel az adott közeg egyetlen jellemzővel, a fény abban a közegben lévő terjedési sebességével leírható. A továbbiakban a geometriai optikában csak homogén közegekkel foglalkozunk. **Inhomogénnek** nevezzük az olyan közegeket, melyben a fény terjedési sebessége nem állandó. Ilyen például a Föld légköre. A légkör különböző sűrűségű

levegőrétegekből áll, melyek optikailag eltérően viselkednek. Az eltérő sűrűségű, és ezáltal optikailag is eltérően viselkedő rétegek, külön-külön, mint homogén közegek viselkednek, azonban az egyes rétegek határfelületén fénytörés és fényvisszaverődés történik. Ez okozza például nyáron az utak látszólagos vizes csillogását, vagy a délibábot, illetve az égbolt kék színét is, mivel az eltérő sűrűségű rétegeken az ibolya és a kék fény jobban szóródik, mint a többi színű fény. A harmadik közegfajta az ún. **anizotrop** közeg, melyben a fény terjedési sebessége egy adott irányban állandó, azonban a különböző irányokban eltérő nagyságú. Ilyen jellegzetességgel rendelkeznek egyes természetes és mesterséges kristályok. Az anizotrop anyagoknak fontos szerepe van a természetes polarizálásban.

A geometriai optikában leggyakrabban alkalmazott homogén közegek optikailag egyetlen adattal, a bennük haladó fény sebességével jellemezhetjük. A fény legnagyobb sebességgel vákuumban terjed, melynek pontos értéke $c=300\ 000\ \text{km/s}$. C -vel csak a fény vákuumban történő terjedési sebességét jelöljük, míg az összes többi közegben lévő terjedési sebességet v -vel jelöljük. Optikailag minél sűrűbb egy közeg, annál kisebb benne a fény terjedési sebessége.

Mivel minden közeget elegendő a terjedési sebességgel jellemezni optikailag, így a közegek egymáshoz képesti optikai viszonyát is a terjedési sebességek aránya határozza meg. A közegek egymáshoz képesti optikai viszonyát **törésmutatónak** nevezzük, melynek jele az n , és értékét a két terjedési sebesség hányadosa adja meg. A törésmutatónak két típusa van: az abszolút és a relatív. Az **abszolút törésmutató** mindig egy adott anyagnak a vákuumra vonatkoztatott törésmutatója, és megmutatja, hogy a vákuumban hányszor gyorsabban terjed a fény, mint az adott közegben. Az abszolút törésmutatót egy indexszel jelöljük, mely vagy az adott közeg anyagát, vagy pedig csak a sorszámát jelöli, amennyiben nem fontos a tényleges anyaga. Képlettel kifejezve:

$$n_{\text{víz}} = c / v_{\text{víz}}, \text{ illetve } n_1 = c / v_1.$$

A vákuum abszolút törésmutatója 1, míg az összes többi közegé 1-nél nagyobb, hiszen a fény a legnagyobb sebességgel vákuumban terjed. A hétköznapi gyakorlatban a levegő törésmutatóját is 1-nek szoktuk venni. Bár elméletileg ez nem igaz, azonban olyan kicsi a levegő és a vákuum közötti optikai különbség, hogy a geometriai optikában ez nem okoz jelentős hibát.

A **relatív törésmutató** nem vákuumra, hanem bármilyen más közegre vonatkoztatott törésmutató. Megmutatja, hogy hogyan aránylik egymáshoz az adott két közegben a két, eltérő nagyságú terjedési sebesség. Két indexszel jelöljük, és az indexek sorrendje szigorúan megmutatja a fény haladási irányát. Az indexelés sorrendje mindig fordított, mint a fény haladási iránya. Az indexek vagy a két közeg anyagát jelölik, például $n_{\text{víz,levegő}}$, (ekkor a fény a levegőből lép át a vízbe), vagy pedig csak a sorszámát $n_{2,1}$ (ekkor a fény az 1-es közegből lép a 2-esbe), amennyiben nem fontos a közegek tényleges anyaga. Képlettel kifejezve:

$$n_{\text{víz,levegő}} = v_{\text{levegő}} / v_{\text{víz}}, \text{ illetve } n_{2,1} = v_1 / v_2.$$

A relatív törésmutató háromféle értéket vehet fel, mely jellemzi a fény haladási irányát is. Ha az $n_{2,1} > 1$, akkor a fénysugár ritkább közegből lép sűrűbb közegbe. Ha $n_{2,1} < 1$, akkor a

fénysugár sűrűbb közegből lép ritkább közegbe. Ha $n_{2,1} = 1$, akkor a két közeg optikailag azonos, még akkor is, ha az anyaguk eltérő.

A relatív törésmutató és a két közeg abszolút törésmutatója között szoros összefüggés van, mely képlettel kifejezve:

$$n_{\text{víz,levegő}} = n_{\text{víz}} / n_{\text{levegő}}, \text{ illetve } n_{2,1} = n_2 / n_1.$$

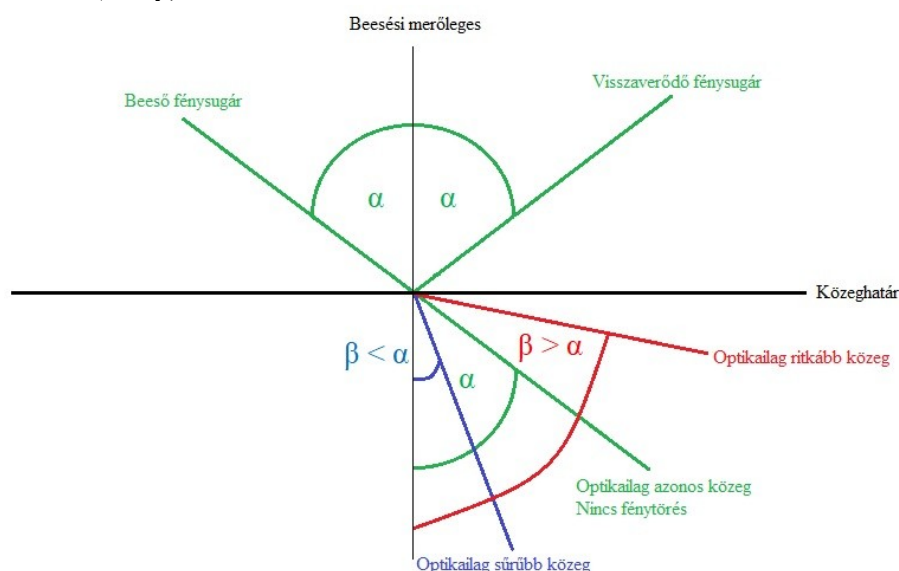
1.2.1. A fényvisszaverődés, a fénytörés, és a teljes visszaverődés jelensége

Ha a fény két homogén közeg határfelületére érkezik, akkor a határfelületen három jelenség játszódik le: a fényvisszaverődés, a fénytörés, és a fényelnyelés. A fényvisszaverődés jelensége azonban nem csak közeghatárokon játszódik le, hanem az abszolút fekete test kivételével minden anyag visszaveri a fény egy részét. A fényvisszaverődés törvényeit nem csak optikai anyagok, közeghatárok esetén célszerű tisztázni. A fényvisszaverődés törvényei:

- I. a beeső fénysugár, a beesési merőleges és a visszavert fénysugár egy síkban van,**
- II. a beesési szög egyenlő a visszaverődési szöggel.**

Fénytörésről akkor beszélünk, ha a fénysugár átlép a két homogén közeg határán, belép a második közegbe, és megváltoztatja haladási irányát. Optikailag azonos anyagok esetén bár a fénysugár egy másik anyagba lép be, azonban nem változtatja meg haladási irányát. Ebben az esetben optikai értelemben nem beszélünk fénytörésről. A fénytörés törvényei:

- I. a beeső fénysugár, a beesési merőleges és a megtört fénysugár egy síkban van,**
- II. ha a fény ritkább közegből lép sűrűbb közegbe, akkor a fénysugár a beesési merőlegeshez törik ($\alpha > \beta$),**
- III. ha a fény sűrűbb közegből lép ritkább közegbe, akkor a fénysugár a beesési merőlegestől törik ($\alpha < \beta$).**



1. ábra. A fényvisszaverődés és a fénytörés különböző esetei.

A fénytörés törvényét matematikai formában Snellius (1591–1626) és Descartes (1596–1650) határozta meg, melyet **Snellius-Descartes-törvénynek** nevezünk. Képlettel kifejezve:

$$n_{2,1} = \sin \alpha / \sin \beta.$$

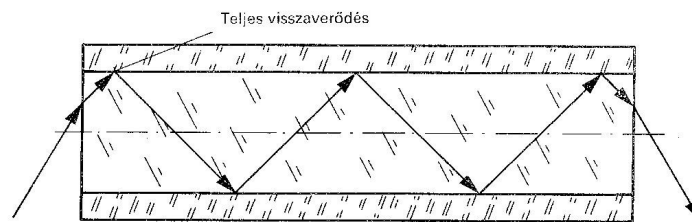
Az abszolút és a relatív törésmutatók közötti összefüggést felhasználva, megkaphatjuk a Snellius-Descartes-törvény másik alakját:

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta.$$

Abban az esetben amikor a fény sűrűbb közegből halad a ritkább közeg felé, és növeljük a beesési szög nagyságát, akkor elérünk egy olyan beesési szöghöz, amikor a törési szög értéke 90° lesz, vagyis a felületen halad tovább a fénysugár, és nem lép be a második közegbe. Azt a beesési szöget, melyhez 90° -os törési szög tartozik, **határszögnek** nevezzük, és α_h -val jelöljük. Tovább növelve a beesési szög értékét a második közegben nem alakul ki új hullámfelület, a fénysugár visszaverődik a közegethatárról, és nem történik fénytörés. Az egyébként átlátszó 2-es közeg határáról a teljes fény mennyiség visszaverődik. Ezt a jelenséget nevezzük **teljes visszaverődésnek**, mely akkor valósul meg, ha:

I. a fénysugár sűrűbb közegből halad ritkább közeg felé,

II. a beesési szög nagyobb, mint a két közegre jellemző határszög.



2. ábra. A teljes visszaverődés jelensége.¹

1.2.2. Síkfelületű optikai testek hatása a fény terjedésére

A síktükör optikai jellemzői és képalkotása

A síktükör működése a fényvisszaverődés elvén alapul, mivel a tükrök esetén a képet mindig a visszaverődő fénysugarak hozzák létre. A síktükörnél az egy tárgypontból kiinduló fénysugarak esetén a síktükörről visszaverődő fénysugarak széttartóak, a valóságban nem metszik egymást. Azonban, ha a visszaverődő fénysugarakat a tükör mögött meghosszabbítjuk, akkor a fénysugarak meghosszabbításai már metszik egymást. Mivel ezek a metszéspontok csak a tükör mögött szerkeszthetőek meg, ezért ezeket **látszólagos** metszéspontoknak nevezzük. A síktükör képalkotása során keletkező kép tulajdonságai:

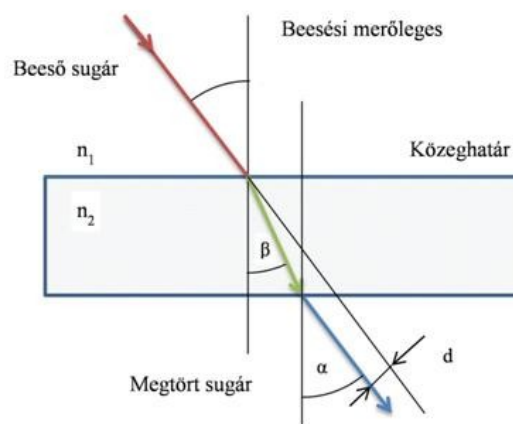
- látszólagos,
- egyenes állású,
- oldalasan fordított
- képnagyság egyenlő a tárgynagysággal, és a képtávolság egyenlő a tárgytávolsággal.

¹ Rózsa Sándor: Fizikai és geometriai optika, 1980, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

A síkpárhuzamos lemez optikai hatása

A síkpárhuzamos lemez, vagy másnéven plán-paralel lemez két egymással párhuzamos sík felületből áll. A síkpárhuzamos lemezt geometriailag a vastagsága (D), optikailag pedig anyagának törésmutatója ($n_{2,1}$) jellemzi. Általában mindkét oldalról ugyanaz a közeg veszi körül a síkpárhuzamos lemezt. Ebben az esetben a síkpárhuzamos lemezből kilépő fénysugár ugyanazzal a szöggel lép ki, mint amivel a síkpárhuzamos lemezeze érkezett (α), és csak a lemezen belül halad más szög alatt (β). A **síkpárhuzamos lemez feladata a fénysugár párhuzamos eltolása**. A fénysugár eltolódásának mértéke (d) képlettel kifejezve:

$$d = D \cdot \sin(\alpha - \beta) / \cos \beta.$$



3. ábra. Párhuzamos eltolás síkpárhuzamos lemezen.²

A prizma optikai hatása

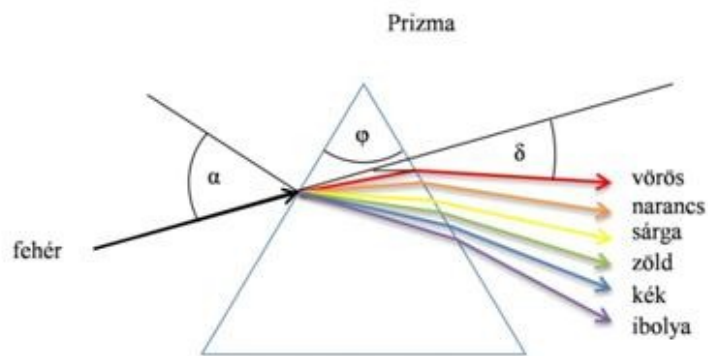
Prizmának nevezzük az olyan síklapokkal határolt optikai testeket, melyek lapjai valamilyen szöget zárnak be egymással. A sík felületek közötti szöget *törőszögnek* (τ) nevezünk. A törőszögnél található a prizma éle, és az ezzel szemközti oldal a prizma alapja. A prizmat geometriailag a törőszög, optikailag pedig az anyagának törésmutatója ($n_{2,1}$) jellemzi. A síkpárhuzamos lemezhez hasonlóan általában a prizma mindkét oldalán ugyanaz a közeg helyezkedik el. A törőszög geometriailag összefügg a prizma első felületén kialakuló törési szöggel, és a prizma második felületén létrejövő beesési szöggel. Képlettel kifejezve:

$$\gamma = \tau - \beta.$$

A prizmán áthaladó fénysugárral kapcsolatban két fontos következtetést vonható le. Az egyik, hogy a fénysugár valamilyen szöggel mindig elfordul, vagyis **a prizma feladata a fénysugár elforgatása**. A másik, hogy **a prizma mindig az alapjuk felé forgatják el a fénysugarat**. Fontos megjegyezni, hogy **szemüvegrendelésnél a TABO-skála szerint szabványosan mindig a prizma alapját kell meghatározni**, mert a TABO-skála szerinti megadás biztosítja a jobb és bal oldal egységes mérhetőségét például dioptriámérés során.

² Babák György, Alkalmazott fizika 2011, Szent István Egyetem

Sir Isaac Newton (1642-1727) fedezte fel a prizmák színbontó képességét. A jelenség lényege, hogy a prizma elemeire bontja az összetett fényt, mint például a természetes fehér fényt. Érdekes azonban megjegyezni, hogy a színbontás jelensége bármely összetett fény esetén létrejön. A természetes fehér fényt a prizma hat különböző összetevőre bontja fel, melyek sorrendben a prizma élétől az alapja felé haladva *a vörös, a narancs, a sárga, a zöld, a kék, és az ibolya*. A jelenségből következik, hogy a természetes fehér fény összetett fény, és a keletkező 6 színből épül fel. A keletkező képet színeképnek, vagy idegen kifejezéssel élve spektrumnak nevezzük. Mivel az egyes színek, vagyis frekvenciák terjedési sebessége nem azonos, ezért a törésmutatójuk sem lesz állandó, vagyis az optikai anyag az egyes színeket más-más szögben tör meg. Legnagyobb mértékben az ibolya színű fény tör meg, illetve legkevésbé a vörös színű fény. Fontos megjegyezni, hogy a színbontás nem kizárólag a prizmákra jellemző, hanem a fénytörés révén jön létre, vagyis összetett színű tárgy esetén a fénytörés mindig elemeire bontja a különböző frekvenciájú fénysugarakat.



4. ábra. Prizma fénytörése és színbontása.³

1.2.3. Gömbfelületű tükrök jellemzői és képképzése

Görbe felületek esetén a beesési pontban az érintőjével helyettesítjük a felületet, és ezáltal a görbe felületet visszavezetjük a sík felület hatására. Az érintőre állított merőleges lesz a beesési merőleges, és a beeső fénysugár ezzel bezárt szögét nevezzük beesési szögnek. Szférikus, azaz gömbi felületek esetén könnyebbé válik a beesési merőlegesek megszerkesztése, mivel a gömb érintője pontosan merőleges a gömb sugarára. Szférikus felszín esetén az összes beesési merőleges áthalad a gömb középpontján, melyet a szférikus felület geometriai középpontjának (C) nevezünk. A gyakorlatban a beesési pontot összekötjük egy egyenessel a geometriai középponttal, és ez lesz az adott pontbeli beesési merőleges. A szférikus felületű optikai testek képképzését leíró összefüggések a következők, melyek a lencsék esetén is érvényesek.

I. **Leképzési törvény**, amennyiben levegő veszi körül az optikai testet:

³ Babák György, Alkalmazott fizika 2011, Szent István Egyetem

$$1 / f = 1 / t + 1 / k$$

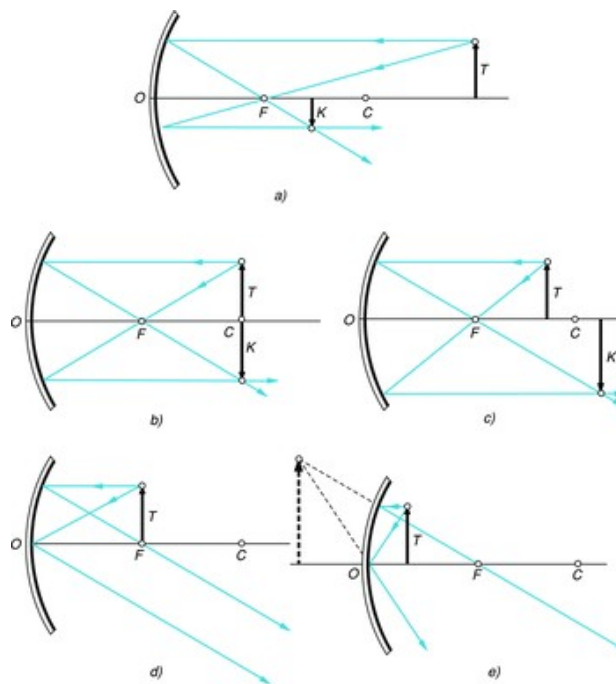
II. Lineáris nagyítás:

$$N = K / T = k / t$$

Kis nyílásszögű gömbtükrök esetén a fókusz távolság (f) nagysága pontosan megegyezik a görbületi sugár (r) felével.

A homorú gömbtükör képalkotása

A homorú tükör esetén a geometriai középpont (C) és a fókuszpont (F) összesen 5 különböző tartományra osztja a tárgyteret, így ennek megfelelően 5 különböző képalkotási eset van. A képszerkesztésekhez célszerű könnyen megrajzolható fénysugarakat alkalmazni. A geometriai középpont irányából érkező fénysugár önmagába verődik vissza, mivel egybeesik a beesési merőlegessel. Az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugár a fókuszponton keresztül verődik vissza. A fókuszponton keresztül érkező fénysugár az optikai tengellyel párhuzamosan verődik vissza.



5. ábra. A homorú tükör képalkotási esetei.⁴

Ha a tárgy a geometriai középponton kívül helyezkedik el, akkor a kép a fókuszpont és a geometriai középpont között keletkezik, és *valódi, fordított állású, és kicsinyített* lesz. Ez a képalkotási eset például a Newton-féle, vagy tükrös távcsövek és tükrös objektívek esetén használható fel.

Ha a tárgy pontosan a geometriai középpontnál van, akkor a tükörről visszaverődő fénysugarak is pontosan a geometriai középpontnál metszik egymást, és a keletkező kép *valódi, fordított állású lesz, és ebben az esetben a képnagyság egyenlő a tárgynagysággal*.

⁴ Holics László: Fizika, Akadémiai Kiadó online megjelenés 2017

Ha a tárgy a fókuszpont és a geometriai középpont között található, akkor a tükörről visszaverődő fénysugarak a geometriai középponton kívül metszik egymást, és a keletkező kép *valódi, fordított állású, és nagyított* lesz.

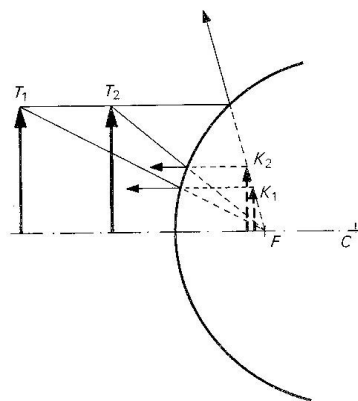
Ha a tárgy pontosan a fókuszpontban van, akkor a visszaverődő fénysugarak párhuzamosak egymással, azok nem metszik egymást, vagyis *nem keletkezik kép*.

Ha a tárgy a fókuszponton belül van, akkor a visszaverődő fénysugarak széttartóak, azok a valóságban nem metszik egymást, nem keletkezik valódi kép. A visszaverődő fénysugarak tükör mögötti meghosszabbításai viszont már metszik egymást, így látszólagos képpont jön létre. A keletkező kép *látszólagos, egyenes állású, és nagyított*. Ez a gyakorlatban a kozmetikai-, vagy borotválkozótükörnél használható fel.

A számítási példákhoz fontos az előjelszabály ismerete, melyet az optikus szakmában alkalmazunk. Mivel a homorú tükör gyűjtő hatású, ezért a görbületi sugár (r) és a fókusz távolság (f) pozitív előjelű. A tárgytávolság és a tárgynagyság mindig pozitív előjelű. Abban az esetben, ha a keletkező kép valódi, akkor a képtávolság (k), a képnagyság (K), és a lineáris nagyítás (N) pozitív előjelű. Abban az esetben, ha a keletkező kép látszólagos, akkor a képtávolság (k), a képnagyság (K), és a lineáris nagyítás (N) negatív előjelű.

A domború gömbtükör képalkotása

A domború gömbtükör esetén is háromféle speciális fénysugarat lehet felhasználni a képszerkesztéshez. A geometriai középpont irányából érkező fénysugár önmagába verődik vissza, mivel egybeesik a beesési merőlegessel. Az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugár úgy verődik vissza, mintha a fókuszponton irányából indult volna ki. A fókuszpont irányába haladó fénysugár az optikai tengellyel párhuzamosan verődik vissza.



6. ábra. A domború tükör képalkotása.⁵

Mivel a domború tükör szórja a fénysugarakat (szóró hatású), ennek megfelelően bárhol is van a tárgy, a tükörről széttartó fénysugarak verődnek vissza, vagyis nem keletkezik valódi kép. A visszaverődő fénysugarak tükör mögötti meghosszabbításai már metszik egymást, így a keletkező kép: *látszólagos, egyenes állású és kicsinyített*. Ezt a képalkotási esetet például a visszapillantó tükörnél használjuk fel.

Domború tükör esetén az előjel szabály a következő. Mivel a domború tükör szóró hatású,

⁵ Rózsa Sándor: Fizikai és geometriai optika, 1980, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

ezért a görbületi sugár (r) és a fókusztávolság (f) negatív előjelű. A keletkező kép mindig látszólagos, ezért a képtávolság (k), a képnagyság (K), és a lineáris nagyítás (N) is mindig negatív előjelű lesz.

1.2.4. Gömbfelületű lencsék jellemzői és képalkotása

Görbe felületek esetén a beesési pontban a görbe felületet az érintőjével kell helyettesíteni a fénytörés meghatározásához. Az érintőre állított merőleges lesz a beesési merőleges. A beeső fénysugár ezzel bezárt szögét nevezzük beesési szögnek, illetve a megtört fénysugár ezzel bezárt szögét nevezzük törési szögnek. A törési szög értéke a Snellius-Descartes-törvény segítségével határozható meg:

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta.$$

A szférikus lencsénél hat különböző lencseformát különíthetünk el: a bikonvex, a plánkonvex, a konkáv-konvex, a bikonkáv, a plánkonkáv és a konvex-konkáv lencsetípusokat. A hat típust két újabb csoportba sorolhatjuk: a konvex (melyek nevében a konvex szó szerepel a szavak végén) és a konkáv (melyek nevében a konkáv szó szerepel a szavak végén) lencsék csoportjába. A konvex lencsék a homorú tükörhöz hasonlóan gyűjtő hatásúak, a konkáv lencsék pedig a domború tükörhöz hasonlóan szóró hatásúak. Az ezekre vonatkozó előjelszabály megegyezik a tükörnél ismertetett előjelszabállyal. Tovább csoportosíthatjuk a lencsét az optikai tengelyen mért vastagság szerint, és beszélhetünk vékony, illetve vastag lencséről. Vékonylencsének nevezzük azokat a lencsét, melyek optikai tengelyen mért vastagsága elhanyagolható a többi geometriai mérethez képest. Ez az egyszerűsítés könnyebb képszerkesztést tesz lehetővé, de számítások esetén pontatlanságot okozhat.

Szférikus lencsék esetén abban az esetben, amikor a lencse előtt és mögött levegő helyezkedik el, a leképzési törvény és a lineáris nagyítás összefüggése és előjelszabálya megegyezik a szférikus tükörnél ismertettekkel. Ezen összefüggések mellett a lencsék esetén alkalmazzuk még a **szögnagyítás** fogalmát, mely megmutatja, hogy a képoldali látószög (i') tangense hányszorosa a tárgyoldali látószög (i) tangensének. Képlettel kifejezve:

$$N_{sz} = \frac{\tan i'}{\tan i}$$

Az említett összefüggések mellett a lencsék jellemzésére használt legfontosabb mérőszám az ún. **törőerő** (D), mely a méterben meghatározott fókusztávolság reciproka, ha a lencse előtt és mögött levegő helyezkedik el. A törőerő mértékegysége a **dioptria**, ami matematikailag $1/m$ -rel egyenlő. Képlettel kifejezve:

$$D = 1 / f$$

1.2.5. Vékonylencsék optikai hatása

Vékonylencsének nevezzük az olyan lencsét, melyeknek az optikai tengelyen mért vastagsága elhanyagolható a többi geometriai mérethez képest. A vékonylencséknek egyetlen

fősíkja van, mely a lencse közepén merőlegesen metszi az optikai tengelyt. Az egyszerűsítés érdekében ezzel az egyetlen fősíkkal is ábrázoljuk a lencsét. A fősík feladata kettős: egyrészt innen mérjük a fókusz távolságot, másrészt ábrázolásakor úgy egyszerűsítünk, mintha ezen törnének meg a fénysugarak, és nem a lencsefelületeken.

A vékonylencsék törőerejét az Optikus szakmában az ún. *lencsekészítő formulával* határozzuk meg. Ehhez első lépésként bevezetjük a *felületi törőerő*, vagy *felületi dioptria* fogalmát. A felületi törőerő külön-külön jellemzi a két lencsefelület fénytörő képességét. Képletekkel kifejezve:

$$D_1 = (n-1) / r_1$$

$$D_2 = (n-1) / r_2$$

ahol D_1 az első felület, illetve D_2 a hátsó felület felületi törőereje. Az n a lencse anyagának törésmutatója és a lencse levegőben van, illetve r_1 az első felület görbületi sugara és r_2 a hátsó felület görbületi sugara. A görbületi sugarakat méterben kell mérni! Az Optikus szakmában alkalmazott előjelszabály a következő: domború, vagyis gyűjtő hatású felület esetén a görbületi sugár előjele pozitív, homorú, vagyis szóró hatású felület esetén a görbületi sugár előjele negatív. Sík felület esetén a görbületi sugár végtelen, melynek a reciproka matematikailag 0, vagyis a sík felület törőereje 0 lesz. A felületek alakját mindig a lencsén kívülről kell nézni, ellentétben a matematikai megközelítéssel, ugyanis nem a fény haladási irányát veszi alapul az előjelek meghatározásához, mint a matematikai megközelítés, hanem a lencsefelületeket gyártási és mérési szempontból szemléli. Vékonylencsék esetén a lencsekészítő formula:

$$D = 1 / f = D_1 + D_2$$

Ha a törőerő és ennek alapján a fókusz távolság előjele pozitív, akkor a lencse gyűjtő hatású. Ha pedig a törőerő és a fókusz távolság előjele negatív, akkor a lencse szóró hatású.

Vékony gyűjtőlencse képalkotása

Gyűjtőlencse esetén a következő speciális helyzetű fénysugarakat érdemes felhasználni a képszerkesztéshez. A főponton (H) – mely a fősík és az optikai tengely metszéspontja – keresztül érkező fénysugár fénytörés nélkül halad tovább. Az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugár a hátsó fókuszponton keresztül törik meg. Az első fókuszponton keresztül érkező fénysugár az optikai tengellyel párhuzamosan törik meg. A homorú tükör képalkotásához hasonlóan a fókuszpont és a kétszeres fókusz távolság helye 5 különböző tartományra osztja a tárgyeret, így ennek megfelelően 5 különböző képalkotási esetet lehet meghatározni a gyűjtőlencsénél. Az 5 esetben a keletkező képek jellemzői megegyeznek a homorú tükörnél ismertetett jellemzőkkel, azzal a különbséggel, hogy a kép keletkezési helye megváltozik, ami a tükör esetén a tükör mögött volt, az most a lencse elé kerül, és fordítva.

Ha a tárgy a fókuszponton belül van, akkor a megtört fénysugarak széttartóak lesznek, nem keletkezik valódi kép. Azonban a megtört fénysugarak visszafelé történő meghosszabbításai metszik egymást, így látszólagos képpont jön létre. A keletkező kép: *látszólagos, egyenes*

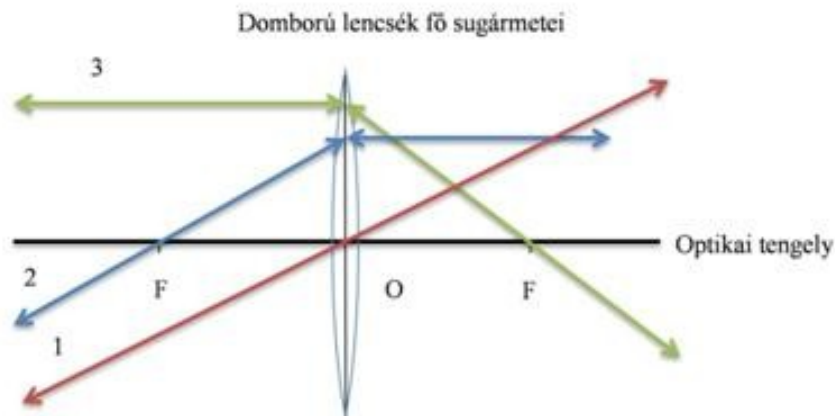
állású, és nagyított. Ezt a képalkotási esetet a gyakorlatban a kézi nagyítónál, vagy más néven lupénál használjuk fel, amikor is a képalkotás célja egy tárgy részleteinek felnagyítása.

A fókuszpontban elhelyezett tárgy esetén a megtört fénysugarak párhuzamosak lesznek, nem metszik egymást fénytörés után, vagyis ebben az esetben *nem keletkezik kép.*

Ha a tárgy a fókuszpont és a kétszeres fókusz távolság között helyezkedik el, a megtört fénysugarak a kétszeres fókusz távolságon kívül metszik egymást, és a keletkező kép: *valódi, fordított állású, és nagyított.*

Ha a tárgy a kétszeres fókusz távolságban helyezkedik el, a megtört fénysugarak szintén a kétszeres fókusz távolságban metszik egymást, és a keletkező kép: *valódi, fordított állású lesz, és a képnagyság egyenlő a tárgynagysággal.*

Ha a tárgy a kétszeres fókusz távolságon kívül elhelyezkedik el, akkor a tárgyról a fókuszpont és a kétszeres fókusz távolság között keletkezik a kép, mely: *valódi, fordított állású, és kicsinyített* lesz. Ez a képalkotási eset valósul meg a Galilei- és a Kepler-távcsövek objektív lencséjénél, a fényképezőgépek objektívjénél, és az emberi szem esetén.



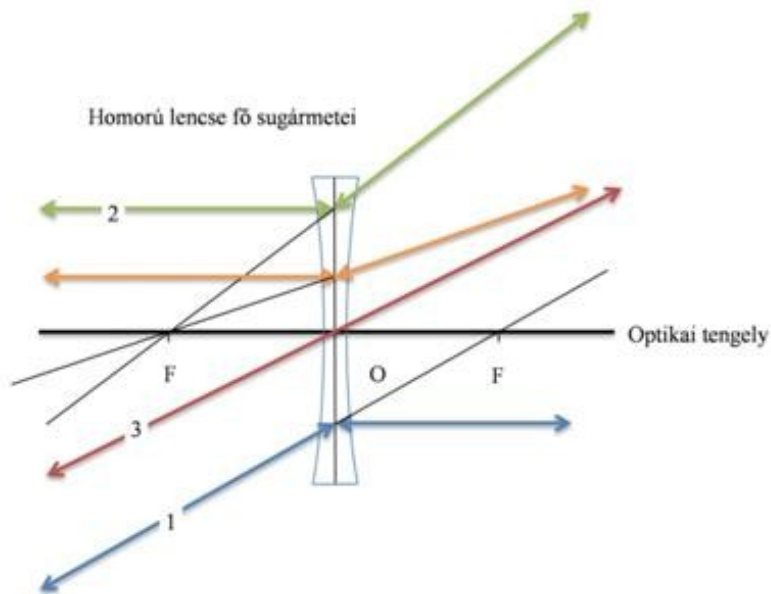
7. ábra. Gyűjtőlencse (domború lencse) speciális sugármenetei.⁶

Vékony szórólencse képalkotása

Szórólencse esetén a főponton (H) keresztül érkező fénysugár fénytörés nélkül halad tovább. Az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugár úgy tör meg, mintha az első fókuszpontból indult volna ki. A hátsó fókuszpont irányába haladó fénysugár az optikai tengellyel párhuzamosan tör meg.

Szórólencse esetén bárhol is van a tárgy, a megtört fénysugarak széttartóak lesznek, azonban a megtört fénysugarak visszafelé történő meghosszabbításai metszik egymást, így látszólagos képpont jön létre. A keletkező kép: *látszólagos, egyenes állású, és kicsinyített.*

⁶ Babák György, Alkalmazott fizika 2011, Szent István Egyetem



8. ábra. Szórólencse (homorú lencse) speciális sugármenetei.⁷

1.2.6. Vastaglencsék optikai hatása

Vastaglencsének nevezzük az olyan lencsét, melyeknek az optikai tengelyen mért vastagsága nem hanyagolható el a többi geometriai mérethez képest, ezért a lencse vastagsága befolyásolja az optikai jellemzőket. A vastaglencsék törőerejét az Optikus szakmában a vékonylencsékhez hasonlóan szintén a lencsekészítő formulához hasonló képlettel határozzuk meg, azonban már figyelembe vesszük a lencse optikai tengelyen mért vastagságát (e). A felületi törőerő meghatározása megegyezik a vékonylencsénél ismertetett képletekkel, az előjelszabály is ugyanaz. Fontos továbbra is, hogy a képletek akkor érvényesek, ha a lencse a levegőben helyezkedik el. A felületi törőerők meghatározás után a lencse törőereje, vagy ösztörőereje képlettel kifejezve:

$$D = D_1 + D_2 - e / n \cdot D_1 \cdot D_2$$

A vastaglencséknek mindig két fősíkja van, melyekkel helyettesítjük a lencsét. A fősíkok feladata kettős. Egyrészt innen kell mérni a fókusz távolságokat, mely az ösztörőerő képletéből határozható meg a $D = 1 / f$ képletből. A kapott érték méterben adja meg a fókusz távolság nagyságát. A fókuszpontok pontos helyének meghatározásához azonban ismerni kell a fősíkok helyét. A fősíkok helyét a görbületi sugarak nagysága mellett a lencse alakja határozza meg. Bikonvex és bikonkáv lencsék esetén mindkét fősík a lencsén belül található. Plánkonvex és plánkonkáv lencsék esetén az egyik fősík a lencsén belül helyezkedik el, a másik fősík pedig a görbe felszínét érinti. Plánkonvex lencsénél belülről, plánkonkáv lencsénél pedig kívülről érinti a lencse felszínét. Konkáv-konvex és konvex-konkáv lencsék esetén az egyik fősík mindig a lencsén kívül helyezkedik el, a másik pedig a felületi dioptriák és az ösztörőerő arányának megfelelően vagy a lencsén kívül, vagy a lencsén belül van. A

⁷ Babák György, Alkalmazott fizika 2011, Szent István Egyetem

konkáv-konvex lencsénél a domború, míg konvex-konkáv lencsénél a homorú felszín felé tolnak el a fősíkok.

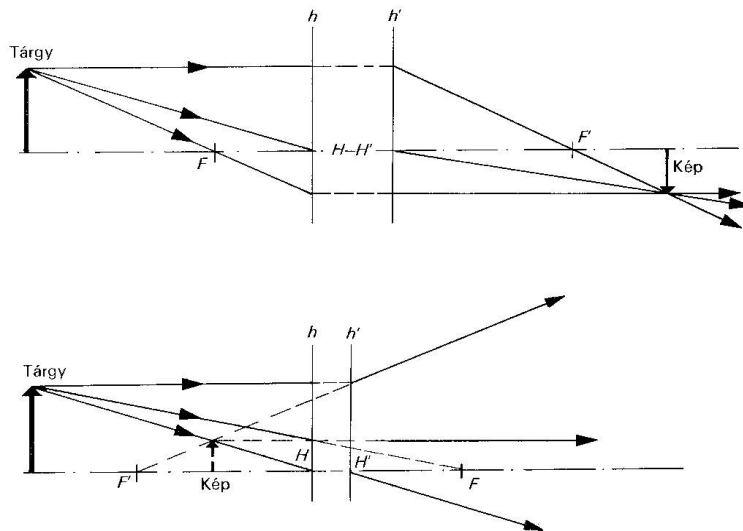
A mindennapos optikus gyakorlatban, ahol szinte csak konkáv-konvex és konvex-konkáv lencsét használunk a szemüveglencse saját asztigmatizációjának elkerülése érdekében, nincs idő arra, hogy a szemüveglencsék fősíkjait pontosan meghatározzuk. Ahogyan az előbbieken tisztáztuk, az ilyen típusú lencsék fősíkjai alapvetően a lencsén kívül helyezkednek el leginkább a levegőben, így ezek mérés technikai meghatározása lehetetlen a mindennapos dioptriamezés során.

A gyakorlat számára megfelelően gyors mérési eljárások érdekében az Optikus szakmában bevezették a *csúcsdioptria* fogalmát, ami annyit jelent, hogy a fókusz távolságot mégsem a fókuszokhoz képest mérjük, hanem a lencsefelület optikai középpontjához, azaz a „csúcshoz” képest. A felület „csúcsának” az optikai tengely és a felület metszéspontját nevezzük. Az így kapott értékeket csúcsfókusz távolságnak nevezzük. Mivel a szemüveglencsének általában egy homorú és egy domború felülete van, ezért választani kellett, hogy melyik felületet tekintjük szabványosan irányadónak, amit hagyományosan „bázisfelületnek” nevezünk. Mivel a szemüveglencse gyártás kezdetén gyártástechnikai okok miatt a homorú felületet tekintették a lencse bázisának, ezért ez lett a törőerő meghatározásának és mérésének alapja. Szemüveglencsék esetén mindig a homorú felülethez képest mérünk törőerőt, amit ennek megfelelően *hátsó csúcsdioptriának* nevezünk.

A fősíkok másik feladata, hogy a képszerkesztéskor úgy tekintjük, mintha ezeken törnének meg a fénysugarak a lencsefelületek helyett olyan formán, hogy a két fősík között a fénysugarak az optikai tengellyel párhuzamosan haladnának. A két fősík közötti részen kívül a fénysugarak haladását a vékonylencsék speciális sugármeneteinek megfelelően szerkesztjük, míg a fősíkok között mindig az optikai tengellyel párhuzamosan rajzoljuk meg a fénysugarak haladását.

Vastag gyűjtőlencse esetén az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugár az első fősíkon nem törik meg, a második fősíkon pedig úgy törik meg, hogy fénytörés után a hátsó fókuszponton halad keresztül. Az első fókuszponton keresztül érkező fénysugár az első fősíkon megtörik, és az optikai tengellyel párhuzamosan halad tovább. Az első fókuszpontonba érkező fénysugár a két fókusz között az optikai tengelyen halad, majd úgy törik meg, hogy az első fókuszpontonba érkező, eredeti fénysugárral párhuzamos lesz a lencse után továbbhaladó fénysugár.

Vastag szórólencse esetén az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugár az első fősíkon nem törik meg, a második fősíkon pedig úgy törik meg, mintha az első fókuszpontonból indult volna ki. A hátsó fókuszpont irányába haladó fénysugár az első fősíkon megtörik, és az optikai tengellyel párhuzamosan halad tovább. Az első fókuszpontonba érkező fénysugár a két fókusz között az optikai tengelyen halad, majd úgy törik meg, hogy az első fókuszpontonba érkező, eredeti fénysugárral párhuzamos lesz a lencse után továbbhaladó fénysugár.



9. ábra. A vastaglencsék képszerkesztésénél felhasználható fénysugarak.⁸

1.2.7. A lencserendszerek optikai jellemzői

Lencserendszerről akkor beszélhetünk, ha nem egy, hanem több lencsét használunk fel a tárgy képének leképzéséhez, és egy optikai rendszert hozunk létre. Tapasztalataink szerint csak olyan lencserendszereknek van gyakorlati haszna, melyeknél a lencsék egy közös optikai tengelyen vannak. Látszólag előfordulnak ettől eltérő lencserendszerek is, azonban ezeknél valamilyen más optikai test segítségével elforgatjuk, vagy párhuzamosan eltoljuk a rendszer egy részének az optikai tengelyét. Ezzel a módszerrel a lencserendszer használhatóságát valósítjuk meg, vagy tesszük praktikusabbá. Erre a célra leginkább tükröket és ún. reflexióprizmákat alkalmazunk. Természetesen az eltolás, vagy az elforgatás figyelembe vételével az optikai tengelyek már egybe esnek, így végeredményben még ezekben az esetekben is csak közös optikai tengellyel rendelkező, ún. centrált lencserendszereket alkalmazunk.

Felmerülhet a kérdés, hogy egyáltalán miért van szükség lencserendszerekre. Egy tárgy képét akár egyetlen lencsével is le tudjuk képezni. A gyakorlat számára azonban ez nem mindig kielégítő a kép elvárt jellemzői szempontjából. Például egyetlen lencsével nem tudunk megfelelő nagyítást létrehozni sem távoli, sem pedig közeli kisméretű tárgyak esetén. Az első problémát a távcső, a másikat a mikroszkóp oldja meg, de egyik sem valósítható meg egyetlen lencsével. Emellett a lencsék képalkotása hibákkal terhelt, az általuk létrehozott kép csak a legritkább esetben megfelelő minőségű. A kép minőségének javítási szándéka kényszerítette rá az embert a lencserendszerek kialakítására. Az első megfelelő képminőséget biztosító fényképezőgép objektívet Petzval Józsefnek (1807-1891) köszönhetjük. Ő fedezte fel a több lencséből álló, jó képminőséget adó lencserendszert, melyben a különböző lencsékkel egymás hibáját tudta korrigálni. Azonban nem lehetséges olyan lencserendszer megalkotni, mely egy időben az összes leképzési hibát korrigálná. A gyakorlatban mindig ki kell választani azokat a leképzési hibákat, melyek csökkentésével az adott optikai eszköz képalkotása jelentősen javítható, és csak ezek korrigálására kell koncentrálni. Így egy adott lencserendszer kialakítását mindig a felhasználás célja határozza meg.

⁸Rózsa Sándor: Fizikai és geometriai optika, 1980, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

A lencserendszerek mindig helyettesíthetők egy darab vastag lencsével, így például a kéttagú lencserendszernél is beszélhetünk az össztörőerő, a fókusz távolság, és a fősíkok fogalmáról, amelyek teljesen megegyeznek az eddig ismertetett fogalmakkal, csupán a számításuk eltérő. Ezen optikai jellemzők egyben a lencserendszert helyettesítő vastag lencse jellemzőivel lesznek azonosak. A két tagból álló lencserendszert képzeletben visszavezethetjük a vastag lencsére, és akár úgy is felfoghatjuk, mintha az első lencse (törőereje D_1) lenne a vastag lencse első felülete, és a második lencse (törőereje D_2) lenne a vastag lencse hátsó felülete, és a két lencse között levő közeg (n_2) a vastag lencse anyagát adná. Lencserendszerek esetén a szemüveglencsével ellentétben már gyakran előfordul az, hogy a lencserendszer előtt lévő közeg (n_1) eltérő optikailag a lencserendszer mögött lévő közegtől (n_3). A két tagból álló lencserendszer optikai jellemzői a következők, képlettel kifejezve:

$$D = D_1 + D_2 - e / n_2 \cdot D_1 \cdot D_2,$$

$$D = n_1 / f_1 = n_3 / f_2,$$

ahol e a két lencse közötti távolság, amely vastaglencsék esetén az első lencse hátsó fősíkjának és a második lencse első fősíkjának a távolsága, f_1 az első fókusz távolság, illetve f_2 pedig a hátsó fókusz távolság, melyeket az eredő fősíkoktól kell majd mérni.

A kéttagú lencserendszerek legegyszerűbb esete, amikor a két lencse szorosan egymás mellett helyezkedik el, vagyis $e = 0$. Ilyen lencserendszereket nagyon sokszor alkalmaznak összetett lencserendszerek egyes tagjaiként, és általában a fő feladatuk a leképzési hibák csökkentése. Ilyen típusú lencserendszerrel a szférikus aberráció, a kóma, a képmezőhajlás és a kromatikus aberráció csökkenthető olyan módon, hogy általában egy gyűjtő-, és egy szórólencséből álló kombinációval korrigáljuk egymás hibáit. A lencserendszer össztörőereje nagyon könnyen meghatározható. Mivel $e = 0$, ezért a képlet utolsó tagja kiesik, vagyis:

$$D = D_1 + D_2.$$

A kéttagú lencserendszerek második speciális esete, amikor az első lencse hátsó fősíkjára pontosan a második lencse első fókuszpontjában helyezkedik el, és a két lencse között levegő van ($n_2 = 1$). Ebben az esetben a két lencse közötti távolság pontosan az f_2 fókusz távolsággal egyenlő. A megadott adatokkal az össztörőerő értéke képlettel kifejezve:

$$D = D_1 + D_2 - f_2 \cdot D_1 \cdot D_2.$$

Kihasználva, hogy levegőben a törőerő a fókusz távolság reciproka, ezért $f_2 \cdot D_2 = 1$, vagyis:

$$D = D_1 + D_2 - D_1,$$

$$D = D_2.$$

Elméletileg ez a legtökéletesebb beállítása a szemüveglencsének, amely akkor fejt ki megfelelően az optikai hatását, ha a hátsó lencsefelület pontosan a szem első fókuszpontjában helyezkedik el. Ez látszólag azt jelenti, mintha az első lencsének – vagyis a szemüveglencsének – nem is lenne szerepe a képalkotásban. Bár az első lencse nem módosítja

a szem össztörőerőjét, azonban hatással van az eredő fókuszokra, és ezen keresztül a hátsó fókuszpont elhelyezkedésére, így a szem képalkotását végeredményben a fókuszok eltolásával módosítja. Az eredő törőerő megegyezik a szem törőerőjével, ezért a szemüveglencse nem befolyásolja a szem nagyítási viszonyait, csak a szem fókuszait tolja el a megfelelő mértékben. Vagyis a lencserendszer képalkotását a második lencse, azaz a szem határozza meg, és az első lencse, azaz a szemüveglencse feladata a második lencse fókuszjainak eltolása.

A lencserendszerek harmadik speciális esete az, amikor a két lencse fókuszpontja egybeesik ($e = f_1 + f_2$), és a két lencse között levegő van ($n_2 = 1$). A megadott adatokkal az össztörőerő értéke képlettel kifejezve:

$$D = D_1 + D_2 - (f_1 + f_2) \cdot D_1 \cdot D_2.$$

Mivel levegőben a törőerő a fókusztávolság reciproka, ezért $f_1 \cdot D_1 = f_2 \cdot D_2 = 1$, és felbontva a zárójel a következő formára alakítható a képlet:

$$D = D_1 + D_2 - D_1 - D_2 = 0.$$

A levezetés eredményeképpen a lencserendszer össztörőereje nulla, eredő fókusztávolsága pedig végtelen nagy. Ez azt jelenti, hogy a végtelenből jövő párhuzamos fénysugarak a lencserendszeren áthaladva párhuzamosak maradnak. A lencserendszert fókuszmertes, vagy más néven *afokális* lencserendszernek nevezzük. Az afokális lencserendszereket a távcsöveknél alkalmazzuk. A távcsövek közös jellemzője, hogy az objektív és az okulár lencse fókuszpontja egybeesik. Első ránézésre a párhuzamos fénysugarak az afokális lencserendszerből párhuzamosan lépnek ki, vagyis felmerül a kérdés, hogy akkor milyen gyakorlati haszna van ennek. Fontos tény azonban, hogy a távcsöveknél az objektív lencse fókusztávolsága jóval nagyobb, mint az okulár lencse fókusztávolsága. Bár a kilépő fénysugarak is párhuzamosak, azonban az afokális lencserendszer jelentősen megváltoztatja a látószögeket. Ennek megfelelően elmondható, hogy a távcsövek feladata a látószögek nagyítása, amelyet a szögnagyítással fejezünk ki:

$$N_{sz} = f_{obj.} / f_{ok.}$$

A kép a szögnagyítás szempontjából nagyított lesz, melynek köszönhetően a nagyon távoli tárgyakat lényegesen nagyobb látószög alatt láthatunk, mint szabadszemmel. A gyakorlati életben a legelterjedtebb távcsőtípusok a Galilei-féle, a Kepler-féle, és a Newton-féle távcső.

1.2.8. Rekeszek működése

Rekesznek nevezünk minden olyan optikai alkatrészt, mely korlátozza az optikai rendszeren áthaladó fény mennyiségét. Régebben rekesznek, vagy más néven „blendének” azt tartották, ami a lencsék között helyezkedik el, változtatható a nyílása, és a közepén lévő nyílás átengedi a fénysugarakat, míg a többi területen teljesen megakadályozza a fény áthaladását. Azonban a valóságban rekesznek tekintjük a lencsék szélét is, a lencserendszer foglalatát is, és minden olyan az optikai eszközhöz tartozó tárgyat, mely befolyásolja az optikai rendszeren áthaladó

fény mennyiségét, illetve a beérkező és képet alkotó fény irányát.

A rekeszeknek 5 fő feladata van: meghatározzák a fényerősséget, szabályozzák a felbontóképességet, befolyásolják a mélységélességet, csökkentik a leképzési hibák bizonyos típusait, és kijelölik a látóteret. Egy adott lencserendszerben aszerint kel elhelyezni a rekeszeket az optikai rendszerben, hogy az 5 fő feladat melyikét és hogyan szeretnénk szabályozni.

A rekesz egyik legfontosabb feladata a fényerősség, vagyis az optikai rendszerbe jutó fény mennyiségének a szabályozása. Az optikai rendszert alkotó lencsék anyaguknak megfelelően a fény egy részét visszaverik a felületükről, illetve elnyelik a közeghatárokon, így a külső fény mennyiség már eleve nem haladhat át teljes mértékben az optikai eszközön. Elképzelhető azonban, hogy az így bejutó fény mennyisége még mindig túl sok az optimális képalkotáshoz. A fényerősség pontos és folyamatos szabályozásához változtatható nyílású rekeszre van szükség.

A rekeszek közül azt, amelyik a legkevesebb fényt engedi át az optikai eszközön **apertúra rekesznek** nevezzük. Ez a gyakorlatban annyit jelent, hogy a fényerősséget mindig az apertúra rekesz mérete határozza meg, és minél szűkebb az apertúra rekesz nyílása, annál kevesebb fény haladhat át a lencserendszeren. A fényképezőgépek esetén a rekesz méretét az ún. blendeszámmal adják meg, ami az objektív fókusz távolságának és a rekesz átmérőjének a hányadosa. A kis blendeszám nagy rekesznyílást és fényerősséget jelent, illetve a nagy blendeszám kis rekesznyílást és fényerősséget jelent.

A legtöbb optikai eszköz esetén az apertúra rekesz a lencsék között helyezkedik el főleg a leképzési hibák csökkentése érdekében. Ha a lencserendszert helyettesítjük egy eredő lencsével, akkor már nem olyan egyszerű a lencsék között lévő rekesz optikai értelmezése. Ezért definiálni kell az apertúra rekesz tárgyoldali képét, melyet *belépő pupillának*, illetve a képoldali képét, melyet *kilépő pupillának* nevezünk. Ezek segítségével úgy modellezzük az optikai rendszert, hogy törőerő szempontjából helyettesítjük egy vastaglencsével, a fényerősséget pedig tárgyoldalról a belépő pupilla, illetve képoldalról a kilépő pupilla határozza meg. Gyakorlati szempontból elmondható, hogy egy adott optikai eszköznek akkor megfelelő a fényerőssége, ha az optikai eszköz kilépő pupillája nagyobb, mint az emberi szem belépő pupillája. Ennek teljesülése esetén az optikai eszközön keresztül több fény halad át a rendszeren, mint amit a szemünk átenged majd, vagyis az optikai eszközön keresztül ugyanolyan világosnak látjuk a tárgyakat, mint szabad szemmel látnánk azt.

A rekeszek második legfontosabb feladata az optikai eszköz felbontóképességének a szabályozása. A felbontóképesség a Fiziológiai vagy szemészeti optika című alfejezetben részletesebben bemutatásra kerül majd. A felbontóképesség megmutatja, hogy a különálló tárgy pontok meddig lesznek különállóak a képen is, vagyis a tárgy pontok képalkotás utáni elkülöníthetőségét határozza meg. Kétféle módon adható meg a felbontóképesség a gyakorlatban. Vagy azt a minimális tárgy pont távolságot, vagy pedig azt a minimális látószöveget adjuk meg, mely esetén a képpontok még éppen elkülönülnek egymástól. Az emberi szem felbontóképessége a következő képlettel határozható meg:

$$\sin \alpha_{\min} = 1.22 \cdot \lambda / d,$$

ahol λ a fény hullámhossza, d pedig az apertúra rekesz nyílásának átmérője. Az α_{\min} szöveget a

lencserendszer szögfelbontásának is nevezzük, és jól látható a képletből, hogy az értéke a rekesz méretével fordítottan arányos, vagyis minél nagyobb a rekesz mérete, annál kisebb lesz α_{\min} értéke. Ha végig gondoljuk, akkor az jelenti a jobb elkülöníthetőséget, vagyis abban az esetben beszélünk jó felbontóképességről, ha az α_{\min} értéke kicsi. Ennek megfelelően, minél nagyobb a rekesz mérete, annál jobb az optikai rendszer felbontóképessége.

A rekeszek harmadik fő feladata a mélységélesség meghatározása. A lencsék és tükrök képalkotásánál általában azt határoztuk meg, hogy egy adott tárgyról hol és milyen tulajdonságokkal rendelkező kép keletkezik. A gyakorlatban a fókusztávolságot úgy szabályozzuk, hogy egy adott tárgytávolság mellett, az adott távolságban lévő tárgyról hozzon létre éles képet az optikai rendszer. Elméletileg a geometriai optika szabályai szerint csak az itt elhelyezkedő tárgyról jön létre éles kép a képsíkban, és csak az adott tárgysík pontjai lesznek élesek a hozzá tartozó képsíkban.

A valóságban a tárgyak háromdimenziósak, és nem csak egy tárgysíkban fekszenek, így a tárgyak egyes pontjai a tárgysík előtt, míg más pontjai a tárgysík mögött helyezkednek el. Azonban ezek éles képei már nem a tárgysíkhöz tartozó képsíkban keletkeznek. Az elméleti megközelítés alapján a tárgysíkban lévő tárgyponatok képe teljesen éles lesz, a tárgy többi pontja viszont életlen lesz a képsíkban, ezek képei ún. *szóródási körök* lesznek. Azonban a szóródási kör mérete befolyásolja, hogy az adott képet mennyire látjuk élesnek. Ha a szóródási körök nagysága egy adott mértéket nem ér el, akkor annak ellenére élesnek láthatjuk a képet, hogy az elmélet szerint nem is teljesen éles. **Mélységélességnek** nevezzük a tárgyternek azt a tartományát, amelyen belül elhelyezkedő tárgyról a keletkező képet élesnek látjuk. A mélységélesség tartománya magába foglalja az élesre állított tárgysíkot, és az annál valamivel távolabbi, illetve valamivel közelebbi távolságokat, melyekről a keletkező képet még élesnek látjuk annak ellenére, hogy ezek leképzése nem pontszerű a képsíkban. A mélységélesség tartománya távolabbra mindig nagyobb, mint az éles tárgysíknál közelebbre.

A szóródási körök mérete egyenesen arányos az apertúra rekesz méretével, vagyis minél kisebb a rekesz mérete, annál kisebbek lesznek a keletkező szóródási körök, vagyis annál élesebbnek látható a kép, és annál nagyobb lesz a mélységélesség tartománya. Az optikai eszköz mélységélessége annál nagyobb, minél nagyobb a tárgytávolság, minél kisebb a fókusztávolság, és minél kisebb az apertúra rekesz mérete, vagyis minél nagyobb a blendeszám.

Összegezve a rekeszekről eddig elmondottakat a rekesz méretének növelésével növekszik a fényerő és a felbontóképesség, de romlik a mélységélesség. Ezzel szemben a rekesz méretének csökkentésével csökken a fényerő és a felbontóképesség, de növekszik a mélységélesség. Mivel a mélységélesség és a felbontóképesség egy idejű javítása lehetetlen, ezért mindig ki kell választani, hogy az adott körülmények között melyik növelése a célszerűbb. Ha a felbontóképességet szeretnénk növelni, vagyis az éles kép optikai minőségét szeretnénk javítani, akkor ennek következtében a mélységélesség romlik, vagyis az élesség csak egy szűkebb tárgytávolság tartományban lesz érvényes. Ha a mélységélességet szeretnénk növelni, akkor az éles kép optikai minősége gyengébb lesz, azonban nagyobb tárgytávolság tartomány látszódik majd élesen a képen.

A rekeszek negyedik feladata egyes leképzési hibák csökkentése. Mivel a leképzési hibák a következő alfejezetben kerülnek megtárgyalásra, most csak összefoglalásként annyit, hogy rekesz segítségével legeredményesebben a szférikus aberráció, a kóma, és a képtorzítás

korrigálható. A szférikus aberráció és a kóma korrigálását az teszi lehetővé, hogy a rekesz nem engedi át a lencse szélén áthaladó, és leképzési hibát valójában okozó fénysugarakat. A képtorzítás mértékét pedig a rekesz megfelelő elhelyezésével csökkenthetjük.

Végül látótérnek nevezzük a tér azon részét, melyet az optikai eszközön keresztül egyidőben láthatunk. A valóságban a lencserendszeren nem haladhat át minden fénysugár, bizonyos tárgypontokról nem keletkezik kép a képsíkban. A rekeszek közül azt, amelyik a legszűkebb látóteret jelöli ki, amely egyben az optikai eszköz látótere is, *mezőrekesznek* nevezzük. A legtöbb optikai eszköz esetén az apertúra rekesz a lencserendszer belsejében helyezkedik el az eredő fősíkok környezetében, és ezáltal kevés befolyással van a látótér nagyságára. A mezőrekesz a gyakorlatban soha nem azonos az apertúra rekessel. A mezőrekesz szerepét általában valamelyik lencse széle, illetve a lencserendszer tokja tölti be, míg az emberi szem esetén a látóteret az arc különböző területei (orr, szemöldök, arccsontok, stb.) határozzák meg.

1.2.9. Leképzési hibák és hatásuk a képalkotásra

A tükrök és a lencsék képalkotását leegyszerűsítve tárgyaltuk végig a geometriai optikában, melyek segítségével egyszerű képleteket kaptunk, és amelyek viszonylag pontosan írják le a tükrök és lencsék optikai viselkedését. A valóságban azonban azt tapasztaljuk, hogy ezek nem teljesülnek maradéktalanul, és a keletkező kép részben élelten, torzult. A képalkotási hibák egy részét a gyártástechnológiára vezethetjük vissza. Előfordulhat, hogy a kívánt görbületi sugarat pontatlanul gyártják le, vagy a felületet nem megfelelően polírozzák fel, vagy az anyagban zárványok és buborékok keletkeznek, illetve a lencsetagokat rosszul illesztik össze az optikai eszköz összeszerelésekor, akkor ezek a hibák kihatnak a kép minőségére is.

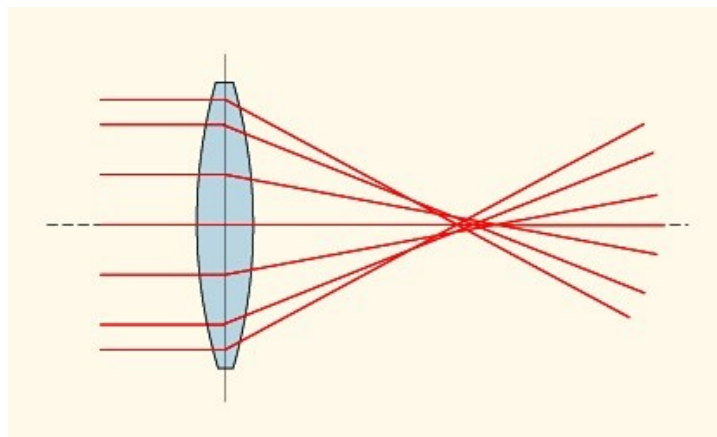
A képalkotási hibák másik csoportjába azok tartoznak, melyek az optikai eszköz geometriájából, a tárgy elhelyezkedéséből, vagy a fény elektromágneses jellemzőiből adódnak. Szorosabb értelemben csak ezeket tekintjük **leképzési hibáknak**, az előbb említett hibaforrásokat gyártási hibának nevezzük. Azok a leképzési hibák, melyeket az optikai eszköz geometriája, illetve tárgy elhelyezkedése hoz létre, mind a lencsére, mind pedig a tükrökre is jellemzőek. Ezzel szemben, a fény elektromágneses jellemzőiből adódó leképzési hiba csak a lencsére jellemző, hiszen a fény visszaverődését nem befolyásolja a hullámhossz, csak a fénytörésre van hatással a fény hullámhossza. Ebbe a csoportba egyedül a kromatikus aberráció tartozik.

A tükrök és a lencsék képalkotását azzal a megkötéssel tudtuk levezetni, hogy feltételeztük, hogy a fényvisszaverő, illetve a fénytörő felületre csak az optikai tengelyhez közeli, ún. paraxiális fénysugarak érkezik. Az optikai tengely közvetlen közelében haladó fénysugarak matematikailag könnyen kezelhetőek, a gyakorlatban jó minőségű képet hoznak létre, és a levezetett törvények általában rájuk érvényesülnek csak. Gondot azok a fénysugarak jelentik, amelyek az optikai tengelytől távolabb haladnak. Emellett gondot jelentenek azok a tárgyak is, melyek az optikai tengelytől távolabb helyezkednek el.

Szférikus aberrációról abban az esetben beszélünk, amikor a szférikus felszínre az optikai tengellyel párhuzamosan érkezik a fénysugarak. Egy gyűjtőlencse vagy egy homorú tükör elméletileg a végtelenből érkező párhuzamos fénysugarakat pontosan a fókuszpontba gyűjti össze. A valóságban azonban az optikai tengelytől távolabb érkező fénysugarak esetén már nem teljesülnek maradéktalanul az egyszerűsítéshez használt feltételek, ezért a lencse, illetve

a tükör széle környékén érkező fénysugarak már nem az ideális irányban haladnak tovább az optikai eszköz után a fókuszpont felé, hanem az ideálishoz képest jobban megtörnek, illetve visszaverődnek.

A szférikus aberráció nagyságának értelmezése érdekében megszerkesztjük az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugarak valóságos fénytörését, illetve visszaverődését, melyek ténylegesen metszik az optikai tengelyt. Az optikai tengellyel való metszéspontot a tengelyre merőlegesen felvetítjük a beérkező fénysugár magasságába. Az így kapott metszéspontok egy görbét hoznak létre, mely görbe az adott lencsére, illetve tükrökre jellemző, és a *szférikus aberráció görbéjének* nevezzük. Abban az esetben, ha a görbe a lencse, illetve a tükör felé hajlik, akkor a lencsét, illetve tükröt *alulkorrigáltak* nevezzük, és általában ez jellemző a gyűjtőlencsékre, illetve a homorú tükrökre. Ha a görbe a lencsétől, illetve a tükrőtől hajlik, akkor a lencsét, illetve tükröt *túlkorrigáltak* nevezzük, és általában ez jellemző a szórólencsékre, illetve a domború tükrökre.



10. ábra. A szférikus aberráció.⁹

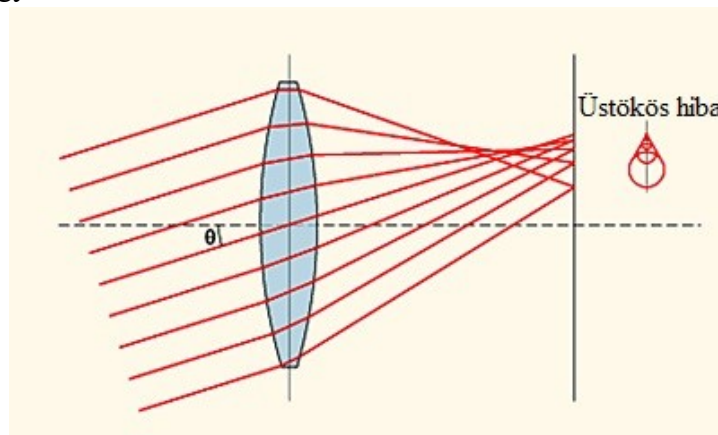
A szférikus aberrációt legegyszerűbben úgy csökkenthetjük, hogy a problémát okozó, vagyis a lencse, illetve a tükör szélén haladó fénysugarakat kizárjuk a képalkotásból, melyet rekeszek alkalmazásával valósíthatunk meg. Abban az esetben is csökkenthetjük a szférikus aberráció mértékét, ha mesterségesen lecsökkentjük a lencse, illetve a tükör széle felé haladva a törőerő nagyságát, melyet aszférikus felületek alkalmazásával érhetünk el. Figyelembe véve, hogy a gyűjtőlencsék alulkorrigáltak, a szórólencsék pedig túlkorrigáltak lencserendszerek esetén a szférikus aberráció jól csökkenthető a lencsetagok tervezett megválasztásával, azonban ez csak a lencsék esetén valósítható meg. Ha egy gyűjtőlencse és egy szórólencse segítségével lencserendszert hozunk létre, és a két lencse aberráció görbéje pontosan kioltja egymást, akkor a lencserendszernek nem lesz szférikus aberrációja. További gyakorlati tapasztalat, hogy szférikus lencsénél a hiba lecsökken, ha a görbületi sugarak aránya 1:6 bikonvex lencsék esetén.

Speciális területeken alkalmazhatunk az adott célnak leginkább megfelelő, de máshol nem alkalmazható lencseformákat is. Az írásvetítőknél használt Fresnel-lencse körgyűrűszerűen elhelyezkedő prizmákból áll, melyek törőszöge úgy van meghatározva, hogy a fókuszpontból kiinduló fénysugarakat tökéletesen az optikai tengellyel párhuzamosan törje meg a teljes felületén. Optikai rendszerek tervezésénél felismerték azt, hogy amennyiben megfelelően

⁹ https://www.l-camera-forum.com/leica-wiki.de/index.php/Datei:Sphaerische_Aberration.png

tervezik meg a lencserendszert, akkor a tárgytérben lesznek olyan pontok, melyeket nagy átmérőjű lencsék esetén is élesen képez le az optikai eszköz. Az ilyen pontokat *aplanatikus* pontoknak nevezzük. Mikroszkópok esetén nagyon éles képet kell létrehozni a tárgyhöz képest nagyméretű lencsékkel, amely csak olyan rendszerek esetén teljesíthető, ahol a lencsetagok nem mozdulhatnak el egymáshoz képest. A mikroszkópok csak egyetlen tárgytávolság mellett adnak éles képet, és nem a fókusz távolságot kell szabályozni, hanem a tárgyat kell a megfelelő helyre mozgatni.

Ha a párhuzamos fénysugarak nem az optikai tengellyel párhuzamosan érkeznek, hanem azzal valamilyen szöget bezárva, akkor ún. kóma keletkezik. Kóma esetén a megtört, illetve a visszavert fénysugarak nem egy pontban metszik a fókusz síkot. Leglátványosabban egy céltáblaszerű tárgy mutatható be a torzítás. Az optikai tengelytől távolabb és ferdén elhelyezkedő céltábláról egy egymáshoz képest elcsúszott és a körszerűséget is eltorzító kép keletkezik, mely egy üstököshöz hasonlít. Ezért üstökös hibának is nevezzük a kómát.



11. ábra. A kóma jelensége.¹⁰

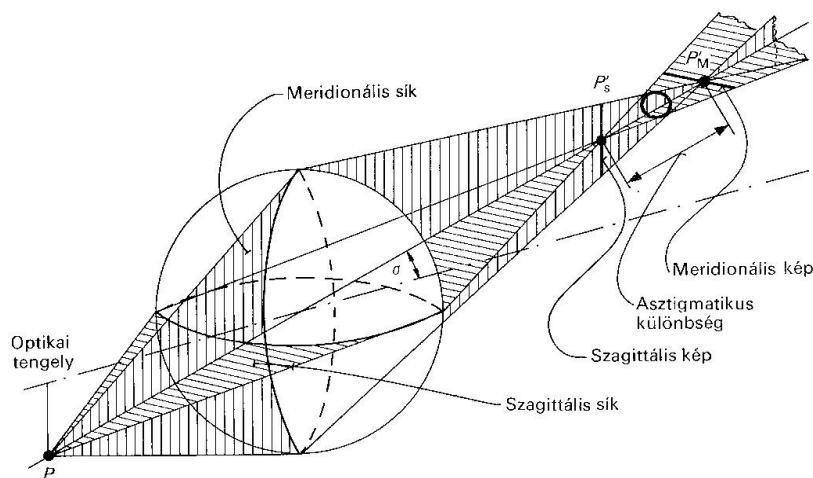
A kóma legegyszerűbb korrigálása rekesz alkalmazásával történhet, és annál kisebb az üstökös hiba mértéke, minél szűkebb a rekesz mérete. Gyakorlati tapasztalat, hogy az üstökös hiba sikeresen csökkenthető lencsék esetén akkor, ha jól választjuk meg a felületek kombinációját. Ilyen lehetőség a szférikus aberrációnál említett megoldás, amikor bikonvex lencsék két görbületi sugarának az aránya 1:6.

Az asztigmatizmus, vagy más néven asztigmia az optikai tengelytől távolabb lévő tárgy pontok esetén valósul meg, és minél messzebb vagyunk az optikai tengelytől, annál nagyobb lesz a torzítás mértéke. Az asztigmatizmus a lencse és a tükör szférikus alakjából következik. Nem szabad azonban összekeverni ezt a szem asztigmatikus leképezésével, ami például a tórikus felületű szaruhártya, illetve szemlencse kicsit ferde elhelyezkedése miatt jön létre. A leképzési hibáknál csak a lencsék és a tükrök saját asztigmatizmusáról beszélhetünk, mely még teljesen szférikus felület esetén is létrejön.

Az optikai tengelytől távol elhelyezkedő tárgy pont esetén a fősugár – mely az adott tárgy pontból kiindulva a fókuszpontra halad keresztül – két egymásra merőleges síkot jelöl ki a lencse, illetve a tükör területén. Meridionális síknak nevezzük azt a síkot, melyet az optikai

¹⁰ <https://www.l-camera-forum.com/leica-wiki.de/index.php/Datei:Koma-Optik.png>

tengely és a fősugár jelöl ki. Legegyszerűbben ez úgy érthető meg, hogy a meridionális sík mindig a rajz síkja. Szagittális síknak nevezzük azt a síkot, mely tartalmazza a fősugarat, azonban merőleges a meridionális síkra. A két síkban eltérőek a görbületi sugarak. A meridionális görbületi sugár egyenlő a szférikus felület sugarával, azonban a szagittális görbületi sugár ennél kisebb lesz. Minél távolabb van a tárgy pont az optikai tengelytől, annál kisebb lesz a szagittális síkban a görbületi sugár. Mivel a két síkban eltérőek a görbületi sugarak, ezért eltérőek lesz a törőerő értéke, és ezen keresztül a képalkotás is. A meridionális és a szagittális kép egy-egy egyenes szakasz lesz, és a szakaszok merőlegesek lesznek a saját síkjukra. A meridionális kép egy szagittális síkban fekvő szakasz lesz, illetve a szagittális kép egy meridionális síkban fekvő szakasz lesz. Az eredő kép mindig a meridionális és a szagittális kép között keletkezik félúton, és a kép nem körszerűen torzul. Az ellipszishez hasonlító képformát *Sturm-féle konoidnak* nevezzük.



12. ábra. Az asztigmatizmus által okozott leképzési hiba.¹¹

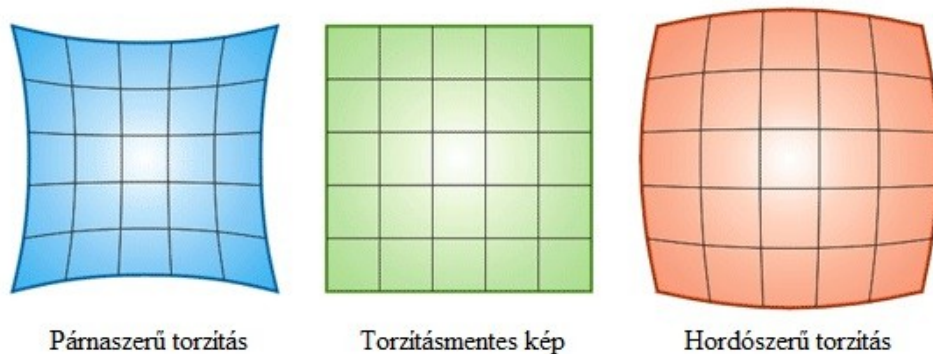
Az emberi szemnek a leképzési hibák közül leginkább az asztigmatizmus okoz gondot. Mivel a meridionális és a szagittális torzulás egymástól eltérő, ezért a szem nem tudja egyidőben korrigálni a két síkot. A gyakorlatban a szemüveglencsék esetén a megfelelő lencseformával korrigálható ki a lencse saját asztigmatizmusa. Erre a legalkalmasabb az a lencsetípus, melynél az első lencsefelület konvex, a hátsó pedig konkáv, és emellett még a két felület görbületi sugarainak arányát is megfelelően választják meg.

Képzőhajlást az optikai rendszerhez képest nagyméretű tárgyak hoznak létre. A képzőhajlás azért jön létre, mert a tárgy egyes pontjai eltérő távolságra vannak a főtől. Minél távolabb van egy tárgy pont, annál kisebb lesz a keletkező képpont képtávolsága. Emiatt egy az optikai tengelyre merőleges egyenes tárgy képe elhajlik. Gyűjtőlencse és homorú tükör esetén a kép a lencse vagy a tükör felé hajlik. Szórólencse és domború tükör esetén pontosan az ellentétes irányba hajlik a kép. A leképzési hibát lencsék esetén egy gyűjtőlencse és egy szórólencse kombinálásával lehet csökkenteni.

A rekeszek elhelyezkedése is okozhat leképzési hibát, melyet képtorzításnak nevezünk. A

¹¹ Rózsa Sándor: Fizikai és geometriai optika, 1980, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

képtorzítás azért következik be, mert a rekesz nem ugyanazon a lencseterületen engedi át a különböző tárgypontról kiinduló fénysugarakat. Az eltérő tárgy- és képtávolságok eltérő nagyítási viszonyokat teremtenek az egyes tárgypontról esetén. Ha a rekesz a lencse előtt helyezkedik el, akkor a kép hordószerűen torzul, mert az optikai tengelynél lesz a legnagyobb a nagyítás mértéke. Ha a rekesz a lencse mögött helyezkedik el, akkor a kép párnaszerűen torzul, mert az optikai tengelynél lesz a legkisebb a nagyítás mértéke. Ha a rekeszt a lencsetagok között helyezzük el, akkor a kétfajta torzító hatás kioltja egymást, így végeredményben torzításmentes képet kapunk. A képtorzítás a rekesz megfelelő elhelyezésével korrigálható.



13. ábra. A képtorzítás esetei.¹²

A kromatikus aberráció, ahogyan a neve is mutatja, a fénytörés során létrejövő színbontás miatt jön létre. A leképzési hibák közül ez az egyetlen, amelyik a tükrökre nem jellemző, mivel a tükrök esetén nincs fénytörés, és ezáltal nincs színbontás sem. A prizmánál ismertetett okok miatt az összetett fény a fénytörés során elemeire bomlik. A színbontás eredményeként egy fehér színű tárgyról a spektrum színeinek megfelelően hat különböző színű (ibolya, kék, zöld, sárga, narancs és vörös) és méretű kép keletkezik, hat egymástól eltérő helyen. Legjobban az ibolya színű fény törik meg, míg legkevésbé a vörös színű.

A kromatikus aberrációt akromatizálással korrigálhatjuk ki. Ennek érdekében különböző Abbe-számú gyűjtő- és szórólencséből lencserendszert hozunk létre, mely a gyakorlatban egy koronaüvegből készült gyűjtőlencséből, és egy flintüvegből készült szórólencséből áll. Ha a két lencse színbontása azonos nagyságú, de ellentétes a másikkal, akkor az ellentétes színbontások kioltják egymást. A valóságban az adott feltétel nem teljesíthető maradéktalanul minden színre egy időben. A két színre korrigált lencserendszert *akromátnak*, a három színre korrigált lencserendszert *apokromátnak* nevezzük. Az apokromát lencserendszereket a három alapszínre: a vörösre, a zöldre és a kékre korrigálják ki.

1.3. A fizikai optika

A fizikai optika a fény hullámtermészetével és részecsketermészetével írja le, és magyarázza a fényjelenségeket. A fényjelenségek jelentős része a fény hullámtermészetéből adódik, de ennek ellenére a hagyományoknak megfelelően és célszerűségekből a geometriai optikában tárgyaltuk az egyszerűbb fényjelenségeket. A fizikai optika általában az olyan jelenségeket

¹² <https://www.univie.ac.at/video/camcorder/verzeichnung.htm>

mutatja be, melyek nem írhatóak le a geometriai optika eszközeivel. Ez főleg abból adódik, hogy a hullámok speciális jellemzőit a hullámhossz nagyságrendjében tudjuk értelmezni, vagyis fény esetén μm alatti méretekben kell gondolkodni. A fizikai optika által tárgyalt jelenségek jelentős részét a Huygens-Fresnel-elv segítségével lehet bizonyítani, azonban még ez sem ad pontos képet a fény terjedési sajátosságairól, illetve a keletkezéséről és elnyelődéséről. A fény terjedésével kapcsolatos kérdéseket James Clerk Maxwell (1831-1879) tisztázta elektromágneses hullám elméletével. Az elektromágneses hullámok transzverzális hullámok, vagyis a foton rezgése merőleges a hullám terjedési irányára.

Hullámnak nevezzük azt a fizikai jelenséget, amikor térben és időben energia terjed. Ha nagyon egyszerűen szeretnénk a fény hullámtermészetét bizonyítani, akkor csak annyit kell mondanunk, hogy a fény térben és időben terjed, és emellett energiát is szállít, vagyis hullámjelenség. A hullám térbeli és időbeli terjedése nem független egymástól, közöttük szoros kapcsolat van. Időben vizsgálva a hullámot, egy teljes periódust a periódusidő alatt tesz meg, térben vizsgálva pedig ezalatt az idő alatt egy hullámhossznyi utat tesz meg. Mivel a sebességet a megtett út, és az ezalatt eltelt idő hányadosával határozzuk meg, ezért a hullám sebessége képlettel kifejezve:

$$v = \lambda / T = \lambda \cdot \nu.$$

A képletnek megfelelően a fényhullámok esetén elmondható, hogy a fény terjedési sebesség egyenlő a fény frekvenciájának és hullámhosszának a szorzatával.

1.3.1. Fényinterferencia jelensége

A hullámtani megközelítésnek megfelelően az interferencia hullámok találkozásakor valósul meg. Általánosnak mondható szabály, hogy az interferencia végeredménye egy olyan hullám lesz, melynek pillanatnyi kitérését az egyes kitérések előjeles összege határozza meg. Abban az esetben, ha a hullámok kitérése azonos értelmű, akkor az egyes kitérések növelni fogják egymást, ilyenkor azt mondjuk, hogy a hullámok erősítik egymást. Abban az esetben, ha a hullámok ellentétes értelműek, akkor az egyes kitérések csökkenteni fogják egymást, ilyenkor a hullámok gyengítik egymást.

Az interferencia speciális esete, ha a találkozó hullámok azonos síkban rezegnek, és emellett azonos a hullámhosszúságuk, illetve azonos a kezdő fázisuk. Az ilyen találkozó hullámokat **koherens hullámoknak** nevezzük. Koherens hullámok interferenciája során két speciális esetet különböztethetünk meg, a teljes kioltás esetét és a teljes erősítés esetét. Teljes kioltásról akkor beszélhetünk, ha azonos amplitúdójú koherens hullámok találkoznak ellentétes fázisban. Ilyen esetben az eredő hullám energiája 0 lesz minden időpillanatban. A teljes kioltás geometriai feltétele a következő: teljes kioltás akkor jön létre, ha a találkozó azonos amplitúdójú, koherens hullámok úthossz különbsége egyenlő a *félhullámhossz páratlan számú többszörösével*. Teljes erősítésről akkor beszélhetünk, ha koherens hullámok találkoznak azonos fázisban. Ebben az esetben nincs szükség az azonos amplitúdó feltételére, mert a két hullám eltérő amplitúdó mellett is teljes mértékben erősíti egymást. Teljes erősítésnek azt nevezzük, amikor az eredő kitérés minden időpillanatban a két erősítés összege lesz. Ebben az esetben a hullámok energiája összeadódik. A teljes erősítés geometriai

feltétele a következő: teljes erősítés akkor jön létre, ha a találkozó koherens hullámok úthossz különbsége egyenlő a *félhullámhossz páros számú többszörösével*.

A hétköznapi életben ritkán találkozunk a teljes kioltás és a teljes erősítés jelenségével fényhullámok esetén, mert a fény esetén nehezen teljesíthető a koherencia feltétele. Ennek okát a fényforrások fénykibocsátásában kereshetjük, mivel a legtöbb fényforrás gerjesztett atomjai spontán módon bocsátják ki a fényhullámokat.

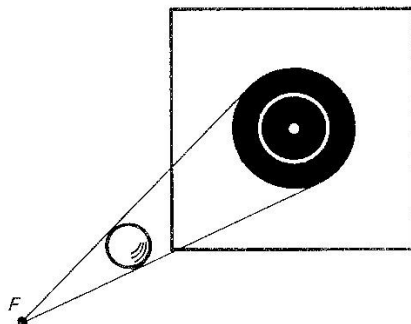
A fényinterferenciát a szemüvegoptikában a reflexiócsökkentő rétegeknél használjuk fel, melyről részletesebben lesz szó az Optikai cikkek anyag- és áruismerete című fejezetben. Optikai szempontból, ha egy fénytörő felületre, mint például a szemüveglencsére, megfelelő vastagságú és alapanyagú ún. vékonyréteget viszünk fel, akkor elérhető, hogy a réteg felületéről és a lencse-réteg határáról visszaverődő fényhullámok koherensek maradjanak, és kioltásák egymást, csökkentve ezáltal a lencsefelületről visszaverődő fény mennyiségét, és megnövelve ezáltal a lencsén áthaladó fény mennyiségét.

Fényinterferencia segítségével ellenőrizhetőek a gyártás során az optikai lencsék, illetve távolságokat és alakpontosságot mérhetünk vele. Az ellenőrzéshez szükségünk van egy etalon felületre, mely például a kívánt görbületi sugarat tartalmazza. Ha a lencse pontatlan, akkor a két lencse között változó vastagságú levegőréteg jön létre. A lencse és a levegő határán visszaverődő fényhullámok interferálni fognak egymással, és a hiba fajtájának és méretének megfelelő interferenciakép jön létre. A keletkező köröket *Newton-gyűrűknek* nevezzük.

1.3.2. A fényelhajlás jelensége

A geometriai optika alaptörvénye a fény egyenes vonalú terjedése, mely a Fermat-elvből következik homogén közegben. A tudomány fejlődésével azonban kiderült, hogy amennyiben a fényhullámokat a saját hullámhossz tartományukban vizsgáljuk, akkor ez nem mindig igaz. Fényelhajlásnak nevezzük azt a jelenséget, amikor a fény eltér az egyenes vonalú terjedéstől anélkül, hogy közeget váltana. Fényelhajlást legegyszerűbben olyan kisméretű tárgyak és rések esetén tudunk létrehozni, melyek mérete a fény hullámhossz tartományába esik, vagyis μm , illetve annál kisebb méretűek. A Huygens-Fresnel-elv értelmében a tárgy vagy rés szélső pontjaiból elemi hullámok indulnak ki, melyek kis méret esetén koherensek maradnak.

A tárgy vagy rés mögött az árnyéktérben az elemi hullámok interferenciája határozza meg a keletkező képet. Kisméretű tárgy esetén az árnyéktér közepén, ahol a legsötétebbnek kellene lennie az árnyéknak, egy világos foltot kapunk, amit *Poisson-féle foltnak* nevezzük, és ami körül egymást váltó sötét és világos koncentrikus körgyűrűk keletkeznek.



14. ábra. A Poisson-féle folt.¹³

Hasonló a helyzet a kisméretű rések esetén is. Az ernyő közepén, ahol a pontszerű fényforrás fénye akadálytalanul halad át a résen világos foltot kapunk, amit *direkt résképnek* nevezünk. Az árnyéktérben, aminek sötétnek kellene lennie, világos és sötét tartományok váltják egymást. Egy adott iránynak a direkt réskép irányával bezárt szögét jelöljük α -val. Az optikai rés törvénye: egyetlen rés teljes kioltást hoz létre az α szögben, ha erre teljesül a:

$$\sin \alpha = k \cdot \lambda / a$$

feltétel, illetve az α szögben teljes erősítést kapunk, ha teljesül a:

$$\sin \alpha = (k+1/2) \cdot \lambda / a,$$

feltétel, ahol k tetszőleges egész szám, λ a fény hullámhossza, illetve a az optikai rés mérete.

1.3.3. A fény polarizációja

A természetes és a legtöbb mesterséges fényforrás rendezetlen síkban rezgő hullámokat bocsát ki különböző hullámhosszúságokban. Az emberi szem érzékelését nem befolyásolja a fény rezgési síkja, így ezzel nagyon sokáig nem is foglalkozott az optika. Az olyan sugárnyalábokat, melyekben az egyes fényhullámok rezgési síkja egymással párhuzamos *poláros* sugárnyaláboknak nevezzük. Azt a síkot, amelyik egyben a poláros sugárnyaláb rezgési síkja is, *polarizációs síknak* nevezzük. Poláros fény esetén minden egyes fényhullám az adott polarizációs síkban rezeg. A gyakorlati felhasználások során legtöbbször nem is egy, hanem mindjárt két polarizátort alkalmazunk. Ennek oka az, hogy a második polarizátor, melyet analizátornak is neveznek, polarizációs síkjának állásával szabályozni lehet az áthaladó fény mennyiségét. Abban az esetben, ha a két polarizátor polarizációs síkja párhuzamos egymással, akkor az analizátor teljes mértékig átterszi a poláros fényt. Abban az esetben, ha a két polarizátor polarizációs síkja merőleges egymásra, akkor az analizátor egyáltalán nem enged át fényt, mert teljesen kioltja a rá eső poláros fényt.

Polárszűrőt leggyakrabban polivinil-alkohol molekulákat megnyújtásával lehet készíteni a hosszú láncmolekulák megfeszítésével, és ilyenkor a molekulákkal párhuzamos rezgési síkú fényhullámokat ereszti át a szűrő. A polarizált szemüveglencse kiszűri a felületi csillogásokat. Mivel a vízszintes felületekről vízszintesen polarizált fényhullámok verődnek vissza, ezért függőleges polarizációs síkú szemüveglencsékkel ezek a felületi visszaverődések, csillogások kiszűrhetőek, a zavaró felületi csillogó hatásuk megszüntethető. A poláros fény gyakorlati felhasználása emellett számos lehetőséget biztosít például a kvarcóra működésétől kezdve egészen a folyadékok sűrűségének a méréséig. Az optikus gyakorlatban a polarizáció alkalmazható még a szemüvegtészítés során keletkező káros hő és mechanikai feszültségek megjelenítésére. A feszültségek polarizálónak teszik a lencsék anyagát a feszültség helyén, melyet egy polarizátoron és egy analizátoron keresztül láthatóvá tehetünk.

¹³ Rózsa Sándor: Fizikai és geometriai optika, 1980, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

Az optikai iparban további fontos lehetősége a poláros fény alkalmazásának a binokuláris látásvizsgálatok területe. A polarizált fény alkalmas arra, hogy a szemvizsgálatok során mesterségesen elkülöníthessük egymástól a vizsgáló jelek bizonyos részeit a jobb és a bal szem előtt. Az elkülöníthetőség azon alapul, hogy amennyiben maga a vizsgáló jel polarizált, akkor a jel polarizációs síkjára merőlegesen polarizált szűrővel kiszűrhetjük azt. Ennek megfelelően az ábrát két részre kell bontani, és a két különálló, általában egymásra merőleges részt úgy kell polarizálni, hogy polarizációs síkjaik merőlegesek legyenek egymásra. Ha a páciens szemei elé olyan polárszűrőket teszünk, melyek polarizációs síkja egymásra szintén merőleges és ugyanabba a síkba esnek, mint az ábra polarizációs síkjai, akkor az egyik szem csak az ábra egyik részét látja, míg a másik szem csak az ábra másik részét. Amennyiben egy időben képes a páciens érzékelni a két szemmel külön-külön látott tárgyat, akkor a páciensnek van binokuláris látása. A vizsgálati ábrák úgy vannak kialakítva, hogy egyrészt a binokuláris látás mindhárom szintjét (szimultán percepció, fúzió, és térérzékelés) vizsgálhatjuk vele, illetve másrészt az esetleges eltérések típusát és nagyságát is mérhetjük vele, és adott esetben prizmatikus korrekciót is meghatározhatunk a binokuláris zavarok megszüntetésére.

1.4. Fotometria

Fotometriának nevezzük a fény energiájának olyan típusú mérését, melynek során figyelembe vesszük az emberi szem színérzékenységet, melyet a megvilágítási viszonyok is befolyásolnak. Nappali, természetes fényviszonyok között az 555 nm-es zöldes-sárga fényre vagyunk a legérzékenyebbek, itt adja a szem a teljesítményének maximumát. Éjszaka ezzel szemben az érzékenység maximuma eltolódik a kék szín felé, és 507 nm-nél maximális a teljesítménye, ami azonban sokkal alacsonyabb, mint nappali fényviszonyok között. Így látásunk a legjobb teljesítményre a nappali fényviszonyok között képes.

A fotometria alapegysége a **fényerősség** (jele: I), melyet egy etalon fényforrással határozunk meg az eredeti definíció szerint: *1 kandela (1 cd) az a fényerősség, melyet egy fekete test bocsájt ki normál légköri nyomáson, a platina dermedési hőmérsékletén (2042 K), 1/60-ad cm² felületre merőlegesen.* A mértékegység elnevezése a gyertya szóból származik, mivel ennek a fényerőssége felel meg nagyjából a fizikai definíciónak. 1979-ben egy újabb definíciót fogadtak el, mely szerint *1 kandela annak a fényforrásnak a fényerőssége, amely 540·10¹² hertz frekvenciájú monokromatikus sugárzást bocsájt ki, és a fénysugár erőssége 1/683 W/szteradián egy adott irányban.*

Fényáramnak (jele: Φ) nevezzük a másodpercenként kisugárzott fénymennyiséget. Más oldalról megközelítve a *fényáram a térszögenként kibocsájtott fényerősséggel egyenlő.* A térszög (jele: ω) egysége az 1 szteradián. 1 szteradián az a térszög, mely egy r sugarú gömbben r² nagyságú felületet metsz ki a gömbből. A fényáram mértékegysége a lumen (lm). 1 lm az a fényáram, melyet egy 1 cd fényerősségű fényforrás bocsájt ki 1 szteradián térszögben. Képlettel kifejezve:

$$\Phi = I \cdot \omega.$$

Megvilágítási erősségnek (jele: E) nevezzük az egységnyi felületre eső fénnyáram nagyságát. A megvilágítási erősség az előző két jellemzővel szemben a fényvisszaverő felületeket jellemzi, és nem a fényforrásokat. Képlettel kifejezve:

$$E = \Phi / A,$$

ahol A az adott felület nagysága. A megvilágítási erősség mértékegysége az 1 lux (1 lx), amely a képlet alapján egyenlő az 1 m²-re jutó 1 lm-nyi fénnyárammal: 1 lx = 1 lm / 1 m².

Fénysűrűségnek (jele: L) nevezzük az egységnyi felületre eső fényerősség nagyságát. A fénysűrűség segítségével mind a fényforrások, mind pedig a fényvisszaverő felületek jellemezhetőek, azonban a fényvisszaverő felületek fénysűrűsége nagyságrendekkel kisebb érték, mint a fényforrások fénysűrűsége. Képlettel kifejezve:

$$L = I / A.$$

A fénysűrűség mértékegysége az 1 cd/m², amit 1 nit-nek is neveznek. Régebben alkalmazták az 1 cd/cm², amit 1 stilb-nek is neveztek. A kettő közötti összefüggés az eltérő felületegység miatt: 1 stilb = 10 000 nit.

1.5. Mintafeladatok

Határozza meg a képtávolságot, a képnagyságot, és a lineáris nagyítás mértékét egy 10 dioptriás szórólencse esetén, amennyiben a 6 cm nagyságú tárgy 20 cm-re van a lencsétől! A kapott eredmények alapján határozza meg a keletkező kép jellemzőit!

Megoldás: (a törőerő miatt a távolságok méterben számítandóak)

A feladatban szereplő adatok felírása:

$$D = -10$$

$$t = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

$$T = 6 \text{ cm}$$

Fókusz távolság:

$$f = 1 / D, \text{ vagyis } f = 1 / (-10) = -0,1 \text{ m}$$

Leképzési törvény:

$1 / f = 1 / k + 1 / t$, átrendezve a leképzési törvényt $1 / k = 1 / f - 1 / t$, azaz $1 / k = 1 / (-0,1 \text{ m}) - 1 / 0,2 \text{ m} = -15$, melyből $k = 1 / -15 = -0,0667 \text{ m} = -6,67 \text{ cm}$. A kép virtuális, mivel a képtávolság előjele negatív.

Lineáris nagyítás:

$N = k / t = K / T$, azaz $N = -6,67 \text{ cm} / 20 \text{ cm} = -0,33$. A kép kicsinyített, mivel a lineáris nagyítás értéke egynél kisebb.

$$K = N * T, \text{ azaz } K = -0,33 * 6 \text{ cm} = -2 \text{ cm}.$$

Egy vastag lencse első felületének görbületi sugara 40 cm, hátsó felületének görbületi sugara 10 cm, optikai tengelyen mért vastagsága 1,2 mm, és anyagának törésmutatója 1,5. Az első

felület domború, a hátsó felület homorú. A lencse levegőben helyezkedik el. Határozza meg a lencse felületi dioptriáit, össztörőerejét, és fókusz távolságát, illetve azt, hogy gyűjtő, vagy szóró hatású-e a lencse!

Megoldás: (a törőerő miatt minden csak méterben számítható)

A feladatban szereplő adatok felírása:

$$r_1 = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$$

$$r_2 = -10 \text{ cm} = -0,1 \text{ m}$$

$$e = 1,2 \text{ mm} = 0,0012 \text{ m}$$

$$n = 1,5$$

Felületi dioptriák:

$$D_1 = (n - 1) / r_1, \text{ azaz } D_1 = (1,5 - 1) / 0,4 \text{ m} = +1,25 \text{ dioptria}$$

$$D_2 = (n - 1) / r_2, \text{ azaz } D_2 = (1,5 - 1) / -0,1 \text{ m} = -5 \text{ dioptria}$$

Össztörőerő:

$$D = D_1 + D_2 - e / n * D_1 * D_2, \text{ azaz } D = +1,25 + (-5) - 0,0012 \text{ m} / 1,5 * 1,25 * (-5) = -3,75 \text{ dioptria}, \text{ a lencse szórólencse, mivel a törőerő előjele negatív.}$$

Fókusz távolság:

$$f = 1 / D, \text{ azaz } f = 1 / (-3,75) = -0,2667 \text{ m} = -26,67 \text{ cm}$$

2. Szemészeti alapismeretek és fiziológiai optika

2.1. Szemészeti alapismeretek

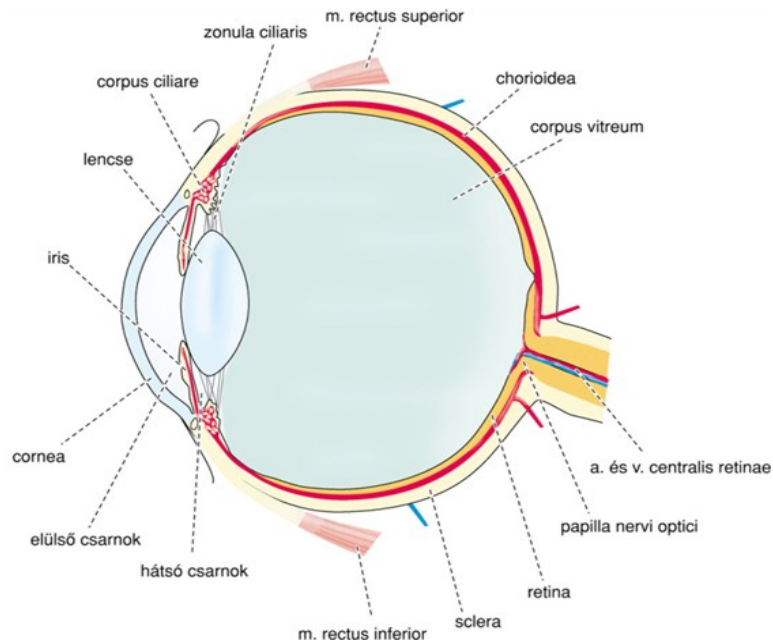
2.1.1. Az emberi szem egyes részeinek felépítése és működése

Az emberi szem szoros kapcsolatban áll az aggyal, lényegében annak előre helyezett része. A látószervet a szemgolyó, valamint annak mozgató és védőszervei a szemmozgató izmok, a szemgödör, a szemhéjak és a könnyszervek alkotják. A szemgolyó páros szerv. A szemgolyó a szemgödörben helyezkedik el, kisebb része előre boltosul, és szabadon áll. A szemgödörön kívül eső részt a kötőhártya, a szemhéj és a könnyszervek védik.

A szemgödör (orbita)

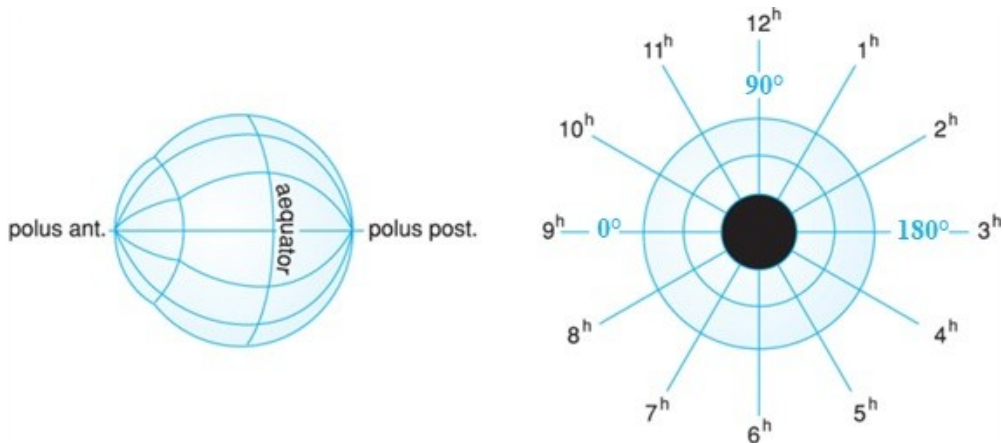
Felépítésében a koponya csontjai vesznek részt, méretének csak egy részét tölti ki a szemgolyó, a többi részen erek, idegek, és a kipárnázást szolgáló szemgödri zsírtest található. Fala több helyen átfűrt a rajta áthaladó erek és idegek miatt. Hátsó pólusán lép ki a látóideg, és lép be a szem artériája az egyetlen olyan artéria, amely a koponyaúrt elhagyja, és táplálja a szemgolyó elülső részét. Külső, felső része kiöblösödik, és helyet ad a könnymirigynek. Feladata a szemgolyó mechanikai sérülésektől való védelme és felfüggesztése.

A szemgolyó (bulbus oculi)



15. ábra. A szemgolyó felépítése.¹⁴

A szemgolyó átlagosan 24 mm átmérőjű, gömb alakú, 3 rétegből álló szervünk. Külső rostos rétegét a szaruhártya (cornea) és az ínhártya (sclera) alkotja. A középső rétege az eres burok, melynek részei a szivárványhártya (iris), a sugártest (corpus ciliare), és az érthártya (chorioidea). A belső burkot az ideghártya alkotja (retina). A szem belsejében található a szemlencse (lens crystallina) és az üvegtest (corpus vitreum).



16. ábra. Tájékozódás a szemgolyón.¹⁵

A szaruhártya (cornea)

Átlátszó, az ínhártyába óraüvegszerűen illeszkedő 5 rétegből álló töröközeg. Erősebben görbült, mint az ínhártya, így az illeszkedés helyénél egy vékony árok a limbus található. Átmérője 10-12 mm, görbületi sugara átlagosan 7,8 mm, vastagsága a centrumban kb. 0,5

¹⁴ Dr. Süveges Ildikó: Szemészet, 2010, Medicina Könyvkiadó Zrt.

¹⁵ Dr. Süveges Ildikó: Szemészet 2010, Medicina Könyvkiadó Zrt.

mm. Törőereje 43 D.

Rétegei kívülről befelé haladva:

- több rétegű el nem szarusodó laphám,
- Bowmann-hártya (elülső határhártya),
- rostos állomány (stroma),
- Descemet-membrán (hátsó határhártya),
- endothel sejtsor.

Átlátszóságát és a felszínének a simaságát a könnyfilm biztosítja, amit a pislogás oszlat szét. Ennek hiányában a hám hamar kiszárad, csillogását elveszíti, és le is válhat. Az elülső határhártya finom kollagén rostokból áll. A rostos állomány a szaruhártya legvastagabb rétege, a teljes vastagság kb. 90 %-a, rostjai kötegezettek, közöttük helyezkednek el a szaruhártya nyúlványos sejtjei. A hátsó határhártya lezárja a rostos állományt, végül ezt egy egyrétegű, hatszögletű sejtsor védi. Ép viszonyok között a szaruhártya vér-, és nyirokereket nem tartalmaz, viszont gazdag idegvégződésekben (szaruhártya reflex). Táplálása diffúzió útján a kötőhártya és az ínhártya erein keresztül történik, de a könnyfilmből is képes oxigént felvenni.

Az ínhártya (sclera)

A külső burok legnagyobb részét, a szem fehérjét alkotja. Főleg kollagén rostokból áll. Legvastagabb része a látóideg belépési helyénél található, míg legvékonyabb része a szegély közepén a látóideg hűvelével. Feladata a szegély belső rétegeinek összetartása, a szegély formájának és védelmének biztosítása, valamint ezen tapadnak a szemmozgató izmok.

A szivárványhártya (iris)

A szaruhártyán keresztül látható a szem színét adó szivárványhártya, melynek a közepén levő lyuk a pupilla. Felépítését tekintve egy lapos, puha lemez, amely a szaruhártya és a szemlencse között foglal helyet, és a csarnokot elülső illetve hátsó részre osztja. Feladata a szembe jutó fény mennyiségének szabályozása (rekeszelés), a szem színének biztosítása (pigmentek), valamint az ideghártya árnyékolása. Külső szélén összefügg a sugártesttel, a limbus belső oldalánál az irisgyökknél van hozzá felfüggesztve.

4 rétegből áll:

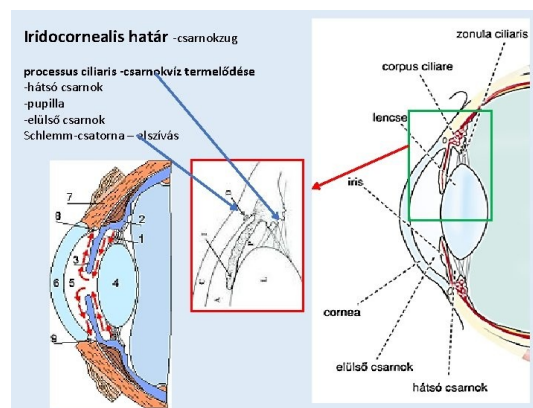
- endothel sejtek rétege,
- stroma (váz),
- pupilla tágító izom nyúlványai,
- kettős pigmenthám réteg.

Az iris vázában található pigment mennyisége határozza meg a szem színét, minél több pigment van benne, annál sötétebb a szem. A pupilláris szélén található a körkörös elhelyezkedő pupillaszűkítő izom, ezért ez a része kissé megvastagodott. A felszíne erősen redőzött. A pupilla tágító izom sugár irányú nyúlványai akaratunktól függetlenül működnek.

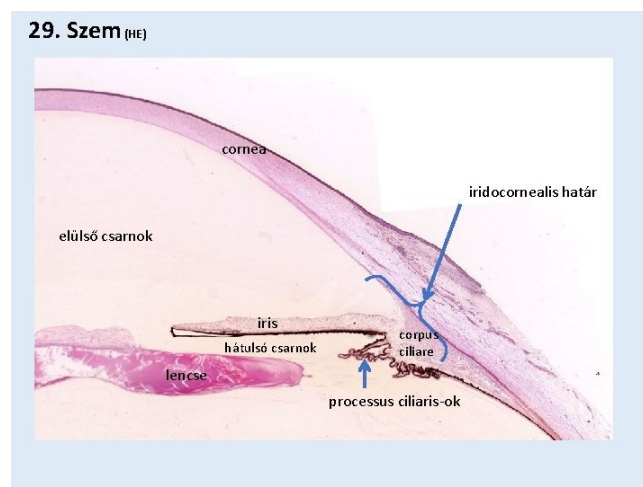
A sugártest (corpus ciliare)

A szivárványhártya folytatásaként helyezkedik el. Elülső részét a sugárizom alkotja, melynek feladata a szem alkalmazkodásának szabályozása. A sugártest belső részén tapadnak a lencsefüggesztő (zonula) rostok, amelyek a szemlencsét kifeszítve tartják. A hátsó csarnok felőli részén a sugártesti nyúlványok találhatóak, amelyekben a csarnokvíz termelődik. A sugártest felülről az ínhártyával áll laza összeköttetésben, belső része pedig az érhártyába képez átmenetet, a szemgolyó belseje felé eső részét az irishez hasonlóan kétrétegű pigmenthám fedi.

Csarnokzagnak nevezzük a szaruhártya, ínhártya, sugártest és a szivárványhártya által határolt területet. Feladata a csarnokvíz elvezetése és ezáltal a szemben levő belső nyomás szabályozása. Ez a belső nyomás tartja kifeszítve az ideghártyát, és a benne áramló csarnokvíz táplálja az üvegtestet és a szemlencsét. Az elülső csarnok a szaruhártya és a szivárványhártya által közrefogva helyezkedik el, ahová a pupillán keresztül áramlik a csarnokvíz. A szivárványhártya mögött elhelyezkedő csarnokot hátsó csarnoknak nevezzük. A sugártest nyúlványaiban képződött csarnokvizet végül a szaruhártyával párhuzamosan futó Schlemm-csatorna vezet el a vénás rendszerbe.



17. ábra. A középső burok részei.¹⁶



¹⁶ <https://slidetodoc.com/idegrendszer-rzkszervek-gygyzszersttudomnyi-kar-szvettani-gyakorlat-vi-12/>

18. ábra. A csarnokzug.¹⁷

Az érhártya (chorioidea)

A középső eres burok legnagyobb részét alkotja. A látóideg kilépési helyének kivételével laza összeköttetésben áll az ínhártyával. Feladata a szemgolyó részeinek táplálása. Tartalmazza a sugártestet és a szivárványhártyát tápláló ereket és idegeket, valamint az önmagát ellátó ereket is.

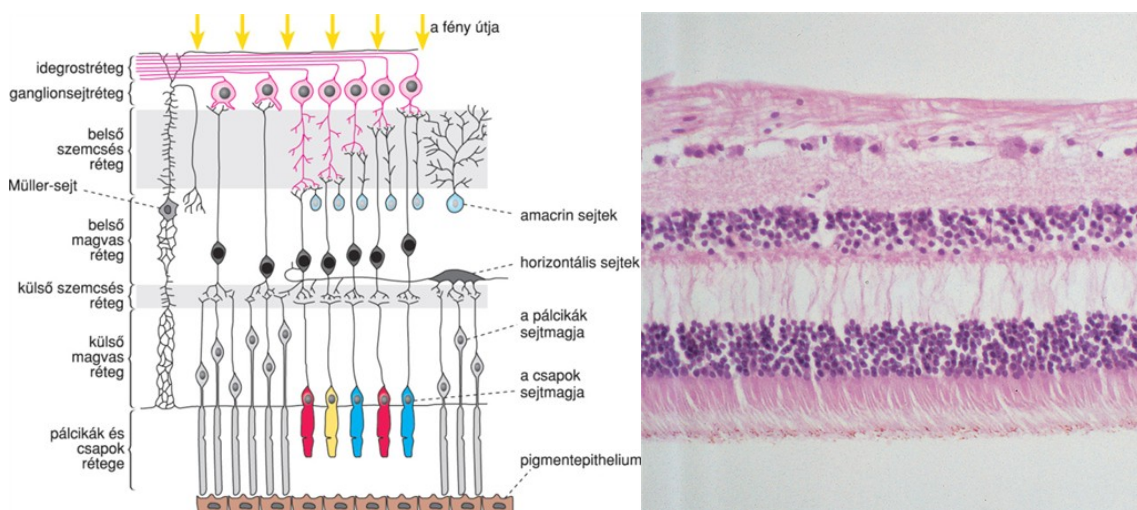
3 rétegből áll:

- vénás hálózat,
- hajszálérhálózat,
- üvegszerű vékony membrán.

A vénás hálózat tartalmazza az elhasznált vért összeszedő és eltávolító ereket, amelyek 4 nagy örvényes vénába vezetik el a vért. A hajszálérhálózat táplálja az ideghártyában levő pigmentsejteket, valamint a csapokat és pálcikákat.

Az ideghártya (retina)

A szemgolyó legbelső és legösszetettebb burka. Fejlődéstanilag az agyszövet kiboltosult része. Külső része pigmentréteggé alakult, míg belső része idegszervvé fejlődött. A külső pigmentréteg előrefelé haladva elvékonyodik és a sugártest és a szivárványhártya belső pigmentrétegével fekszik össze, míg hátul az érhártya belső pigmentrétegével szomszédos. Az ideghártya csak két helyen van felfüggesztve (ora serrata és a látóideg kilépési helye), a többi részen a szemben levő nyomás tartja kifesztve, ezért fizikai behatásra könnyen leválik. Az ideghártya előrefelé az üvegtest alapjánál van azzal szoros összeköttetésben. A retina összesen 10 rétegből áll, a belső 9 rétege teljesen átlátszó és a pigmentrétegen szorosabb kapcsolat nélkül fekszik. Az ideghártya a szem hátsó kb. 2/3-át borítja.



19. ábra. A retina rétegei.¹⁸

¹⁷ <https://slidetodoc.com/idegrendszer-rzkszervek-gygyaszertudomnyi-kar-szvetvettani-gyakorlat-vi-12/>

¹⁸ Süveges Ildikó: Szemészet, 2010, Budapest, Medicina Könyvkiadó Zrt.

Pigmenthám: pigment szemcséket tartalmaz, amelyek fény hatására a sejten belül vándorolni képesek. Nyúlványai beérnek a csapok és pálcikák közé. Erős fény hatására a pigment szemcsék a nyúlványokba vándorolnak, csökkentve a fény intenzitását, kevés fény esetén pedig visszahúzódnak. A pigmentréteg feladata a retina védelme és adaptációjának segítése.

Csapok és pálcikák rétege: az ideghártya fotoreceptorai. A felszínre merőlegesen, szorosan egymás mellett helyezkednek el. Külső és belső részre oszthatóak, külső részük közé nyúlnak be a pigment sejtek nyúlványai. A fényérzékeny részük a külső tag. A csapok felelősek a nappali, a szín- és a tárgylátásért, míg a pálcikák a csökkent fényviszonyok közötti és a perifériális látást teszik lehetővé. Elhelyezkedésük szerint a periférián csak pálcikák találhatóak, míg a sárgafoltban (macula lutea), az éleslátás helyén csak csapok. A csapok száma az ideghártyában kb. 3,3- 7,0 millió, mennyiségük a centrumban, az éleslátás helyén (foveola) a legsűrűbb, és a periféria felé fokozatosan csökken a számuk. A pálcikák száma 75-150 millió. A látóideg (nervus opticus) kilépési helyénél (vakfolt) nincsenek receptorok, csak erek és idegek, míg a sárgafoltban nincsenek erek, csak kizárólag receptorok. A sárgafoltban a csapokat a fény direkt módon éri. A csapok 3 féle hullámhosszra érzékenyítettek, ezek a vörös, a zöld és a kék fény hullámhosszai. A foveola a látóidegfőtől kb. 4 mm-nyire halánték felé helyezkedik el. A receptorok opszin nevű fehérjét és retinabíort tartalmaznak. A retinabíor mindkét receptorban azonos, az opszin azonban különböző. A pálcikák külső tagjában levő retinabíor fény hatására lebomlik opszinra és A-vitaminra, és sötétben újjá épül. A csapokban ún. csapanyag található, amely fény hatására szintén kémiai átalakuláson megy át. Tehát a látás során a fény elektromágneses hulláma kémiai reakciót indít be az ideghártya fotoreceptoráiban, amely ingerületté alakulva a látóidegen keresztül az agy megfelelő helyén ingert kelt. A csapok az éleslátás helyén 1:1 arányban kapcsolódnak az elvezető ganglionokhoz, míg ettől távolodva több receptor kapcsolódik egy elvezető idegsejthez. Emiatt van az, hogy a finom, részletes látás helye a sárgafolt, míg a nem részlet gazdag látás helye a periféria.

Külső határhártya: közvetlenül a csapok és pálcikák belső tagjai alatt található záróréteg, amely a receptorok között elhelyezkedő Müller-féle támasztósejtek nyúlványaiból áll.

Külső magvas réteg: a csapok és pálcikák magva és sejttestje alkotja.

Külső rostos réteg: ebben a rétegben az ingerület átadása történik a továbbító neuronoknak.

Belső magvas réteg: az ingerületet továbbító neuronok magvait tartalmazó réteg.

Belső rostos réteg: ebben a rétegben továbbítódik az ingerület azokhoz a sejtekhez, amelyek nyúlványai alkotják a látóideget.

Ganglionsejtek rétege: itt találhatóak a nagy testű látóidegsejtek, melyek nyúlványai alkotják a látóideget.

Idegrostréteg: a ganglion sejtek velőshüvely nélküli nyúlványait tartalmazza, amelyek összeszedődve alkotják a látóideget. Itt helyezkednek még el az ideghártya erei, amelyek szemtükkörrel jól megfigyelhetők és az ideghártya belső rétegeinek táplálását biztosítják.

Belső határhártya: a legbelső, üvegtesttel érintkező záróréteg, amelyet szintén a Müller-féle sejtek alkotnak.

A látás folyamatában a fény a belső határhártyától kezdve halad valamennyi rétegen keresztül a csapok és pálcikák rétegéig, ahol az érzékelés megtörténik, majd az ingerület visszafelé haladva szedődik össze ingerré, amit a látóideg továbbít az agy felé. A látóideg kb. 1 millió idegrostot tartalmaz. A látóideg kilépési helye a retinán a sárgafolttól orr felé helyezkedik el.

A látóideggel együtt halad a szemet tápláló artéria és véna, és együtt hagyják el a szengödröt a szengödör hátsó pólusán levő résen.

A szemlence (lens crystallina)

A szem harmadik töröközege. Kristálytisza, átlászó, ereket és idegeket nem tartalmaz. Nagy része víz (kb. 65 %), a maradékot fehérje alkotja. Táplálása a csarnokvízből diffúzió útján történik. A szivárványhártya mögött, a hátsó csarnokban helyezkedik el az üvegtest előtt az optikai tengelyen. Kétszer domború, ellipszis formájú, kb. 9-10 mm átmérőjű, 4 mm vastag, a víznél sűrűbb inhomogén test. Elülső felszínének görbületi sugara kb. 10 mm, hátsó felülete jobban görbült, ennek sugara kb. 6 mm. Törökereje kb. 20 D. Újszülötteknél majdnem gömb alakú, később laposabbá válik. Három részét különíthetjük el. A *lencsetok*, ami kívülről körbeveszi a többi részt. A *lencse hámjja*, amely soros köbsejtekből áll. A *lencse állománya*, mely szalagszerűen megnyúlt és átalakult rostokból áll. Gyerekkorban egyenletesen lágú, később egyre inkább sűrűsödni kezd, aminek következtében kialakul a lencse magja. Ez a mag az életkor előrehaladtával folyamatosan nő, emiatt folyamatosan csökken a lencse rugalmassága és az alkalmazkodó képessége. A különböző sűrűségű zónák folyamatosan követik egymást a lencse állományában, melyek közül a legsűrűbb a mag. A lencsét a lencsefüggesztő rostok tartják a sugártesthez rögzítve, amelyek a lencse elülső és hátsó felszínén tapadnak. A zonula rostok a sugárizom elernyedésének és összehúzódásának függvényében vagy kifeszítik a lencsét, vagy engedik azt a saját rugalmasságát felhasználva összegömbölyödni. Ezt a folyamatot a szemlence alkalmazkodásának nevezzük. Ha a sugárizom elernyed, a lencsefüggesztő rostok megfeszülnek, és a lencse ellaposodik. Ha a sugárizom összehúzódik, a lencsefüggesztő rostok elernyednek, és a lencse saját rugalmasságánál fogva gömbölyödik.

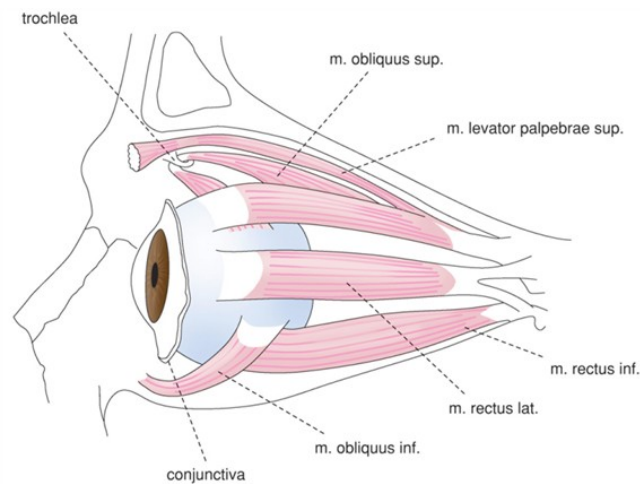
Az üvegtest (corpus vitreum)

Az üvegtest a szengolyó nagy részét kitöltő, kb. 98 %-ban vizet tartalmazó közege, amelyben fehérjeszálak mutathatóak ki. Ereket, idegeket nem tartalmaz. Optikailag a vízhez hasonló tulajdonságú, gél állapotú töröközeg. Nem rugalmas, nem regenerálódik. A lencse felé eső elülső felszínét, amely vékony rostokból áll elülső határhártyának nevezzük. Hosszanti tengelyében felszívódott ér helye mutatható ki. Az üvegtest tartja kifeszítve az ideghártyát.

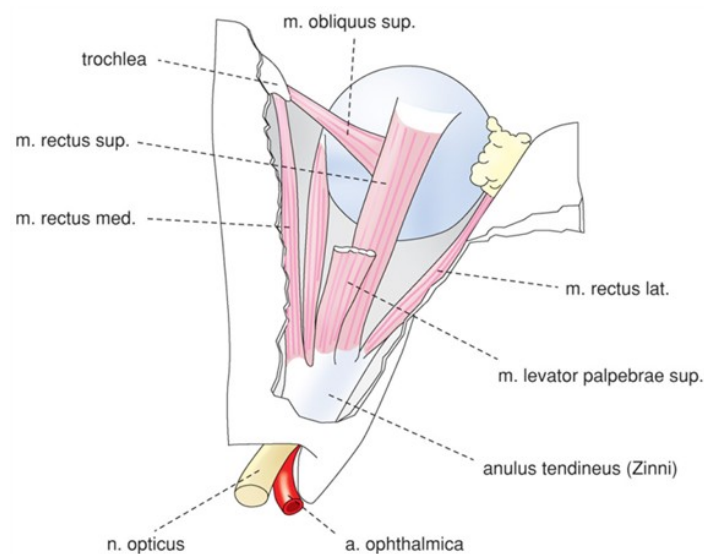
A szemmozgató izmok (musculi oculi)

A szengolyót 4 egyenes és 2 ferde szemizom mozgatja, amelyek az ínhártyán tapadnak. Az egyenes izmok: külső, belső, alsó, felső. A ferde izmok: alsó ferde, felső ferde. A 4 egyenes és a felső ferde szemizom a látóideg kilépési helyénél, az orbita csúcsán erednek, majd kúpszerűen haladnak előre, amíg a szengolyóhoz érnek. A felső ferde izom a tapadási pont elérése előtt még átbújik egy az orbita felső, belső részén rögzített rostporcos gyűrűn, és innen élesen megtörve hátrafele haladva a felső egyenes izom alatt átbújva éri el a szengolyó külső-felső-hátsó részét. Az alsó ferde izom a felső állcsont szemüregi részén ered. Kissé hátrafelé és oldal felé haladva áthidalja az alsó egyenes szemizmot, majd felfelé haladva a szengolyó

külső-alsó-hátsó részén tapad. A külső és belső egyenes izmok a szegolyónak csak egy irányú mozgását (jobbra, balra), valamint a konvergenciát teszik lehetővé. A felső és alsó egyenes izmok mozgásának fő iránya a szegolyó süllyesztése, emelése, közelítése és részben a forgatása is. A ferde szemizmok fő hatása a forgatás, de ugyanakkor képesek a szegolyót emelni (alsó ferde) és süllyeszteni is (felső ferde). A szemizmok táplálását a szem artériája biztosítja. A szemizmokat 3 különböző ideg működteti, melyet a központi idegrendszer hangol össze. Ez teszi lehetővé a pontos és koordinált mozgást. A szemmozgató idegek magjai a középagyban és a hídban találhatóak. A szemüreg hátsó részében található zsírszövet kitölti a szemizmok közötti teret, és előrefele egy kötőszövetes hártya a Tenon-tok határolja. Ebben a szegolyó, mint ízvápában mozog, és forgástengelye a szegolyó belsejében, a szaruhártya elülső pólusa mögött kb. 14 mm-re az optikai tengelyen van. A szegolyók optikai tengelyének irányát nézővonalnak nevezzük, amit a szemmozgató izmok nyugalmi állapota és feszítettsége határoz meg. Távra a nézővonalak, és így a szemek párhuzamosak, közelre nézéskor a nézővonalak a nézett pontban metszik egymást, a tekintet a nézett pontra irányul.



20. ábra. Külső szemizmok oldalnézetben.¹⁹

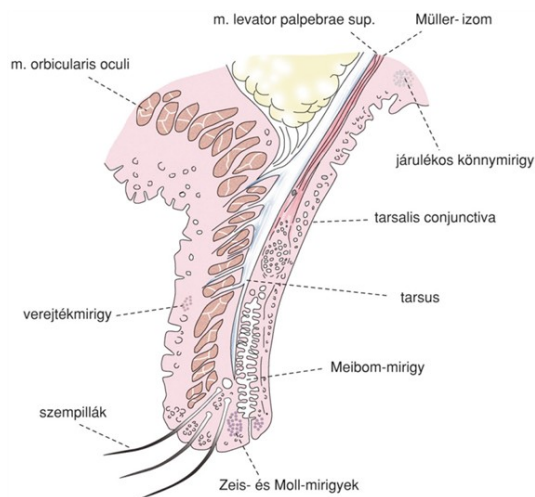


¹⁹ Dr. Süveges Ildikó: Szemészet, 2010, Medicina Könyvkiadó Zrt.

21. ábra. A szemmozgató izmok elhelyezkedése és tapadási helye a szegolyón.²⁰

A szemhéjak (palpebrae)

A szemhéjak feladata a szegolyó védelme, valamint tisztán, nedvesen, és melegen tartása. Felső szemhéjunk mozgatható, az alsó fix. A felső szemhéj akarattól függetlenül 5-10 pillacsapást végez percenként. A szemhéj alapvetően két részből áll. A külső rész a bőrből és a szemrészáró izomból, míg a belső rész a pillavázból (tarsus) és az alatta elhelyezkedő, szorosán tapadó kötőhártyából áll. A pillaszőrök a szemhéj szélén helyezkednek el. A szemrészáró izom a szemrés körüli körkörös rostokból áll, és az arcideg idegzi be. A szemhéj formáját és tartását a tarsus határozza meg, amely tömött kötőszövet. A felső tarsus elülső részén szálakra bontva tapad a felső szemhéjemelő izom, amely a szem nyitását biztosítja. Rostjai a szemrészáró izom rostjaira merőlegesen futnak. A tarsusban a szemhéj szélére merőlegesen nyíló mirigyeket is találunk, ezek a Meibom-mirigyek, melyek faggyúszerű váladéka a szemhéj szélét vonja be. A pillaszőrök között módosult verejtékmirigyeket találunk (Moll-mirigyek). A pillaszőrök valódi faggyúmirigyeket Zeis-féle mirigyeknek nevezzük. A felső szemhéjon átlagosan 150, míg az alsón 75 szempilla helyezkedik el. A szemhéjak gazdag érhálózattal rendelkeznek. A szemhéjak a külső és belső zugban találkoznak. A belső zugban helyezkedik el a könnyhúscska. A szemhéj belső oldalán szorosán a tarsushoz tapadva a kötőhártya (conjunctiva) helyezkedik el. A felső és az alsó áthajlásban a szegolyót fedi és a szaruhártya körül a limbuson tapad. Így 3 részét különböztetjük meg: a szemhéjtit, az áthajlásokat bélelőt, és a szegolyót fedőt. Nyálkát termelő sejtjei a kehelysejtek, hámja több rétegű el nem szarusodó laphám. Ereken gazdag, bár ereinek nagy részében nincs keringés. Gyulladás esetén azonban ezek az erek kitágulnak, és a sclerán vörösnek látszanak.



22. ábra. A szemhéj szerkezete.²¹

²⁰ Dr. Süveges Ildikó: Szemészet, 2010, Medicina Könyvkiadó Zrt.

²¹ Dr. Süveges Ildikó: Szemészet, 2010, Medicina Könyvkiadó Zrt.

Könnnytermelő- és könnyelvezető szervek (apparatus lacrimalis)

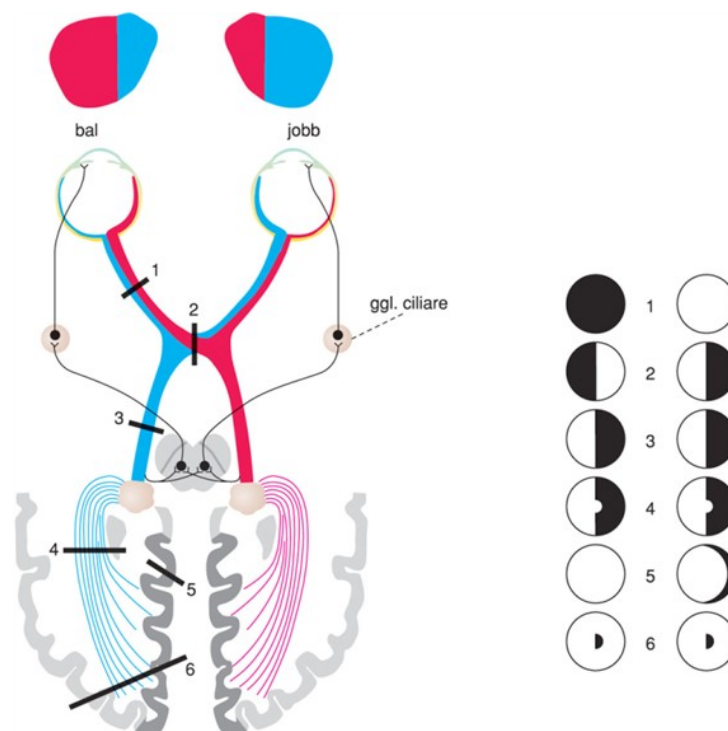
A könnymirigy nagyobb része az orbita külső felső részén, az orbitaszél mögött helyezkedik el, kisebb része a felső áthajlás külső részén a kötőhártya mögött található. Kivezető csöveik az áthajlásba nyílnak. Járulékos könnymirigyek találhatóak a felső áthajlásban (Krause-féle mirigyek), és a tarsus közelében. A könnymirigy folyamatosan működik, de különböző ingerek a könny termelését jelentősen megnövelhetik (fizikai, kémiai, érzelmi hatások). A könny sós, víztiszta folyadék, melyben fehérjék is kimutathatóak. A lysosym nevű enzime baktériumölő hatású. A szaruhártyát borító könnyfilm 3 rétegből áll: legkívül a zsírszerű réteg, mely a Meibom-mirigyek váladékát tartalmazza, középen a könnymirigy termelte vízszerű folyadék, míg legbelül a hámsejtekkel érintkezve a kötőhártya kehelysejtjei által termelt nyákos réteg található. A zsírszerű réteg a könnyfilm elpárolgását hivatott akadályozni, míg a többi réteg a szaruhártya táplálását biztosítja. Bármely összetevőjének hiánya a szaruhártya állapotának romlását okozhatja. A könny elvezetése a könnypontokon keresztül történik, amelyek a belső zugban az alsó és a felső szemhéjon nyílnak. Ezek a könnycsatornácskába vezetik a könnyet, majd a könnytömlőn és a könny-orrvezetéken keresztül az orrüregbe ürülnek.

2.1.2. A látás fiziológiája

A szembe érkező fénysugár (elektromágneses hullám) az átlátszó törőközegeken és a retina belső 9 rétegén áthaladva a csapok és pálcikák rétegében elnyelődik, és a fotoreceptorok kültagjában kémiai reakciót indukál. Ez az ingerület terjed azután tovább a retina belső rétegein keresztül előbb az első, majd a második neuronrétegre a fénysugár irányával ellentétesen haladva, míg végül eléri a látóideg sejtjeit. Az éleslátás helyén egy csap egy bipoláris neuronhoz kapcsolódik, míg ettől oldalirányba haladva a csapok már többesével kapcsolódnak az elvezető idegsejtekhez. Még jobban távolodva a csapok és a pálcikák közös kapcsolódása figyelhető meg, míg végül a periférián már csak a pálcikák többszörös elvezetése található. Ez a szerkezeti felépítés összhangban áll a retina képfelbontó képességével. A látóideg sejtjeinek nyúlványai idegrostokat alkotnak, amelyek a látóideg kilépési helyénél szedődnek össze. Kötegekbe rendeződnek, és a látóidegfő kilépési helyénél hagyják el a szemből. A retinális részen a rostok még szabadon állnak, nincs hüvelyük, a szemgolyóból való kilépésüktől kezdve azonban már velőshüvellyel rendelkeznek. Ez egyrészt védelmet ad az idegrostoknak, másrészt pedig felgyorsítja az ingerület elvezetését. A látóideg a szemgolyóból kilépve S alakban halad a szemből csúcsáig, hossza kb. 2-3 mm. Ezen a szakaszon lép be, illetve ki a látóidegbe az ideghártya központi verő és vivőere is. A látóideg végül egy kb. 4-9 mm hosszú csatornán lép ki a szemből a koponyaüregbe. Itt továbbra is a középvonal felé haladva, kb. 10 mm után a két szemből jövő látóideg összeolvad, és részleges kereszteződést alkot (chiasma opticum), majd újra szétválak, és a koponyaalap felé haladva a rostok kb. 80 %-a az ikertestekben átkapcsolódik. Az ikertestek továbbfutó rostjai alkotják a látókisugárzást, és szállítják tovább az ingerületet az agy jobb és bal féltekéje egymás felé néző felszínén húzódó bemélyedéséhez, ami a látókéregben helyezkedik el. Ennek a területnek a leghátsó részén található a centrális látás központja, ami kapcsolatban áll azokkal a szomszédos részekkel, amelyek a szemmozgások irányításával, a

keletkezett emlékképek előhívásával és raktározásával, a tárgyak felismerésével, valamint egyéb látási funkciókkal kapcsolatosak. A rostok 20%-a, amelyik nem kapcsolódik át az ikertesteken megkerüli azokat, és a szemmozgató ideg középpontjában levő maghoz vezet. Ez az ideg hat a pupillaszűkítő izmokra és a szemmozgató idegek egy részére is. A látópálya részletes ismerete diagnosztikai lehetőséget biztosít a látópálya különböző részeit ért sérülések esetében, mivel a sérülés helye jellemző látótérkiesést, vagy a pupilla működésének akadályozottságát okozza. Jellemző látótérkiesések:

- | | |
|---|--|
| 1. Féloldali n. opticus lézió | azonos oldali vakság |
| 2. Chiasma medialis részének léziója | bitemporalis hemianopia |
| 3. tractus opticus lézió | homonym hemianopia |
| 4. radiatio optica léziója | ellenoldali felső quadranskiesés |
| 5. fissura Calcarina elülső részének léziója | ellenoldali temporalis látótér perifériás részének kiesése |
| 6. occipitális lebeny hátsó pólusának léziója | ellenoldali homonym jellegű centrális scotoma |



23. ábra. A látópálya és jellegzetes sérüléseinek helye és látótérkiesése.²²

2.1.3 A legfontosabb szembetegségek

A szaruhártya betegségei

²² Dr. Süveges Ildikó: Szemészet, 2010, Medicina Könyvkiadó Zrt.

A szaruhártya a szemgolyó külső részén elhelyezkedő optikai rendszer, melyet a külvilágtól a könnyfilm határol el. Elhelyezkedése miatt leggyakrabban különböző fertőzések, sérülések érhetik, illetve szerkezetében különböző elfajulások és görbülési hibák léphetnek fel. Ha a könnyfilm réteg sérül, vagy az összetevők egyensúlya felborul hámszárazság, illetve fekély keletkezhet. Az egészséges szaruhártya felszíne tiszta, csillogó, állománya átlátszó. Betegség esetén elveszti csillogását, átlátszóságát, hámszárazság, fekély alakulhat ki rajta. Az állományában jelentkező borúság oka több minden lehet, jellemzően gyulladás, heg vagy degeneráció. Az egészséges szaruhártya ereket nem tartalmaz. Ereződés akkor következik be, amikor gyulladás lép fel, vagy oxigénhiány jelentkezik. Mindkét esetben csökken az anyagcsere, és a szaruhártya az erek belenövesztésével próbálja kompenzálni a csökkent működést. Felszínes és mély ereztetés különböztethető meg. Felszínes ereztetés esetén a kötőhártya erei nőnek bele a szaruhártyába, ezek mindig követhetők a kötőhártya felől, és faágszerűen elágaznak. Mély ereztetés esetén az erek a limbusztól indulnak, egymással párhuzamosan futnak, és a szaruhártya mélyebb rétegeiben vöröses területként látszanak. A szaruhártya gyulladásaira jellemző a fénykerülés, a könnyezés, valamint a fájdalom. Beszűródéssel, illetve fekélyvel kezdődik, és vagy vízszintesen lapszerűen, vagy pedig a mélybe terjedően halad. A felszínes gyulladás elmosódott szélű, és néhány nap alatt feltisztul és behámosodik. Ha a gyulladás a mélybe terjed, bekövetkezhet a szaruhártya átszakadása is. Ilyenkor a cornea összes rétege károsodott. A csarnokvíz elfolyhat, a szaruhártya hátsó felszíne érintkezhet a szivárványhártyával vagy a lencsével, ami tamponálhatja a lyukat. Emiatt vírusfertőzés esetén fennáll a szivárványhártya, illetve az egész szemgolyó gyulladásának veszélye. A szaruhártya gyulladásait okozhatják: baktériumok, vírusok, gombák, valamint fizikai és kémiai ártalmak egyaránt. Felszínes és mély gyulladásokat különböztethetünk meg. Alapvető különbség, hogy míg a felszínes gyulladások általában külső hatásra alakulnak ki (sérülés, elégtelen szemrészárás, hegesztés, erős UV sugárzás), addig a mély gyulladások oka általában a szervezetben keresendő (pl. szifilisz, parazitafertőzés, mumpsz). A felszínes gyulladásokat gennyes és nem gennyes csoportokra oszthatjuk. A nem gennyes gyulladásokat általában vírusok, míg a gennyes elváltozásokat gennykeltő baktériumok és gombák okozzák. A szem leggyakoribb vírusos betegségét a herpesz vírus okozza. A szaruhártya degeneratív elváltozásai az állomány helyi vagy általános okok miatti elfajulására vezethetők vissza. Ezek lehetnek csomós, rácsos vagy foltos elfajulások. Viszonylag fiatal korban kezdődnek, és folyamatosan halad előre a folyamat. Végző esetben szaruhártya átültetés a megoldás. A szaruhártyának lehetnek görbülési hibái is, ezek pl. keratoconus, keratoglobus, és a megalocornea. Megalocorneáról akkor beszélünk, ha a szaruhártya átmérője 13 mm-nél nagyobb. A keratoconus és a szaruhártya egy részének, vagy egészének elődomborodása esetén folyamatos romlás tapasztalható, majd szaruhártya átültetés jöhet szóba. Addig is formatartó kontaktlencse adhatja a legjobb látást. A cornea hegei különböző formájúak és mélységűek lehetnek. Minden formája a látás romlását okozza (a heges felszín nem átlátszó), és akár vakságig is vezethet. A cornea daganatai általában a kötőhártyából indulnak. Műtéti megoldása szükséges.

Az ínhártya betegségei

Viszonylag ritkán előforduló megbetegedések. Gyulladásáa lehet enyhébb felszínes és mélyebb súlyosabb lefolyású. Élesen határolt vörös duzzanatként jelentkezik, amely az alatta levő gócon helyezkedik el. A góc nyomásra érzékeny, sokszor a szemmozgás is fájdalmas. A mély gyulladás az iris és a sugártest gyulladásával járhat együtt. Sokszor hajlamos kiújulni és romlani, akár felváltva mindkét szemem is megjelenhet. Oka általában autoimmun betegség, reumás arthritis, szifilisz, tbc, és közvetve cukorbetegség. Gyulladást okozhatnak még gennykeltő baktériumok és gombák is, valamint retinaleválás kapcsán használt műtéti szilikonok, varratok. Ezen kívül megemlíthető még a sclera szövetének elvékonyodása és kitágulása. Degeneratív betegségei és daganatai nagyon ritkák.

A szivárványhártya betegségei

A szivárványhártya gyulladása szorosan és gyakran összefügg a sugártest gyulladással folyamataival. Jellemzően egyszerre csak az egyikük gyulladása a domináns. Lehet akut, vagy krónikus, okozhatják mikroorganizmusok, mechanikai ártalmak, vegyi anyagok, góccok, allergia, immunreakciók, de a kiváltó okok sokszor ismeretlenek maradnak. Általános tünetei: fénykerülés, fájdalom, látásromlás, a szivárványhártya vérbősége, a limbus körüli lila, gyűrűszerű ereződés. A csarnokvízben megjelennek a vér alakos elemei, amelyek rontják a látást, és sokszor a szaruhártya hátsó felszínére tapadnak. A pupilla szűk, nehezen reagál. Érujdonképződések is kialakulhatnak. A kialakult izzadmány miatt a szivárványhártya a lencse elülső tokjához tapadhat, ami rontja a csarnokvíz áramlását. A kezeletlen iris-gyulladás szekunder zöldhályogot okoz, ronthatja a szaruhártya szöveteinek átlátszóságát, és akár a szemgolyó gyulladását is előidézhetheti. Szükséges a góc felderítése, és akár kórházi kezelés is indokolt lehet.

Önálló betegségnek tekintjük az elsődleges **zöldhályogot** (primer glaucoma), amely a csarnokvíz elfolyásának akadályozottsága miatt alakul ki. Három formáját különböztetjük meg: akut roham, zárt zugú glaucoma (simplex), veleszületett glaucoma. Roham esetén a szivárványhártya gyöki része beékelődik a csarnokzugba, és blokkolja a csarnokvíz elfolyását. Hirtelen alakul ki, heves fájdalommal jár, a szemnyomás a normális 20 Hgmm helyett akár 50-100 Hgmm-ig is emelkedhet. Elesettség, hányinger, hányás, valamint a cornea borússága, és tág pupilla jellemzi. Többször is fellángolhat. Azonnali orvosi beavatkozást igényel. A zárt zugú glaucoma fokozatosan, szinte észrevétlenül alakul ki, mivel az emelkedett szemnyomás csak minimális mértékben haladja meg a normálist. Oka a csarnokvíz elégtelen elvezetése. Mivel nem okoz fájdalmat, a látásromlás visszafordíthatatlanul és folyamatosan alakul ki. Sokkal gyakrabban fordul elő, főleg 45 év fölött, mint az akut forma. Általában szemüveg felírásakor a szemfenék vizsgálata során fedezik fel, amikor már a látóideg károsodását okozta. Előrehaladott állapotban látótérkiesést, végső soron vakságot okoz. A vaksági statisztikák 1. vagy 2. helyén szerepel. Mindkét szemre kiterjedő elváltozás, de nem egyszerre alakul ki. A folyamat nem fordítható vissza, de az aktuális látás folyamatos szemcsepp használatával megtartható. A veleszületett glaucoma oka a csarnokvíz elégtelen elvezetése. A szemben levő emelkedett nyomás a burkokat kitágítja, ami látásromlást eredményez. Másodlagos zöldhályogot okozhatnak a csarnokvíz elfolyását akadályozó egyéb betegségek, például a szivárványhártya gyulladása, a másodlagos szürkehályog, sérülés, a lencse elmozdulása, cukorbetegség, és a szemben levő daganat is. A zöldhályog kezeletlen formája

végző soron vaksághoz vezet, mivel a szemben levő megemelkedett nyomás gátolja a látóidegfőnél a látóideg sejtjeinek táplálását, ezáltal roncsolja a látóideg sejtjeit, így azok elhalnak.

Az érhártya betegségei

Az érhártya gyulladása mindig együtt jár az ideghártya gyulladásával. A szemén kívülről semmiféle elváltozás nem látszik, de a látásromlás optikailag nem javítható. A gyulladás területének megfelelően látótérkiesés jelentkezhet. Jellemző lehet még sötét foltok látása, vagy szikralátás. Ha a góc a centrumban helyezkedik el, akkor romlik a centrális látás, amely torz képet és különböző méretű látáscsökkenést okoz. Kiváltó ok lehet valamilyen bakteriális, vagy gombás fertőzés, parazitaferőzés, tbc, szifilisz és AIDS. Az érhártyán és az ideghártyán lehetnek degenerációs elváltozások, sorvadással járó folyamatok, illetve jó és rosszindulatú daganatok is. Legismertebb rosszindulatú daganat a festékes hámból kiinduló melanoma, mely az eres burok mindhárom részében előfordulhat, de leggyakrabban az érhártyában jelenik meg. A szervezet más részeiben zajló rákos folyamatok áttéteket okozhatnak az eres burokban. Leggyakrabban az emlő, a hörgők, a herék és a bőr tumorai okoznak áttéteket.

Az ideghártya betegségei

Előfordulhatnak önállóan, vagy a szervezetben jelenlevő más elváltozásokhoz társulva. Társult betegségei a magas vérnyomás, az érlemezésedés és a cukorbetegség. Ezek különböző érlelváltozásokat, bevérzéseket, ödémákat okoznak az ideghártyában. Önálló betegségei a véna és az artéria keringési zavarai, amelyet elzáródás vagy görcs okozhat. Mindkettő hirtelen, nagyfokú látásromlással jár és jellemző szemfenéki képe van. Az erek gyulladását főleg belszervi betegségek okozhatják (tbc, szifilisz). Az ideghártyában végbemehetnek degeneratív folyamatok, ezek egy része örökletes, és folyamatosan romlanak. Látótér szűkületet okoznak, majd végül vaksághoz vezetnek. Ideghártya leválást okozhat mechanikai sérülés vagy nagyfokú rövidlátás. Jellemző tünete a leválás előtti szikralátás, majd a látótérkiesés. Gyógyítása műtéti úton lehetséges. A látóideg megbetegedéseit egyaránt okozhatják a szem, valamint a központi idegrendszer elváltozásai is. Nem megfelelő szem-, vagy koponyaúri nyomás a látóidegfő ödémáját okozhatja. A nyomásfokozódást az esetek nagy részében daganat váltja ki. A látóidegfő és a látóideg gyulladása egymástól elkülönülten is előfordulhat. Látóidegfő gyulladást általában az eres burok gyulladásai, míg látóideg gyulladást a közeli szövetek (szemgödör, melléküregek) gyulladásai váltanak ki. A látóideg toxikus károsodása egyszerre mindkét oldalon jelentkezik és látótérkieséssel jár. Okozhatja alkohol, nikotin, metilalkoholmérgezés, ólom, arzén, kininmérgezés és egyes gyógyszerek is. A látóidegfő sorvadását idős kori, a ciliáris ereket érintő keringésromlás is okozhatja, ami növeli a szemnyomást. A látóideg elhalását okozhatja az ideghártya artériájának elzáródása is. A látóideg betegségei látásromlással és látótérkieséssel járnak.

A szemlencse betegségei

Szürkehályogról (cataracta) beszélünk, amikor az egyébként átlátszó szemlencse elveszti

átlátszóságát és idővel elszürkül. Ez jelentkezhet a kéregben, a magban vagy a tokban. Lehet veleszületett, vagy szerzett. Lehet állandó vagy progreáló. A cataracta látásromlást okoz, mértéke a hályog érésének állapotától függ, valamint a hályog elhelyezkedésétől. Megkülönböztetünk centrális vagy széli hályogot. A centrális hályog a látást jelentősen rontja, főleg nappali fényben. Leggyakoribb formája az öregkori szürkehályog. Oka lehet örökletes tényező, erős és hosszan fennálló UV sugárzás, fertőző betegségek a magzati korban, sérülés, mechanikai-, vegyi-, vagy hő-ártalom, cukorbetegség. Megoldása műtéti úton történik. Az elszürkült lencsét eltávolítják, és a helyére egy műanyag szemlencsét (IOL) helyeznek. Másodlagos hályognak nevezzük a szürkehályog-műtét után bennmaradó lencsemaradékot. A szemlencse elmozdulhat a helyéről pl. mechanikai sérülés következtében. Ritkán lehet veleszületett is. Mindkét eset másodlagos zöldhályogot okozhat, mivel rontja a csarnokvíz elfolyását.

Az üvegtest betegségei

Lehetnek fejlődési rendellenességek, korrall járó elváltozások, és a szem egyéb részeiből az üvegtestre áttérő betegségek. A fejlődési rendellenességek esetén membránok és fehérje szerkezetek rontják a látást. A korrall az üvegtest helyenként elfolyósodik, és összezsapódott fehérjeszálak lebegnek az üvegtestben, amelyek a szem mozgását követik. Leválhat a hátsó határhártya, ami maga után húzza az ideghártyát is. A környező szövetekből az üvegtestbe kerülhetnek különböző lerakódások (Ca-, és koleszterin tartalmú fehérjék) és vér. Az üvegtest gyulladása együtt jár az eres burok gyulladásával. Az üvegtestben megjelenhetnek újonnan képződött membránok, amelyek heges kötegekké alakulhatnak. Retinaleválást okozhatnak. ROP: inkubátorba helyezett gyerekeknél a retina nem a normális érfejlődési folyamatot követi az inkubátoros állapot után, hanem érújdonképződést és hegképződést produkál. A hegesedés az üvegtest belseje felé halad és magával húzhatja az ideghártyát.

A szemmozgató izmok betegségei

A szemizmok bénulása mozgáskorlátozottságban nyilvánul meg. Arra nem tud a szem fordulni, amely oldalon az izom bénult. Ez kettős látást okoz. Az egyén ezt a fejtartás megváltoztatásával bizonyos fokig kompenzálni képes. Szemizombénulás lehet veleszületett, vagy szerzett. A veleszületett esetben általában szemhéjcsüngéssel jár. Oka általában szülési trauma, vagy fejlődési rendellenesség. A szerzett bénulást kiválthatja koponyaalapi törés, gyulladás, vagy agyúri vérzés, gyermekbenulás, sclerosis multiplex, herpes zooster fertőzések, tumorok, érelmeszesedés, mérgezések. A nystagmus (szemrengés) egy akarattól független, 1-3 mm nagyságú, változó szaporaságú és sebességű ide-oda mozgása a szemnek. Jellemzője a látásélesség csökkenése, a fej fordítása a rezgés csillapítása céljából, a tárgyak látszólagos mozgása, illetve szédülés. A veleszületett nystagmus oka lehet a szaruhártya homálya, albinizmus, szürkehályog, érhártyagyulladás, a látóideg sorvadása. Utalhat kisagyi betegségre, daganatra, illetve felléphet mérgezések kapcsán.

A szemhéjak betegségei

Vesebetegségek, vérszegénység, mérgezések, és endokrin betegségek kapcsán a laza szemhéjban duzzanat alakulhat ki. Gyakran társul a szemgolyónak, illetve környezetének gyulladásához. Könnyen keletkezhetnek benne bevérzések, főleg mechanikai sérülés kapcsán, koponyaalapi törés, vitaminhiány és véralvadást gátló szerek túladagolása következtében. A szemhéj bőrét levegő is megemelheti, ami rostacsont töréskor jelentkezik. A szemhéj bőrén különféle gyulladások is megfigyelhetők, amelyek lehetnek fertőzés miatt kialakuló és nem fertőzőes gyulladások. Könnyen okozhatnak gyulladást a kozmetikai szerek, a vegyi anyagok, a pollenek, a gyógyszerek, az ipari ártalmak (szmog), és az élelmiszerek. Fertőzést okozhatnak gennykeltő baktériumok, amelyek kis bőrsérülésen át bejutva fertőzik meg a szövetet, valamint gombák és vírusok is. A szemhéj szélének gyulladása a szempillákat és a mirigyek kivezető csöveit is érinti. A szemhéj mirigyének gyulladása lehet akut vagy krónikus. Az akut gyulladást árpanak nevezzük, ami a Zeis-féle faggyúmirigyek akut gyulladása. A jégárpa a Meibom-mirigyek krónikus gyulladása. A felső szemhéjon gyakoribb. A szemhéjak hibás állása inkább idős korban jelentkezik. A szemhéj be-, vagy kifordul. Befelé fordulásakor a szempillák a szaruhártya sérülését okozhatják. A szemhéj kifelé fordulása esetén könnyezés jelentkezik. A szemhéjakon különféle hegek is okozhatnak elváltozásokat. Ezek lehetnek szerettek vagy veleszületettek. A szemhéjak elégtelen zárása a szaruhártya sérülését okozhatja. A szemhéj izmai lehetnek görcsös állapotban (általában szembetegségek kísérői), illetve az izmok fejlődési zavarai is csökkent működést eredményeznek. Általában szemhéjcsüngést okoznak. A szemhéjban különféle daganatok is megjelenhetnek, melyek lehetnek jó- és rosszindulatú daganatok. Egy részük veleszületett.

A könnytermelő- és könnyelvezető rendszer betegségei

A könnymirigynek általában gyulladással megbetegedései vannak, amelyet valamely egyéb belső szervi gyulladás okoz. Gyakran kapcsolódik fültőmirigy gyulladáshoz, mivel a két szerv szövettani szerkezete hasonló. A könnymirigy daganatai általában jóindulatúak. A könnymirigy gyulladással, vagy hiányos működése szemszárazságot okoz, ami súlyos szubjektív tünetekben nyilvánul meg (égés, idegentest-érzés, nyomásérzés). Kapcsolódhat autoimmun betegségekhez is. A könnyelvezető rendszer betegségei főleg könnyezést okoznak. Lehet vele született, vagy fertőzés következtében kialakult. Fő jellemzőjük, hogy a könnyelvezető rendszer elzáródik, benne a folyadék felhalmozódik, és gennyes elváltozást okoz. Gyógyítása az elzáródás megszüntetésével történik.

Bár a Meibom-mirigy diszfunkció szemhéjszéli betegség, mely során a mirigyek működése megváltozik, mégis a könnytermelés betegségei közé sorolandó, mert a könnyfilm lipid tartalma csökken, az instabillá válik, fokozott könnypárolgást okozva.

A napjainkban sokakat érintő szemszárazságról és annak kezelési lehetőségeiről a 4. fejezetben, a „Kontaktlencse és kontaktlencse ápolószerek anyag és áruismeretében”-ben foglalkozunk részletesebben, mivel a probléma a kontaktlencsét viselőknél fokozottabban jelentkezik.

A könnytömlő daganatos megbetegedése nagyon ritka.

A szemgödör betegségei

A szembetegségek az agy közelsége miatt igen súlyosnak tekinthetők. A szemüreg tartalmát megnövelheti gyulladás, pangás, vér, genny, idegentest, levegő, daganat és endokrin betegség. A szembetegség egyik esetben sem a megszokott módon helyezkedik el a szemüregben (kidülled, besüpped, elfordul), illetve jellemző tünet még a mozgáskorlátozottság. A szembetegség a betegséget kiváltó góccal ellentétes irányba tolódik el. Elváltozást okozhat a szembetegségben futó vénák tágulata, amely szintén nyomja a szembetegségeket, és kidülledést okoz. Exophthalmus látható még különböző fejlődési zavarok esetén, illetve orrmelléküregi gyulladás kapcsán. A szembetegségét okozhatja még sérülés, általánosan fertőző betegség is. Daganatai lehetnek jó- és rosszindulatú daganatok. Szembetegségeket okoz még a pajzsmirigy túlműködés (Basedow-kór) is. A szembetegségeire jellemző a szembetegség eltolása valamely irányba, amely a konvergenciát nehezíti, és akár kettős képet is okozhat. A szembetegség előre dülledése akadályozhatja a szemhéj zárását, ami a szaruhártya kiszáradásához vezethet. A szembetegség csontjainak és csonthártyájának gyulladása ritka betegség. A szembetegség kötőszövetének gyulladása a melléküregek, vagy a fogak gyulladt állapotával áll kapcsolatban. A Tenon-tok gyulladása ritka betegség. Fő jellemzője, hogy hirtelen alakul ki és a szemmozgások fájdalmasak.

2.2. Fiziológiai vagy szemészeti optika

Az emberi látás folyamatában két szorosan egymáshoz kapcsolódó anatómiai egység vesz részt. Az optikai képződés a szemben történik meg, az érzékelés pedig az agy különböző területein fejeződik be. A folyamatot jelentősen elősegíti a szem és az idegrendszer szoros anatómiai és funkcionális kapcsolata. Jelen fejezet a szemmel, mint képződő eszközzel foglalkozik, és az optikai törvényszerűségek felhasználásával határozza meg annak jellemzőit, és a képződésre gyakorolt hatását. Bár a szemészeti optika történetében számos optikai modell született az emberi szem működésének leírására, ám ezek közül mindmáig Allvar Gullstrand svéd szemészorvos modellje az egyik legpontosabb. Gullstrand a szemmodellért Nobel-díjat kapott 1911-ben.

A fény haladási irányát figyelembe véve teljesen átlátszó, ép szem esetén a fény sugar a levegőből érkezve egymás után áthalad a könnyfilmen, a szaruhártyán, a csarnokvízen, a szemlencsén, az üvegtesten és a retina belső 8 rétegén. Ezután éri el a fényérző idegvégződéseket, a csapokat és pálcikákat. A képződés meghatározása szempontjából a szaruhártya, a csarnokvíz, a szemlencse, az üvegtest tekinthető törőközegnek, melyek közül a szaruhártyának és a szemlencsének tulajdonítunk szerepet a szemmodellben, míg a csarnokvizet és az üvegtestet a külső levegővel együtt csak, mint közrefogó közeget vesszük figyelembe. Ezek alapján az emberi szem egy kétagú lencserendszer, melyet a szaruhártya és a szemlencse alkot. Mivel a szemlencse egyik fontos feladata az alakváltoztatásán keresztül a különböző tárgytávolságokhoz való alkalmazkodás, ezért a szemlencse optikai hatását nem elegendő egyetlen esetben meghatározni. A Gullstrand-féle szemmodellnek megfelelően két fő esetet különítünk el: az alkalmazkodásmentes állapotot és a maximális alkalmazkodás esetét. Bár ez nem befolyásolja a szaruhártya optikai jellemzőit, azonban a szemlencse két eltérő állapota miatt, mindkét esetben külön-külön meg kell határozni a kétagú lencserendszer optikai hatását.

2.2.1. Az emberi szem optikai jellemzői

A szaruhártya optikai jellemzői

A szaruhártya első felszíne a levegővel, hátsó felszíne a csarnokvízzel érintkezik, amely jelentősen csökkenti a hátsó felszín optikai hatását. A szaruhártya átlátszóságát felépítése adja. Sejtjei szabályos szerkezetűek, jelentős részüket víz tölti ki. A jelentős víztartalomnak köszönhetően a törésmutató értéke a folyadékokra jellemző tartományba esik.

Az optikai tengely közelében elhelyezkedő centrális zóna jó közelítéssel szférikus felületnek tekinthető mind az első domború, mind pedig a hátsó homorú felszínen. A szaruhártya geometriailag egy konvex-konkáv lencse, amely levegőben szórólencse lenne, azonban a hátsó felület optikai hatása a csarnokvíz törésmutatója miatt jelentősen lecsökken, és végeredményben egy erős gyűjtőlencsévé válik. Fontos megjegyezni, hogy általában a szaruhártya nem teljesen gömb formájú. Függőleges síkban főleg a szemhéjak szorító hatása miatt a szaruhártya erősebben görbült, ezért törőereje is erősebb. A vízszintes és a függőleges síkok között 0,5 – 0,75 dioptria nagyságú törőerő különbség van, melyet fiziológias asztigmianak nevezünk.

Megnevezés	Jelölés	Érték
Első felszín görbületi sugara	r_{1sz}	7,7 mm
Hátsó felszín görbületi sugara	r_{2sz}	- 6,8 mm
Optikai tengelyen mért vastagság	e_{sz}	0,5 mm
A szaruhártya törésmutatója	n_{sz}	1,376
A levegő törésmutatója	n_0	1
A csarnokvíz törésmutatója	n_{cs}	1,336

I. táblázat. A szaruhártya adatai vízszintes síkban.

A felületi dioptriák és az össztörőerő kiszámítása során figyelembe kell venni, hogy az Optikai alapismeretek című fejezetben leírtakkal ellentétben nem levegő veszi teljesen körbe a szaruhártyát és a szemlencsét, ami módosítja a képleteket.

$$D_{1sz} = (n_{sz} - n_0) / r_{1sz} = (1,376 - 1) / 0,0077 \text{ m} = + 48,83$$

$$D_{2sz} = (n_{sz} - n_{cs}) / r_{2sz} = (1,376 - 1,336) / - 0,0068 \text{ m} = - 5,88$$

$$D_{sz} = D_{1sz} + D_{2sz} - e_{sz}/n_{sz} \cdot D_{1sz} \cdot D_{2sz} = \\ = 48,83 + (- 5,88) - 0,0005 \text{ m} / 1,376 \cdot 48,83 \cdot (- 5,88) = + 43,05$$

Összességében a szaruhártya egy erős gyűjtő hatású lencsetag az emberi szemben, és a kb. +43 dioptriás törőerejével a szem össztörőerejének a kétharmadát adja. A számítások mellőzésével a szaruhártya mindkét fősíkja a szaruhártya előtt a levegőben található olyan formában, hogy a hátsó fősík megelőzi az első fősíkot. Ez a csarnokvíz optikai jellemzőket csökkentő hatásának tulajdonítható.

A szemlencse optikai jellemzői alkalmazkodásmentes esetben

A szemmodellekben a szemlencse okozza a legnagyobb bizonytalanságot. Az optikai hatásának meghatározásához ismernünk kell a pontos helyét, a görbületi sugarait, a vastagságát, és a törésmutatóját. A felsoroltak közül az elhelyezkedésének és a vastagságának meghatározása a legegyszerűbb kérdés, azonban a többi adat mérése már komoly gondot jelent, és főleg az anyagszerkezete jelenti a legnagyobb optikai bizonytalanságot. A felnőttkori szemlencse szerkezete hat diszkontinuitási zónából áll, melyek anatómiailag és optikailag is eltérőek. A fénysugár az első öt zónán, a centrális rész után még egyszer áthalad a fény, így végül összesen 11 különböző zónán törik meg a fénysugár. Az egyszerűsítés érdekében összesen három részre bontjuk fel a szemlencsét: lencsetokra, lencsekéregre, és lencsemagra. Optikai szempontból mindig a lencsemag a sűrűbb közeg. A számítások megkönnyítése érdekében egy átlagos törésmutató értékkel célszerű számolni, mely a kerekítések miatt elhanyagolható számítási hibát okoz.

A szemlencse egy bikonvex lencse, vagyis mindkét felülete domború. Alkalmazkodásmentes esetben a szemlencse első felszíne laposabb, mint a hátsó felület, vagyis a görbületi sugara hosszabb. Ennek következtében a két felület aszimmetrikus módon vesz részt a képalkotásban, a hátsó felületük nagyobb törőerővel rendelkezik, mint az első.

Megnevezés	Jelölés	Érték
Első felszín görbületi sugara	r_{11}	10 mm
Hátsó felszín görbületi sugara	r_{21}	6 mm
Optikai tengelyen mért vastagság	e_1	3,6 mm
A szemlencse átlagos törésmutatója	n_1	1,415
A csarnokvíz törésmutatója	n_{cs}	1,336
Az üvegtest törésmutatója	$n_{ü}$	1,338

II. táblázat. A szemlencse adatai alkalmazkodásmentes esetben.

A megadott adatokkal a felületi dioptriák és az össztörőerő nagysága:

$$D_{11} = (n_1 - n_{cs}) / r_{11} = (1,415 - 1,336) / 0,01 \text{ m} = + 7,92$$

$$D_{21} = (n_1 - n_{ü}) / r_{21} = (1,415 - 1,338) / 0,006 \text{ m} = + 12,87$$

$$D_1 = D_{11} + D_{21} - e_1/n_1 \cdot D_{11} \cdot D_{21} = \\ = 7,92 + 12,87 - 0,0036 \text{ m} / 1,415 \cdot 7,92 \cdot 12,87 = + 20,53$$

A szemlencse törőereje alkalmazkodásmentes esetben +20,53 dioptria, a szemlencse adja a szem törőerejének másik egyharmadát. A két görbület eltérő nagysága miatt a hátsó felület törőereje nagyobb, mivel erősebben görbült. Fősíkjai a lencsén belül helyezkednek el, és a hátsó felület erősebb törőereje miatt a hátsó felülethez közelebb helyezkednek el.

A szemlencse optikai jellemzői maximális alkalmazkodás esetén

Az alkalmazkodás anatómiai folyamata jelentősen befolyásolja a szemlencse optikai hatását. Amikor a sugárizom megfeszül, akkor a zonula rostok meglazulnak, és a szemlencse a rugalmassága miatt egy erősebben görbült formát vesz fel. Ez csökkenti a görbületi sugarak nagyságát, növeli az optikai tengelyen mért vastagságot, és megváltozik a szemlencse eltérő sűrűségű zónáinak az aránya, ami megváltoztatja az átlagos törésmutató értékét

Megnevezés	Jelölés	Érték
Első felszín görbületi sugara	r_{11}	5,33 mm
Hátsó felszín görbületi sugara	r_{21}	5,33 mm
Optikai tengelyen mért vastagság	e_1	4 mm
A szemlencse átlagos törésmutatója	n_1	1,427
A csarnokvíz törésmutatója	n_{cs}	1,336
Az üvegtest törésmutatója	$n_{ü}$	1,338

III. táblázat. A szemlencse adatai maximális alkalmazkodás esetén.

A megadott adatokkal a felületi dioptriák és az össztörőerő nagysága:

$$D_{11} = (n_1 - n_{cs}) / r_{11} = (1,427 - 1,336) / 0,00533 \text{ m} = + 17,09$$

$$D_{21} = (n_1 - n_{ü}) / r_{21} = (1,427 - 1,338) / 0,00533 \text{ m} = + 16,71$$

$$D_1 = D_{11} + D_{21} - e_1/n_1 \cdot D_{11} \cdot D_{21} = \\ = 17,09 + 16,71 - 0,004 \text{ m} / 1,427 \cdot 17,09 \cdot 16,71 = + 33$$

Az alkalmazkodás segítségével a szemlencse törőereje +33 dioptriára növekszik. Fősíkjai továbbra is a lencsén belül helyezkednek el, de az alkalmazkodásmentes állapottal ellentétben a lencse közepére, szimmetrikus helyzetbe kerülnek, mivel az első és a hátsó felület közel azonos törőerejűvé válik.

A szem optikai hatása alkalmazkodásmentes esetben

A lencserendszereknél ismertett módon a két tagból álló lencserendszer esetének megfelelően a szaruhártya hátsó fősíkjának a szemlencse első fősíkjától mért távolságát nevezzük a két lencsetag távolságának. Figyelembe véve a szaruhártya vastagságát (0,5 mm), és a csarnok mélységét (3,6 mm) a számítások mellőzésével a keresett távolság, vagyis az „e” 6,28 mm lesz. Az adat ismeretében a szem össztörőereje alkalmazkodásmentes esetben:

$$D_{szem} = D_{szh} + D_{lencse} - e/n_{csv} \cdot D_{szh} \cdot D_{lencse} =$$

$$= 43,05 + 20,53 - 0,00628 \text{ m} / 1,336 \cdot 43,05 \cdot 20,53 = + \mathbf{59,43} \approx + \mathbf{60}$$

Az alkalmazkodásmentes szem össztörőereje kb. 60 dioptria, fősíkjai az elülső csarnokban a szaruhártya első felszínétől 1,57 mm, illetve 1,67 mm távolságra helyezkednek el a pupilla környezetében. Emellett fontos még a szem első és hátsó fókuszpontjának az elhelyezkedése, mely egyszerűen kiszámítható, és mm-re átváltható (az f_1 esetén a mínusz előjel a balra, visszafelé történő mérést jelenti):

$$\mathbf{f_{1szem} = -n_0 / D_{szem} = -1 / 59,43 = -16,83 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{f_{2szem} = n_{\text{út}} / D_{szem} = 1,338 / 59,43 = 22,51 \text{ mm}}$$

Figyelembe véve a fősíkok helyét az első fókuszpont a szem előtt található kb. 15 mm-re a szaruhártya első felületétől, és a hátsó fókuszpont a szemben található kb. 24 mm-re a szaruhártya első felületétől. Mivel a szem mérete is kb. 24 mm, így alkalmazkodásmentes esetben a hátsó fókuszpont pontosan a retinára esik. Ezt az állapotot nevezzük *emmetrópiának*, vagyis helyes fénytörésű szemnek.

A szem optikai hatása maximális alkalmazkodás esetén

Mivel a maximális alkalmazkodás esetében a szemlencse vastagsága növekszik, ezáltal a csarnok mélysége csökkenni fog 3,2 mm-re, illetve a szemlencse fősíkjainak helye megváltozik, ezért a két lencsetag távolsága, vagyis az „e” 5,65 mm-re változik. A szem össztörőereje:

$$\begin{aligned} D_{szem} &= D_{szh} + D_{lencse} - e/n_{csv} \cdot D_{szh} \cdot D_{lencse} = \\ &= 43,05 + 33 - 0,00565 \text{ m} / 1,336 \cdot 43,05 \cdot 33 = + \mathbf{70,05} \approx + \mathbf{70} \end{aligned}$$

A maximálisan alkalmazkodott szem össztörőereje kb. 70 dioptria, fősíkjai az elülső csarnokban a szaruhártya első felszínétől 1,94 mm, illetve 2,12 mm távolságra helyezkednek el a pupilla környezetében. Az alkalmazkodás következtében a fősíkok hátrafelé, a szem belseje felé tolnak el. A szem első és hátsó fókuszpontjának távolsága:

$$\mathbf{f_{1szem} = -n_0 / D_{szem} = -1 / 70,05 = -14,28 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{f_{2szem} = n_{\text{út}} / D_{szem} = 1,338 / 70,05 = 19,10 \text{ mm}}$$

A szem elülső fókuszpontja továbbra is a levegőben található kb. 12 mm-re a szaruhártya első csúcspontjától, míg a hátsó fókuszpontja kb. 21 mm-re van a szaruhártya első felületétől. A hátsó fókuszpont az alkalmazkodás miatt a retina elé kerül, vagyis a szem fénytörése a miópia irányába tolódik el. Ez a törvényszerűség általánosan is kimondható: **az alkalmazkodás a miópia irányába tolja el a szem fénytörését**. Ez azonban nem okoz problémát, mivel az alkalmazkodás fő célja a közeli tárgyak éles leképezése, és a miópia pontosan a közeli tárgyak éles leképezését teszi lehetővé.

2.2.2. A szem alkalmazkodóképessége és konvergenciája

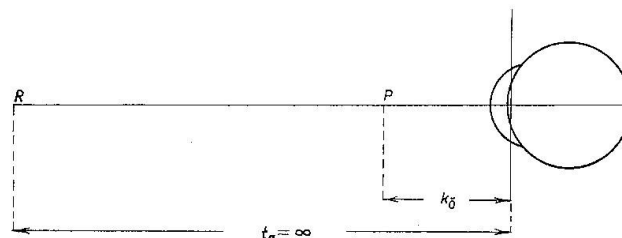
Az emberi szem különböző távolságokhoz történő alkalmazkodása, vagy más néven akkomodálása a sugárizom működésén keresztül valósul meg. Nyugalmi állapotban, vagyis amikor a sugárizom ernyedett állapotban van, a zonula rostok megfeszülnek. A teljesen kifeszített zonula rostok a szemlencsét feszes állapotban tartják, és a szemlencse a leglaposabb alakját veszi fel. A teljesen kifeszített állapotban a szemlencse törőereje a lehető legkisebb, ami miatt a szem össztörőereje is a legkisebb. Ezt neveztük az előbbiekben alkalmazkodásmentes állapotnak, amikor a szem a „távolba” tekint.

Ha a sugárizom megfeszül, akkor a zonula rostok elernyednek, és a szemlencse a rugalmassága következtében egy görbültebb alakot vesz fel. A görbültebb alak a szemlencse törőerejének növekedését eredményezi, és a szem össztörőereje is növekszik. Ilyen esetben a szem a „közelbe” tekint, a közelebbi tárgyakat képi le élesen a retinára. Abban az esetben, amikor a szem eléri a legnagyobb törőerő értékét, akkor a maximális alkalmazkodás esetéről beszélünk.

Akkomodációs-, vagy alkalmazkodási szélességnek nevezzük a maximálisan alkalmazkodott szem törőerejének és az alkalmazkodásmentes állapotban lévő szem törőerejének különbségét, melyet dioptriában adunk meg. Képletszerűen:

$$D_{\text{acc}} = D_{\text{max. alk.}} - D_{\text{alk.mentes}}$$

Azt a legtávolabbi pontot, melyet alkalmazkodásmentes esetben képez le az emberi szem élesen a retinájára, *távolpontnak* nevezzük. Azt a legközelebbi pontot, melyet maximális alkalmazkodás mellett képez le az emberi szem élesen a retinájára, *közelpontnak* nevezzük.



24. ábra. A távolpont (R) és a közelpont (P) elhelyezkedése emmetrópiás szem esetén.²³

A 24. ábrán a távolpont jele „R”, ami a Punctum remotum, illetve a közelpont jele „P”, ami a Punctum proximum latin kifejezésekből adódik. Emellett t_a -val jelöli a távolpont szem főtávolságát, és k_0 -vel a közelpont távolságát. Az emberi szem a távolpontja és a közelpontja között képes alkalmazkodni, és ezek között képes csak a tárgyakat élesen látni. Az akkomodációs szélesség a távolpont távolság és a közelpont távolság segítségével is meghatározható. Mivel mindkettő a levegőben helyezkedik el, azért képlettel kifejezve:

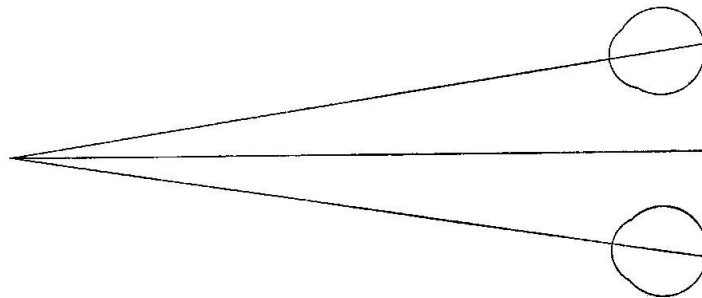
$$D_{\text{acc}} = 1 / k_0 - 1 / t_a$$

Az életkor előrehaladtával a szemlencse rugalmassága a lencse mag arányának növekedése

²³ Dr. Vörösmarthy Dániel: A szem optikája, 1974, Budapest, Medicina Könyvkiadó

miatt folyamatosan csökken, melynek következtében egyre kevésbé képes az alakváltozásra. A folyamat következtében a maximális össztörőerő nagysága az életkor előrehaladtával fokozatosan csökken, ami miatt csökken az egyén akkomodációs szélessége, és a közelpont távolodik a szemtől. A közelpont távolodása 40-45 éves kor körül kezd észrevehetővé válni az egyén számára, amikor is a közelpontunk meghaladja azt a távolságot, amelyet például olvasáskor megszoktunk. Ettől a pillanattól kezdve válik érzékelhetővé az alkalmazkodási képesség csökkenése. Ennek következménye a *presbiópia*, vagy „öregszeműség”.

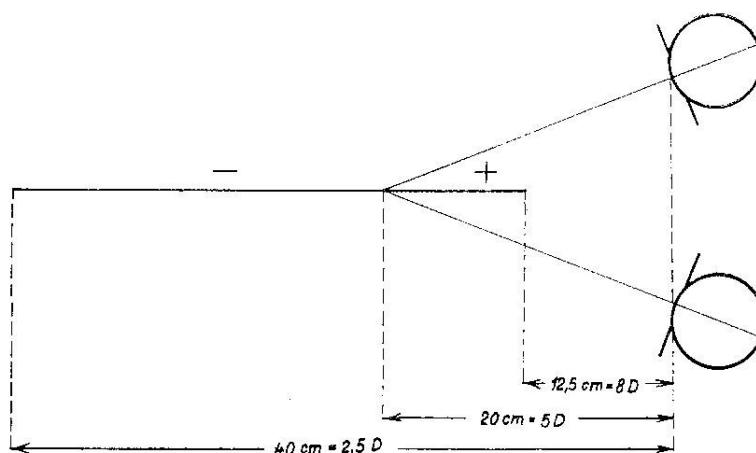
Amennyiben mindkét szem megfelelően működik, akkor az alkalmazkodás folyamata egymással párhuzamosan, egyszerre játszódik le a két szemben. Ha két szem a távolba néz, akkor a két nézési iránynak egymással párhuzamosnak kell lennie. Közeleli tárgyak nézésekor azonban a két szem nézővonala már nem lehet egymással párhuzamos, hanem az adott tárgypontra megfelelő irányba kell állnia. A két szem nézővonalának adott tárgypontra történő összetartását *konvergenciának* nevezzük. Az alkalmazkodás és a konvergencia egymáshoz kötött folyamat. A konvergencia meghatározásánál az akkomodációs szintre jellemző kifejezést kapunk, ami alapján elmondható, hogy *ahány dioptriát alkalmazkodunk, annyi méterszöget konvergálunk*.



25. ábra. A szem konvergenciája közeli tárgypontra esetén.²⁴

A valóságban az akkomodáció és a konvergencia bizonyos határok között egymástól függetlenül is működhet. Azt a határértéket, ameddig az akkomodáció nem vonja feltétlenül magával a konvergencia megváltozását *relatív akkomodációs szélességnek* nevezzük. Ha a tárgyat közelítjük a szemhez, vagyis növeljük az alkalmazkodás mértékét, de ezzel párhuzamosan még nem változik a konvergencia szöge, akkor az össztörőerő változás előjele miatt pozitív relatív alkalmazkodásról beszélünk, és ennek maximális értékét *pozitív relatív akkomodációs szélességnek* nevezzük. Ha a tárgyat távolítjuk a szemtől, vagyis csökkentjük az alkalmazkodás mértékét, de ezzel párhuzamosan még nem változik a konvergencia szöge, akkor a változás előjele miatt negatív relatív alkalmazkodásról beszélünk, és ennek maximális értékét *negatív relatív akkomodációs szélességnek* nevezzük.

²⁴ Dr. Vörösmarthy Dániel: A látszerészek könyve, 1981, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó



26. ábra. A relatív akkomodációs szélesség.²⁵

A 26. ábrán látható képen a páciens 20 cm-re fixál, ami a végtelenhez képes 5 dioptria akkomodációs igényt jelent. Ha egy tárgy ennél közelebb van (pozitív irány), akkor például 12,5 cm-ig, azaz 8 dioptriás akkomodációs igényig az akkomodáció növekedése nem vonja magával a konvergencia változását. Ilyen esetben a pozitív relatív akkomodációs szélesség a két érték közötti 3 dioptria. Ha egy tárgy ennél távolabb van (negatív irány), akkor például 40 cm-ig, azaz 2,5 dioptriás akkomodációs igényig az akkomodáció csökkenése nem vonja magával a konvergencia változását. Ilyen esetben a negatív relatív akkomodációs szélesség a két érték közötti 2,5 dioptria.

2.2.3. Az emberi szem felbontóképesége, és a látóélesség fogalma

A felbontóképeség egy fizikai fogalom, mely megmutatja, hogy egy optikai eszköz milyen minőségű képet képes részletgazdagon leképezni. A felbontóképeség nagyságát két tényező befolyásolja: egyrészt a képalkotó optikai rendszer képalkotó képessége, másrészt pedig a képet felfogó „ernyő” (retina, film, stb.) képpontokat elkülönítő képessége. Egy optikai eszköz akkor megfelelő felbontóképeségű, ha a két tényező összhangban van egymással.

A geometriai optikában elméletileg egy tárgypont képe egyetlen képpont. A valóságban a fény hullámtermészete miatt a képalkotás során fényelhajlás történik, ami miatt a kép nem egy pont lesz, hanem egy ún. *elhajlási korong*. Ugyanez a helyzet két tárgypont esetén is, vagyis ilyenkor két elhajlási korong keletkezik. A tárgypontokat különállónak látjuk, amennyiben a képtérben keletkező elhajlási korongok nem érnek össze. Az optikai rendszer *felbontóképeségének* nevezzük azt a határértéket, amikor is a keletkező elhajlási korongok még éppen nem érnek össze, és a tárgypontokat még éppen elkülönülten látjuk. Az emberi szem optikai felbontóképeségét látószögben adjuk meg a következő képlettel kifejezve:

$$\sin \alpha_{\min} = 1,22 \cdot \lambda / d$$

ahol „ α_{\min} ” a még éppen különállónak látszó tárgypontok látószöge, „ λ ” a szembe jutó fény hullámhossza, és „ d ” a pupilla átmérője. Az átlagos felbontóképeség meghatározásához a

²⁵ Dr. Vörösmarthy Dániel: A szem optikája, 1974, Budapest, Medicina Könyvkiadó

szem által legérzékenyebben érzékelt 555 nm-es zöldessárga fényt, és az átlagosnak mondható 3 mm-es pupilla átmérőt szoktuk alapul venni. Ezekkel az adatokkal az ép szem felbontóképessége $47''$, ami a retina síkjában egy $3,8 \mu\text{m}$ nagyságú minimális képpont távolságnak felel meg.

Anatómiailag a retina centrumában történik a legélesebb kép felfogása és feldolgozása, ahol csak csapok találhatóak. Ez az éleslátás helye. A retina centrumában átlagosan 150.000 csap található mm^2 -ként, ami alapján egy csap átmérője kb. $2,5 \mu\text{m}$. A vizsgálatok alapján két képpontot különállónak érzékelünk, vagyis látunk, ha két ingerelt csap között található egy kevésbé ingerelt csap. Ebben az esetben az elhajlási korong átmérője maximálisan $5 \mu\text{m}$ lehet. Az elhajlási korong méretéből visszafelé számolva:

$$\sin \alpha_{\min} = d_{\min} \cdot D = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot 59,43 = 2,97 \cdot 10^{-4},$$

amiből kiszámítható a keresett látószög értéke, ami:

$$\alpha_{\min} = 1'.$$

A kapott érték megfelel az optikailag meghatározott felbontóképességnek is, ezért ezt tekinthetjük mindkét megközelítésből helyes eredménynek. **Az $1'$ -es látószöget tekintjük az ép emberi szem átlagosan elfogadott felbontóképességének** (minimum separabile). Az eredményt az emberi szem látóélességének meghatározásához használhatjuk fel. A látóélességet, melyet idegen kifejezéssel *Visus*-nak nevezünk, egy viszonyszámmal fejezzük ki. A viszonyszám azt mutatja meg, hogy egy adott egyén felbontóképessége hogyan aránylik az ép szem $1'$ -es felbontóképességéhez, vagyis a minimum separabile-hez. A látóélesség képlete:

$$V = 1' / \alpha,$$

ahol α az adott egyén felbontóképessége. Ennek megfelelően az az egyén, aki teljesíteni tudja $1'$ látószög mellett a keletkező képpontok külön-külön történő érzékelését, de ennél kisebb látószöget már nem tud elkülönülten érzékelni, annak a látóélessége, vagy vízusa $1,0$, illetve 100% , amit az átlagos felbontóképességnek tekintünk. Abban az esetben, ha az említett látószög minimális értéke $1'$ -nél nagyobb, akkor az illető látóélessége $1,0$ -nél, illetve 100% -nál kisebb, és az adott páciens felbontóképessége jobb az átlagosnál. Abban az esetben, ha az említett látószög minimális értéke $1'$ -nél kisebb, akkor az illető vízusa $1,0$ -nél, illetve 100% -nál nagyobb, és az adott páciens felbontóképessége gyengébb az átlagosnál.

Mivel a látás minősége a csapok méretétől, sűrűségétől, és idegrendszeri kapcsolatától függ, ezért az emberi szem csak a centrális tartományban képes a jó minőségű kép érzékelésére, és csak itt megfelelő a látóélesség a tárgylátáshoz. A perifériás területeken, ahol egyre kevesebb a csap, és egyre több a pálcika, illetve több idegvégződés kapcsolódik egymáshoz az idegrendszer felé vezető úton, a romló képérzékelési képesség csökkenti a tárgylátás minőségét. A perifériás látásunk inkább a tájékozódást és a nézési irányunkhoz képest oldalt történő mozgások érzékelését teszi lehetővé. Ez a közlekedésünk, a mozgásunk és a külső veszélyforrások felismerése miatt fontos.

Ezek alapján egy adott egyén látóélességét mindig a centrális területre értelmezzük. A látóélességre levezetett összefüggés csak szubjektív módon határozható meg, objektív mérési módszere nem értelmezhető. Meghatározhatjuk távolra és közelre is, azonban általában a távoli látóélesség értéke a fontosabb, illetve ehhez képest értelmezhető a közeli látóélesség értéke. A szubjektív látásvizsgálat legpraktikusabb módja egy távolban elhelyezett vízustábla, melyet a pácienssel olvastatunk, és a válaszaiból következtetünk a látóélességére. Ehhez szabványosított jeleket alkalmazunk, melyek azonnal megadják a vízus értékét is. Magyarországon a legelterjedtebb a Kettesy-féle vízustábla, azonban ennek vizsgálati távolsága szabványosított, így gyakran a vizsgáló mérete miatt pontatlan. A legmodernebb digitális vízustáblák legnagyobb előnye, hogy a vizsgáló méretéhez igazíthatóak a jelméreték, így pontos eredményt adnak. A megfelelően távolságra beállított vízustábla esetén, az 1,0-es, vagy 100%-os vízushoz tartozó vízusjel geometriai kialakítása a következő: a vonalvastagság 1' alatt látszik a vizsgálati távolságból, míg a teljes jel 5' alatt látszik.

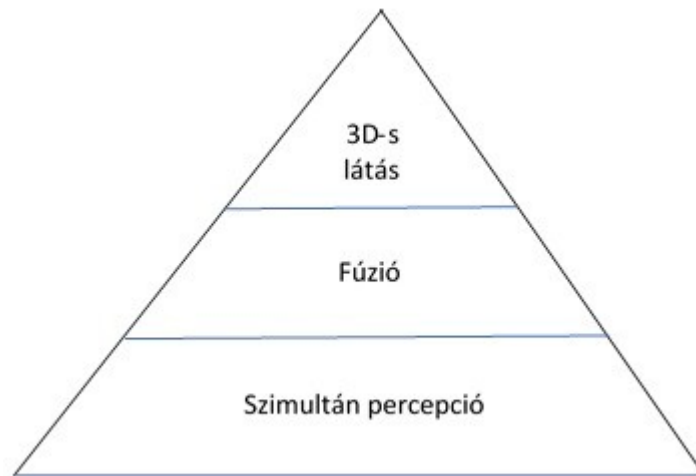
2.2.4. A binokuláris látás

A binokuláris látás, ami a térlátás alapfeltétele, azt jelenti, hogy nemcsak látjuk akár centrálisan, vagy akár perifériásan az egyes tárgyakat, hanem érzékeljük azt is, hogy hogyan helyezkednek el egymáshoz képest, melyik van közelebb hozzánk, és melyik van távolabb tőlünk. A térbeli elhelyezkedés meghatározásához nem elegendő a látószög és a tárgy valószínűsíthető mérete, hanem különböző irányokból kell az adott tárgyat vizsgálni, és a különböző képek segítségével lehet a térbeli formáját és elhelyezkedését érzékelni. Amennyiben csak a látószög és a tárgy valószínűsíthető mérete alapján „saccoljuk” meg a tárgy térben történő elhelyezkedését, akkor ún. áltérlátásról beszélünk. A különböző irányú nézéshez, és a valódi térlátáshoz már két szemre van szükség, azaz jobb szemmel a tárgyat kicsit jobbról, míg bal szemmel kicsit balról látjuk. Térbeli kiterjedéssel rendelkező tárgyak esetén a kicsit jobbról és kicsit balról látott két kép apró részleteiben eltér egymástól, és a kismértékű eltérések segítségével határozhatjuk meg a tárgy valódi formáját, térbeli elhelyezkedését és tényleges távolságát.

A binokuláris látás egy tanult folyamat, vagyis az embernek a tapasztalatai alapján fel kell tudni dolgozni az apró eltéréseket, és értelmezni kell tudni az érzékelt különbségeket. Természetes módon a megfelelő térlátásnak gyerekkorban, 4-5 éves életkorig kell kialakulnia, vagyis ebben az életkorban kell megtanulni az akkomodáció és a konvergencia együttes helyes használatát, és erre építve a tárgyak térbeli elhelyezkedésének idegrendszeri érzékelését.

A térérzékelés alapja a két megfelelően működő szem megléte. Ennek anatómiai és működési feltételei: mindkét szemben az ép és átlátszó töröközegek megléte, a funkcionálisan megfelelően működő ép retinák, a közel azonos látóélesség és képméret kialakulása a két szemfenéken, illetve az idegvégződések idegrendszeri kapcsolatának megfelelő működése. Bármilyen zavar alakul ki a felsoroltak működésében az a binokuláris látás kialakulását és későbbi megőrzését akadályozni fogja. Ha a két szem ametrópiája eltérő, akkor ezt *anizometriának* nevezzük. Abban az esetben, amikor a két szemfenéki kép mérete eltérő akkor *aniseikoniáról* beszélünk. Leggyakrabban a nagyfokú anizometrópia, illetve az a

leggyakrabban emiatt kialakuló aniseikónia akadályozza a térérzékelés helyes működését. A két szemfenéken keletkező képek által létrejövő ingerek az idegrendszer megfelelő helyein váltják ki a tényleges érzetet. A térérzékelés feltételeinek vizsgálatát így a magasabb idegrendszeri szinteken kell meghatároznunk. A térlátásnak három szintje van: a szimultán percepció, a fúzió, és a 3 dimenziós, vagy más szóval sztereó látás, amely végső soron a térérzékelést jelenti.



27. ábra. A binokuláris látás szintjei.

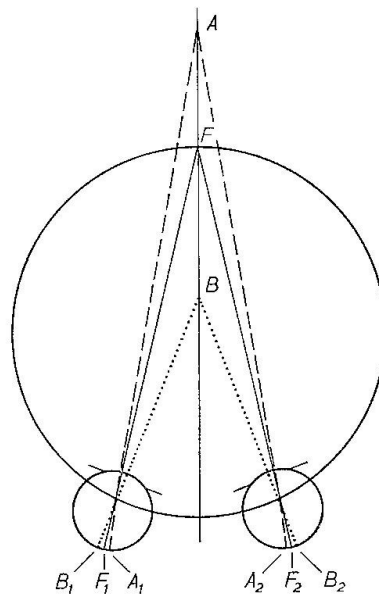
Szimultán percepciónak nevezzük a két szem egyidejű érzékelését, a kifejezés magyarrá pontosan egyidejű érzékelésnek fordítható. Ehhez szükség van arra, hogy a két szemfenéken létrejöjjön a megfelelő minőségű kép, a két szemben kiváltott inger mindkét oldalról eljusson az idegrendszer megfelelő területeire, és ott egy időben kiváltsák a megfelelő érzetet. Ennek anatómiai feltétele a szem és a látópályák sértetlensége, míg funkcionális feltétele a látópályák megfelelő működése. Ebben az esetben a két szemből jövő képi információ a megfelelő idegrendszeri területeken egyesülhet majd egymással.

*Fúzió*nak nevezzük azt a folyamatot, amikor az egy időben érzékelt két képet egyetlen képpé olvasztjuk össze az idegrendszerben. A fúzió folyamatának érdekessége, hogy az emberi agy kétféle képpárt képes összeolvasztani: egyrészt azokat, amelyek csak egészen minimális különbségekkel rendelkeznek, másrészt azokat, amelyek teljesen eltérnek egymástól. Amikor egy háromdimenziós tárgyat két szemmel nézünk, akkor a jobb szem által látott kép kicsit eltér a bal szem által látott képtől, az egyiket kicsit jobbról, a másikat kicsit balról látjuk. Az ilyen minimális eltéréseket az idegrendszer fuzionálja, és végső soron a tárgyat formahelyesen (se nem jobbról, és se nem balról látva) a maga térbeli valóságában érzékeljük. Az egymástól teljesen eltérő tárgyak fuzionálásának képességét a binokuláris látásvizsgálatok során használhatjuk ki, amikor is mesterségesen megbontott tárgyak képével tesztelhetjük a páciens binokuláris látásának különböző szintjeit.

3 dimenziós látásnak, sztereó látásnak, vagy térérzékelésnek nevezzük azt a folyamatot, amikor a fuzionált képek hatására idegrendszerünkben létrejön a tárgyak térbeli elhelyezkedésének érzékelése, és a tárgyak egymáshoz viszonyított helyzetének meghatározása. Ebben az esetben nem a tárgy nagyságából következtetünk a távolságára, hanem a valóságban érzékeljük a tárgyak egymáshoz viszonyított elhelyezkedését, és végső soron a tőlünk mért távolságokat.

A térérzékelés megértéséhez definiálni kell néhány fogalmat, melyek magyarázatot adnak a térbeli elhelyezkedés érzékelésére. Az idegrendszeren keresztül „összekapcsolt” csapokat *identikus pontoknak* nevezzük, melyek egyik csapja a jobb szemben, míg másik csapja a bal szemben található. Az identikus pontokra eső képpontok egymásnak megfelelő ingert váltanak ki az idegrendszerben. A centrális területeken elhelyezkedő csapok mindegyike egyetlen, másik oldalon lévő csappal alkot identikus pontpárt. Ha a két szemben a képpontok nem identikus pontokon, hanem eltérő retinahelyeken keletkeznek, akkor ezeket idegen kifejezéssel *diszparát helyeknek* nevezünk. Az idegrendszer bizonyos határok között képes még a diszparát helyeken képződő képpontok összeolvasztására, vagyis fuzionálására is. Az idegrendszernek azt a területét, illetve ennek kivetülését, amelyen belül elhelyezkedő diszparát helyek ingereinek vetületét mégis egybe tudja olvasztani az idegrendszer *Panum-mezőnek* nevezzük. A Panum-mező azon csapok idegrendszeri vetületének összessége, melyek egyidejű ingerlése esetén is kialakulhat a megfelelő binokuláris látás.

Egy adott fixált pont esetén és ezzel azonos időben az identikus pontok tárgyteri vetülete egy körhöz közelítő íven helyezkedik el, amelyet *horopternek* nevezünk. Összefoglalva a horopter működését a 28. ábra alapján: az F tárgypontra fixálása mellett figyeljük a többi tárgypontra képeinek elhelyezkedését a fixált pont retinális képéhez képest. Azok a tárgyponthok, melyek a horopterben vannak, azok mind identikus pontokra esnek. Ha egy másik tárgyponthból (B) kiinduló fénysugarak diszparát helyekre kerülnek, és bitemporális irányban (mindkettő halánték felé) tolnak el a retinán, akkor a tárgyponth a horopterben belül van, vagyis B pont közelebb van hozzánk, mint F. Ha egy másik tárgyponthból (A) kiinduló fénysugarak diszparát helyekre kerülnek, és binazális irányban (mindkettő orr irányába) tolnak el a retinán, akkor a tárgyponth a horopterben kívül van, azaz A pont messzebb van tőlünk, mint F.



28. ábra. A horopterben lévő, illetve az annál messzebb és az annál közelebb lévő tárgyponthok leképezése.²⁶

²⁶ Dr. Vörösmarthy Dániel: A látszerészek könyve, 1981, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

2.2.5. A pupilla működése optikai szempontból

Az emberi szemben a szivárványhártya közepén lévő nyílást nevezzük pupillának, mely a fényrekesz szerepét tölti be. Az Optikai alapismeretek című fejezetben bemutatottaknak megfelelően a pupilla, mely a szem esetén az apertúra rekesz, legfontosabb feladatai a fényerősség szabályozása, a felbontóképesség szabályozása, a mélységélesség meghatározása, és egyes leképzési hibák csökkentése.

Összefoglalva a rekeszeknél leírtakat az emberi szem pupillájának működését a következőképpen lehet meghatározni. Amennyiben a pupilla szűkül, akkor a szembe jutó fény mennyisége csökken, romlik a felbontóképesség, és javul a mélységélesség. Amennyiben a pupilla tágul, akkor a szembe jutó fény mennyisége növekszik, javul a felbontóképesség, és romlik a mélységélesség. A leképzési hibák közül a szférikus aberrációt és részben a kómát azzal csökkenti a pupilla, hogy átlagos 3-4 mm-es pupilla átmérő esetén csak az optikai tengely közelében haladó fénysugarak vesznek részt a képalkotásban. Jelentősen kitért pupilla esetén, amikor a pupilla átmérője akár 8-10 mm is lehet, a szaruhártya és a szemlencse széli részei már jelentős leképzési hibát generálnak. Ilyen esetben már a szférikus aberráció és a kóma lerontja a kép minőségét. A képtorzítást a pupilla elhelyezkedése korrigálja, mivel a szaruhártya és a szemlencse között helyezkedik el.

A pupilla működésének egyik fontos eleme, hogy a közelre nézés hatására szűkül a pupilla, mivel az akkomodációval és a konvergenciával párhuzamosan mindig a pupillaszűkítő izom működik. A közelre nézés minden esetben a mélységélesség javulását és a felbontóképesség kismértékű romlását vonja magával.

2.2.6. Az emberi szem alkalmazkodása a fényviszonyokhoz

Az emberi szemnek a különböző fényviszonyokhoz történő alkalmazkodását adaptációnak nevezzük. Abban az esetben, ha egy sötét szobából, melynek fényviszonyait már megszoktuk, hirtelen kimegyünk a világosba, akkor egy darabig káprázni fogunk, majd szép lassan megszokjuk a megváltozott fényviszonyokat. Fordítva is igaz ez a folyamat, amikor világos helyről sötétebb helyre lépünk be, akkor egy darabig kevésbé, vagy semmit sem látunk, majd idővel alkalmazkodunk a kevesebb fényhez is. Gyenge fényviszonyok között (ezt nevezzük éjszakai, vagy szkotópikus látásnak) a pálcikák érzékelik a szembe érkező fényt, természetes nappali fény esetén (ezt nevezzük nappali, vagy fotópikus látásnak) a csapok működése kerül előtérbe, míg átmeneti fényviszonyok esetén (ezt nevezzük mezópikus látásnak) a csapok és pálcikák együttes működése határozza meg a látási folyamatot.

Gyenge fényviszonyok között, vagyis szkotópikus látás esetén csak a pálcikák működnek. A pálcikákban lévő retinabíbor, azaz a rodopszin fény hatására lebomlik, és a lebomlás kémiai reakciójának hatására impulzus indul el az idegrendszer felé. A rodopszin teljes lebomlásához kb. 5-6 perc szükséges. A fényhatás megszűnése után enzimatisz folyamatok révén a rodopszin regenerálódik. A teljes regenerálódás kb. 25-30 perc alatt megy végbe. Végeredményben a rodopszin kémiai változása, és ennek idő szükséglete jelenti az adaptáció folyamatát.

Normál nappali fényviszonyok között, vagyis fotópikus látás esetén az előbbivel szemben a csapok működése az optimális. A csapokban a pálcikákhoz hasonló kémiai reakciók

játszódnak le, melynek során fény hatására idegi impulzus alakul ki. A csapokban azonban jól elkülönülnek egymástól a különböző színekre érzékeny receptorsejtek, így ezekben a fény hullámhosszának függvényében alakul ki inger. A receptorsejtek regenerálódása 3-4-szer gyorsabban történik meg, mint a pálcikák esetében.

2.2.7. Az emberi szem helyes és helytelen fénytörése

Az emberi szem képalkotó képességének meghatározáshoz azt a kérdést kell minden esetben tisztázni, hogy az optikai rendszer mennyire van összhangban a szem méretével, vagyis az anatómiai rendszerrel. Az optikai rendszer meghatározásának a legvégén felmerült a kérdés, hogy a szem hátsó fókuszpontja hol helyezkedik el a retinához képest. Ez nem csak a Gullstrand-féle szemmodell esetén az egyik legfontosabb kérdés, hanem a páciens látási képessége, illetve a szem későbbi korrekciója szempontjából is. Az *ametropia foka*, amit dioptriában fejezünk ki, megmutatja, hogy egy adott szem esetén milyen viszonyban van egymással az optika és az anatómiai rendszer. Képletszerűen Gullstrand első törvényével írható le:

$$A = D - B,$$

ahol A az ametropia foka dioptriában kifejezve, D az adott szem törőereje. B a szem méretéből számított érték, melyet dioptriában adunk meg, és a retina és a szem hátsó fősíkjának távolságából számítható az üvegtest törésmutatójának figyelembevételével. A képlet matematikailag írja le az optikai és az anatómia rendszer egymáshoz képesti viszonyát. Az ametropia foka minden esetben ellentétes előjelű, mint az adott fénytörési hibát korrigáló lencse előjele, és elméletileg vele azonos abszolút értékű, vagyis azonos nagyságú. Egy rövidlátó páciens esetén, ha például az ametropia foka +4,0 dioptria, akkor az adott páciens miópiáját -4,0 dioptriával kell távolra korrigálni. Az ametropia fokát általában csak távolra kell meghatározni, ezért a képletben minden esetben az alkalmazkodásmentes állapotban meghatározott ösztörőerőre van szükség.

Az emmetrópiás szem

Emmetrópiásnak nevezzük a helyes fénytörésű szemet. Ilyenkor alkalmazkodásmentes esetben a szem optikai rendszere teljesen összhangban van a szem méretével ($D = B$). Az ametropia foka Gullstrand első törvényének segítségével:

$$A = D - B = 0.$$

Az emmetrópiának számtalan egymással teljesen egyenértékű definíciója van, melyek itt következnek egymás után felsorolva.

1. Emmetrópiásnak nevezzük az olyan fénytörésű szemet, amelynél alkalmazkodásmentes esetben az ametropia foka pontosan 0.
2. Az emmetrópiás szem hátsó fókuszpontja alkalmazkodásmentes esetben pontosan a retina

síkjában helyezkedik el.

3. Az emmetrópiás szem alkalmazkodásmentes esetben a végtelenből érkező párhuzamos fénysugarakat pontosan a retinára gyűjti össze.

A 24. ábrának megfelelően az emmetrópiás szem távolpontja a végtelenben van, mivel alkalmazkodásmentes esetben ez a távolság képződik le élesen a retinára. Közelpontja pedig az akkomodációs szélességnek megfelelő véges távolságban. Abban az esetben, ha a távolpont a végtelenben van, akkor a közelpont távolságát a szemtől méterben kifejezve az akkomodációs szélesség reciprokával számíthatjuk ki. Vagyis emmetrópiás egyén esetén, ha az akkomodációs szélessége az adott egyénnek 10 dioptria, akkor a közelpontja 1/10-ed méterre van a szemétől, azaz 10 cm-re. Képlettel kifejezve:

$$D_{acc} = 1 / k_{\delta} - 1 / t_{\delta} = 1 / k_{\delta} - 1 / \infty$$

Mivel $1 / \infty = 0$, ezért emmetrópiás szem esetén a következő módon egyszerűsödik a képlet:

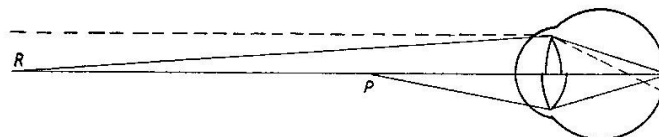
$$D_{acc} = 1 / k_{\delta}$$

A miópiás szem

Miópiásnak nevezzük azt a fénytörést, amikor alkalmazkodásmentes esetben a szem össztörőereje nagyobb, mint ami a szem méretéből következne ($D > B$). Vagyis:

$$A = D - B > 0$$

A miopia pozitív előjelű ametrópiát jelent, és ennek megfelelően mínuszos, azaz szórólencsével korrigálhatjuk. A pozitív előjelű ametrópia azt jelenti, hogy alkalmazkodásmentes esetben a miópiás szem a végtelenből érkező párhuzamos fénysugarakat a retina síkja előtt gyűjti össze, azaz a hátsó fókuszpont a retina síkja előtt helyezkedik el. Távolpontja a végtelenhez képest közelebb van a szemhez, vagyis a távolpontja valódi, és az ametrópia növekedésével párhuzamosan egyre közelebb kerül hozzá. Ezért nevezik „rövidlátásnak”, vagy „közellátásnak” is. Közelpontja is közelebb van a szemhez, mint az emmetrópiás szemé, vagyis a közelpontja is valódi. Mivel a valódi, ám közeli távolpont és közelpont között élesen lát az alkalmazkodás segítségével, így a miópiás szem közelre jól lát, azonban az erős fénytörése miatt távolra a távolpontjától messzebbre rosszul lát, látóélessége távolra gyenge.



29. ábra. A miópiás szem távolpontja és közelpontja.²⁷

A rövidlátás oka lehet a törőerő túlzott nagysága (ezt törési miópiának nevezzük), vagy pedig

²⁷ Dr. Vörösmarthy Dániel: A szem optikája, 1974, Budapest, Medicina Könyvkiadó

a szem túlzott mérete (ezt tengelyi miópiának nevezzük). Törési miópiát okozhat a szaruhártya, illetve a szemlencse erősebb görbülete (görbülési miópia), a szemlencse változó vízfelvétele a cukorbetegség miatt (tranzitorikus miópia), a szemlencse folyamatos vízfelvétele a szürkehályog kezdeti stádiumában (indexes miópia), és a fokozott akkomodációs állapot (akkomodatív miópia). Fontos megjegyezni, hogy az akkomodatív miópia nem valódi miópia, csak az akkomodációs szint rögzülése miatt tűnik annak, és általában a korrigálatlan fakultatív hipermetrópia miatt alakulhat ki. Tengelyi miópia a szem túlzott növekedése miatt következik be, legvalószínűbben genetikai okokra vezethető vissza. Ennek a növekedésnek a testi növekedés befejezésekor meg kell állnia, ha ezután is folytatódik a szem méretének változása, akkor az egy kóros állapot lehet, az ún. progresszív miópia.

A rövidlátást emellett csoportosíthatjuk a mértéke szerint is, aminek megfelelően beszélhetünk kismértékű (3 dioptriánál kisebb), közepesfokú (3-12 dioptria közötti), és nagyfokú (12 dioptriánál nagyobb) miópiáról. A kismértékű miópia nagyjából azonos szinten korrigálható szemüveggel és kontaktlencsével, a közepesfokú eredményesebben korrigálható kontaktlencsével, a nagyfokú esetén megnövekszik a már említett progresszív miópia valószínűsége.

A hipermetrópiás szem

Hipermetrópiásnak nevezzük azt a fénytörést, amikor alkalmazkodásmentes esetben a szem ösztörőereje kisebb, mint ami a szem méretéből következne ($D < B$). Vagyis:

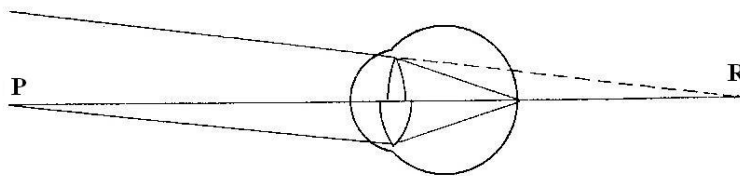
$$\underline{A} = D - B \leq 0$$

A hipermetrópia negatív előjelű ametrópiát jelent, és ennek megfelelően pluszos, azaz gyűjtőlencsével korrigálhatjuk. A negatív előjelű ametrópia azt jelenti, hogy alkalmazkodásmentes esetben a hipermetrópiás szem a végtelenből érkező párhuzamos fénysugarakat a retina síkja mögött gyűjti össze, azaz a hátsó fókuszpont a retina síkja mögött helyezkedik el. Mivel a szem törőereje nem elegendő a párhuzamos fénysugarak retinára történő fókuszálására, ezért a szem elméletileg csak összetartó, konvergáló fénysugarakat tud a retinára „összegyűjteni”. Ennek megfelelően a hipermetrópiás szemnek virtuális távolpontja van a szem mögött. Ameddig az akkomodációs szélessége megengedi, az akkomodáció igénybevételel növelni tudja a szem törőerejét, így az akkomodációval látszólag korrigálhatja saját ametrópiáját is. Ennek megfelelően, ha az alkalmazkodása lehetővé teszi, akkor akkomodatív állapotban jól láthat távolra, a távoli látóélessége azonos lehet az emmetrópiás szemmel. Ezért nevezik „távollátásnak” is, bár ez a megfogalmazás nem annyira megfelelő, mint a rövidlátás a miópia esetén.

A közelpont helyét az határozza meg az életkoron kívül, hogy milyen mértékben kell igénybe vegye a szem az alkalmazkodását távolra, és ez mennyiben vonja magával a konvergenciát. Ezt gyerekkorban kell definiálni, amikor még az akkomodációs szélesség jelentős. Az igénybevett távoli akkomodáció és az ehhez társuló – vagy nem társuló távoli konvergencia,

és ezen keresztül a pozitív relatív akkomodációs szélesség segítségével három csoportot különböztetünk meg.

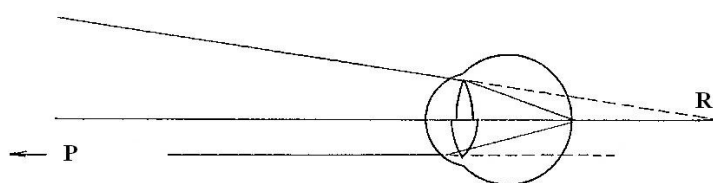
Fakultatív hipermetrópiáról beszélünk, ha az ametrópia fokának abszolút értéke kisebb, mint a pozitív relatív akkomodációs szélesség. Ebben az esetben távolra nézéskor akkomodálni fog a gyerek, de ehhez nem társul távolra a konvergencia, ezért távolra megfelelően lát egyszerre mindkét szemével, és képes a jó binokuláris látásra. Közelpontja valódi lesz, mivel gyerekkorban még elegendő alkalmazkodóképességgel rendelkezik, azonban ez távolabb lesz a szemtől, mint az emmetrópiás szemé. 25-30 éves koráig távolra és közelre is jól lát. Először általában közeli látászavarai lesznek majd, ami azonban jelentősen megelőzi azt az életkort, ami a presbiópiára jellemző.



30. ábra. A fakultatív hipermetrópiás szem távolpontja és közelpontja.²⁸

Relatív hipermetrópiáról beszélünk, ha az ametrópia fokának abszolút értéke nagyobb, mint a pozitív relatív akkomodációs szélesség, azonban kisebb, mint a teljes gyerekkori akkomodációs szélesség. A pozitív relatív akkomodációs szélesség általában 3 dioptria, a gyerekkori akkomodációs szélesség kb. 12 dioptria, vagyis relatív hipermetrópiának a 3 és 12 dioptria közötti ametrópiájú eseteket tekintjük. Ebben az esetben a távolra nézés még szintén lehet éles az akkomodáció miatt, azonban a konvergencia is megjelenik távolra tekintéskor, vagyis az egyik szem nézővonala befelé térül az egyenesen előre tekintéshez képest. Ez távolra kettős képet eredményez, amelyek közül a gyengébb minőségűt az idegrendszer letiltja, és egyszemessé válik a látás. Amennyiben a két szem közel azonos képminőség létrehozására képes, akkor lehet, hogy a páciens felváltva, alternálva tudja használni a szemeit, de minden ettől eltérő esetben az egyik oldal tompalátóvá, *ambliópiássá* válik. Ez a folyamat a gyerekkor elején lejátsszódik, így korrigálását a lehető leghamarabb meg kell oldani. Mivel a helyes binokuláris látásnak általában 4-5 éves korra ki kell alakulnia, ezért már előtte célszerű megkezdeni a korrigálást. A gyakorlatban akkor célszerű megkezdeni a relatív hipermetrópia korrigálását, amikor az egyik szem befelé térülése láthatóvá válik.

A relatív hipermetrópiás páciens távolpontja virtuális, közelpontja valódi, azonban az ametrópia nagyságának növekedésével párhuzamosan egyre messzebb kerül a szemtől, így sokkal hamarabb, akár már gyerekkorban is közeli látási panaszai lehetnek.

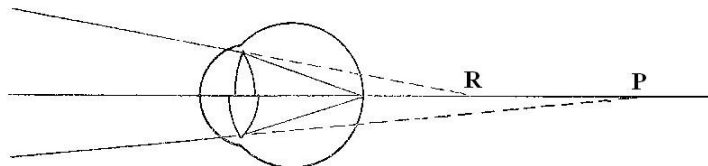


31. ábra. A relatív hipermetrópiás szem távolpontja és közelpontja.²⁹

²⁸ Dr. Vörösmarthy Dániel: A szem optikája, 1974, Budapest, Medicina Könyvkiadó

²⁹ Dr. Vörösmarthy Dániel: A szem optikája, 1974, Budapest, Medicina Könyvkiadó

Abszolút hipermetrópiáról beszélünk, ha az ametrópia fokának abszolút értéke nagyobb, mint az akkomodációs szélesség. Az akkomodációs szélesség gyerekkorban kb. 12 dioptria, vagyis abszolút hipermetrópiának a 12 dioptriánál nagyobb ametrópiájú eseteket tekintjük. Ebben az esetben az akkomodációs szélesség már kevés a távoli éleslátáshoz is, így az abszolút hipermetrópiás mind távolra, mind pedig közelre rosszul lát, mivel ehhez még a teljes akkomodációs szélessége sem elég. Távolpontja és közelpontja is virtuális.



32. ábra. Az abszolút hipermetrópiás szem távolpontja és közelpontja.³⁰

Más megközelítésben a hipermetrópia oka lehet a törőerő gyengesége (törési hipermetrópia), vagy pedig a szem kis mérete (tengelyi hipermetrópia). Törési hipermetrópiát okozhat a szaruhártya, illetve a szemlencse átlagosnál laposabb görbülete (görbülési hipermetrópia), a szemlencse elmozdulása (luxáció vagy szubluxáció), illetve a szemlencse teljes hiánya (afákia).

Az asztigmias szem

Az asztigmia, vagy más néven asztigmatizmus az Optikai alapismeretek című fejezetben tárgyalt módon kétféle jelentést hordoz magában. Egyrészt egy az optikai tengelytől távol lévő tárgy pont képalkotása során valósul meg még teljesen szabályos szférikus felület esetén is, míg másrészt olyan optikai testek esetén történik meg, amelyeknél a különböző síkokban egymástól eltérő görbületi sugarak vannak. Mint láttuk, a szaruhártya a legtöbb ember esetén fiziológiásan sem gömb alakú, hanem a függőleges síkban enyhén összenyomott formát vesz fel, és a felülete tórikus. Jelen fejezetben a szemnek azt az állapotát értjük majd az asztigmia alatt, amikor a különböző síkjaiban, vagy más néven meridiánjaiban eltérőek a görbületi sugarak a fiziológiás asztigmatiától függetlenül.

A leképzési hibáknál említett definíciónak megfelelően a legnagyobb görbületi sugarat tartalmazó síkot meridionális síknak nevezzük, míg a legrövidebb a görbületi sugarat tartalmazó síkot szagittális síknak nevezzük. A két síkban az eltérő görbületi sugarak eltérő törőerő értéket eredményeznek, így a képalkotásuk is eltérő lesz. Mivel a görbületi sugar fordítottan arányos a törőerővel, így a meridionális síkban lesz a legkisebb a törőerő, és a szagittális síkban lesz a legnagyobb. A fókusz távolság esetén ebből kifolyólag – mivel az is fordítottan arányos a törőerővel – a meridionális fókusz távolság a leghosszabb, és a szagittális fókusz távolság a legrövidebb. Ennek megfelelően az asztigmias szemnek minden esetben két első fókuszpontja és két hátsó fókuszpontja van. A fókusz távolságok eltérő nagysága miatt, amennyiben külön-külön nézzük a két sík képalkotását, akkor a fősíkokhoz közelebb egy szagittális, majd távolabb egy meridionális kép keletkezik. A tórikus felület, vagyis az

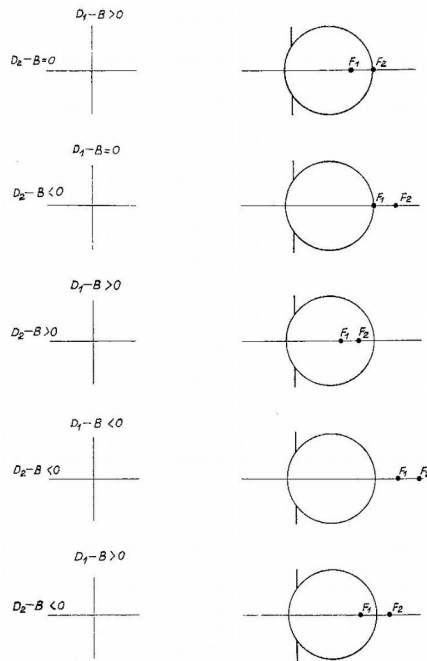
³⁰ Dr. Vörösmarthy Dániel: A szem optikája, 1974, Budapest, Medicina Könyvkiadó

asztigmias szem által létrehozott eredő kép formája a leképzési hibáknál tárgyaltaknak megfelelően a *Sturm-féle konoid*.

Az asztigmatizmust alapvetően két alapszintoportba kell felosztani a meridionális és a szagittális síkok mennyisége és helyzete alapján. Ha összesen egy maximális és egy minimális görbületi sugarú meridián van, melyek egymásra pontosan merőlegesek, akkor az asztigmatizmust szabályosnak, vagy idegen kifejezéssel élve *reguláris asztigmianak* nevezzük. Ha nem pontosan egy-egy minimális és maximális görbületi sugarú meridián található a szemben, illetve ezek nem pontosan merőlegesek egymásra, akkor szabálytalan asztigmatizmról, vagy idegen kifejezéssel élve *irreguláris asztigmatizmról* beszélünk. Irreguláris asztigmatia általában nem természetes úton keletkezik, kialakulása valamilyen szembetegséghez, vagy szemészeti sérüléshez köthető, és nem korrigálható szemüveglencsével és lágú kontaktlencsével.

A továbbiakban csak a reguláris asztigmatizmról foglalkozunk. A reguláris asztigmatizmról belül csoportosíthatjuk az asztigmatizmust a tengelyállás szerinti. Ha az asztigmatia irányai megfelelnek a fiziológiás asztigmatia irányának, vagyis az asztigmatia tengelyei vízszintesen és függőlegesen állnak, és emellett a függőleges síkban erősebb a törőerő, akkor az ilyen típusú asztigmatizmról *direkt asztigmatizmról* nevezzük. Általában nem vesszük a gyakorlatban szigorúan a csak vízszintes és csak függőleges irányt, az ettől +/- 5-10°-kal eltérő tengelyállás még direkt asztigmatizmról minősül. Amennyiben a vízszintes síkban az erősebb a törőerő, akkor *indirekt asztigmatizmról* beszélünk. Ha a tengelyek nem a vízszinteshez és a függőlegeshez közeli meridiánba esnek, akkor *ferdetengelyű asztigmatizmról* beszélünk.

A harmadik és egyben korrekciós szempontból legfontosabb csoportosítási lehetőség a fókuszpontok elhelyezkedése szerinti csoportosítás. Ebben az esetben azt kell megvizsgálni, hogy a meridionális és a szagittális fókuszpont külön-külön hogyan helyezkedik el a retinához képest. Ha az egyik fókuszpont éppen a retinára esik, és a másik fókuszpont a retina előtt helyezkedik el, akkor *egyszerű miópiás asztigmatizmról* beszélünk. Ha mindkét fókuszpont a retina előtt helyezkedik el, akkor *összetett miópiás asztigmatizmról* beszélünk. Ha az egyik fókuszpont éppen a retinára esik, és a másik fókuszpont a retina mögött helyezkedik el, akkor *egyszerű hipermetrópiás asztigmatizmról* beszélünk. Ha mindkét fókuszpont a retina mögött helyezkedik el, akkor *összetett hipermetrópiás asztigmatizmról* beszélünk. És ha az egyik fókuszpont a retina előtt, míg a másik fókuszpont a retina mögött helyezkedik el, akkor *kevert asztigmatizmról* beszélünk. Minden esetben az adott fókuszpont jellemzőit a neki megfelelő alap esetre (emmetrópia, miópia, vagy hipermetrópia) kell visszavezetni. Korrigálását is – mely a látszerészek esetén a reguláris asztigmatia eseteire vonatkozik – a két fő meridiánnak megfelelően kell elvégezni tórikus lencsével.



33. ábra. Az asztigmia különböző típusai a fókuszpontok elhelyezkedése szerint.³¹

A presbiópiás szem

A presbiópia, vagy régebbi nevén „öregszeműség” alapvetően nem tartozik az ametrópiák közé, mert az akkomodációs képesség fiziológias csökkenése okozza, és amelynek nincs hatása a páciens távoli látására. Az ametrópiákat pedig távolba nézés esetén definiáljuk. Az életkor előrehaladtával a szemlencse rugalmassága csökken, és egyre kevésbé tudja az alakját változtatni a sugárizom megfeszülésekor. Ez már gyermekkorban elkezdődik, azonban általában csak 40-45 éves korban válik a páciens számára észrevehetővé. Az akkomodációs szélesség csökkenése miatt a közelpont egyre távolabb kerül a szemtől. Akkor tekintjük a páciens presbiópiásnak, ha a megszokott munka-, vagy olvasótávolságát meghaladja a közelpont, és a páciens által megszokott közeli távolságban már nem lát elég élesen. Kezdetben a tárgy távolabb tartásával védekezik a páciensek többsége, azonban ez is kevés lesz idővel. Ilyenkor a páciens közeli korrekcióra szorul. A közeli korrekcióval nem kell a teljes akkomodációs szélességet pótolni, hanem csak a páciens számára hiányzó akkomodációs részt. Ezt a hiányzó akkomodációs részt a távoli korrekcióhoz kell hozzáadni a még meglévő akkomodációs szélesség figyelembevételével, amit addíciónak nevezünk. A közeli korrekció megoldható külön olvasószemüveggel, bifokális szemüveg-, vagy kontaktlencsével, progresszív szemüveg-, vagy kontaktlencsével, illetve főleg a számítógépes munkahelyekhez kifejlesztett munkaszemüveggel.

A közeli látásproblémát befolyásolja a korrigálatlan ametrópia is. Korrigálatlan hipermetrópia esetén az alkalmazkodóképesség egy részét a páciens igénybe veszi távolra, így kevesebb marad a közeli látáshoz. Ilyenkor már 40 éves kor előtt jelentkeznek a közeli problémák, azonban ez nem jelent presbiópiát, mert a panasz a távoli korrekcióval időlegesen, a presbiópia tényleges megjelenéséig megszűnik. Korrigálatlan miópia esetén pedig sokkal később jelentkezhet, mivel a páciens jól lát közelre, és korrigálatlan esetben a közelpontja

³¹ Dr. Vörösmarthy Dániel: A szem optikája, 1974, Budapest, Medicina Könyvkiadó

sokkal közelebb van a szeméhez. Miópiásoknál gyakran előfordul, hogy a szemüveg levétele elegendő a jó minőségű közeli látáshoz, így soha nem szorulnak közeli korrekcióra. Ha a páciens távolra asztigmias, akkor néhány extrém kivételtől eltekintve közelre is asztigmias lesz.

2.2.8. A korrekciós eszközök optikai hatása

A szemüveglencse elméletileg abban az esetben helyezkedik el ideálisan, amikor a szemüveglencse hátsó felülete a szem elülső fókuszpontjába esik. A szemüveglencse hátsó felületének és a szaruhártya első csúcspontjának távolságát *LC-távolságnak* nevezzük. Ha az említett feltétel teljesül, akkor a Lencserendszerek optikai jellemzői című alfejezetben ismertetett módon, a rendszer eredő törőereje megegyezik majd a szem törőerejével, vagyis a szemüveglencse-szem összetett rendszer képalkotás tökéletesen megegyezik majd a szem képalkotásával. Ilyenkor a szemüveglencse feladata a fősíkok helyének eltolása. A gyűjtőlencse előrefelé tolja a fősíkokat, míg a szórólencse hátrafelé tolja a fősíkokat. Fontos megjegyezni, hogy itt a fizikai értelemben vett természetes éles képről beszélünk, ami ametrópia esetén nem a retinán keletkezik, vagyis ez nem a retinális kép ametrópia esetén.

Abban az esetben, ha a szemüveglencse nem ebben az ideális helyzetben van, akkor a következőképpen fogja megváltoztatni a nagyítási viszonyokat. Ha a gyűjtőlencse távolabb van az első fókuszpontnál, akkor a szemüveglencse nagyítani fog. Ha a gyűjtőlencse közelebb van, mint az első fókuszpont, akkor a szemüveglencse kicsinyíteni fog. Ha a szórólencse távolabb van az első fókuszpontnál, akkor a szemüveglencse kicsinyíteni fog. Ha a szórólencse közelebb van, mint az első fókuszpont, akkor a szemüveglencse nagyítani fog.

A kontaktlencse hatásmechanizmusa másként működik az optikai rendszerben, mivel a kontaktlencse a szaruhártyára illeszkedik. Elsősorban a szaruhártya törőerejét módosítja, majd ez a módosított szaruhártya törőerő változtatja meg végül a szem optikai hatását a szemlencsével együtt. Mivel a kontaktlencse közvetlenül a szaruhártyán helyezkedik el, így a szemüveglencsénél leírt optikai hatás itt nem érvényesül. Bár a kontaktlencse megváltoztatja a fizikai értelemben vett éles kép nagyítását, azonban a retinális képméretet kevésbé változtatja meg, mint a szemüveglencse, így a páciens számára sokkal közelebb van a képméret a korrekció nélküli állapothoz. Ezért a kontaktlencse természetesebbnek tűnhet a páciens számára képméret szempontjából.

Az egyes típusok optikai hatása eltérő. A lágy kontaktlencsék részben „felveszik” a szaruhártya alakját, ezért a módosított szaruhártya törőerő egyszerűen a kontaktlencse és a szaruhártya törőerejének összege lesz. Kemény, illetve gázáteresztő kontaktlencsék esetén a kontaktlencse nem veszi fel a szaruhártya alakját, a kettő között egy könnyréteg alakul ki, amit optikai okok miatt „könnylencsének” nevezünk. A módosított szaruhártya törőerő ebben az esetben a kontaktlencse, a könnylencse, és a szaruhártya törőerejének összege lesz. A törőerők mellett fontos szempont lesz a könnylencse alakja is, mely eltérő lesz a kontaktlencse különböző illesztési esetén, vagyis a könnylencsének más lesz az optikai hatása szoros-, párhuzamos-, és laza illesztés esetén, amit a végső korrekció meghatározásához is figyelembe kell venni

3. Optikai cikkek anyag- és áruismerete

Az optikai szaküzletekben értékesített termékek köre jelentősen megváltozott az elmúlt évtizedek során. Míg a 1980-as, 90-es években még a műszaki cikkek egyes típusai is megtalálhatóak voltak az üzletekben, addig mára ezek teljesen kiszorultak az optika üzletekből. A digitális technológia térnyerése miatt hasonló sorsra jutottak a fényképezőgépek is. Ez a változás nem állt meg, ezért a tananyag a jövőben is állandó aktualizálásra szorul majd, annak megfelelően, hogy a külső környezet hatására hogyan változik majd az optikai szaküzletekben ténylegesen kínált termékek köre. A fejezetben leírtak a jelen pillanathoz igazodnak, és ezek jellemzőit veszi sorra. A forgalmazott termékek közül kivételt képez a kontaktlencse anyag- és áruismerete, mely a kontaktlencsék egyéb kérdéseivel együtt a következő fejezetben kerül majd bemutatásra.

3.1. Szemüveglencsék anyag- és áruismerete

A szemüveglencsét több szempont szerint csoportosíthatjuk. Ezek a csoportok az alábbiakban tárgyalt tulajdonságokra, technológiákra egyaránt érvényesek.

- anyag szerint (üvegek és műanyag)
- szín szerint (fehér, anyagában színezett (állandó és fotokromatikus)
- gyártási mód szerint (széria és receptúra)
- az alkalmazott optikai felületek szerint (szférikus, tórikus, aszférikus, progresszív)
- a látómező geometriai osztoztsága szerint (normál és lentikuláris)
- geometriai átmérő és alak szerint
- centráltság szerint (centrál, decentrál, prizmatikus)

A szemüveglencsék, mint korábban már említésre került, általában egy domború és egy homorú felületből állnak. Erre a lencseformára azért van szükség, mert így korrigálható ki a lencsének a saját széli asztigmatizmusa. Más optikai eszközök estén a leképezés során a fénysugarak általában az optikai tengellyel párhuzamosan haladnak, ezért ezzel nem kell foglalkozni. Azonban a szemüveg esetén nem elegendő az optikai tengely közeli fénysugarak figyelembevétele, mivel az emberek igénybe veszik a lencse széli területeit is, hiszen a tárgyak megfigyelésére kényelmesebb a szemek forgatása, mint a teljes fej vagy test állandó tárgy felé fordítása. A nem megfelelő lencsealak ezt jelentősen megnehezítené. Ha viszont kikorrigáljuk a lencse széli asztigmatizmusát, akkor a páciens az egész lencsefelületet igénybe veheti a tárgyak megfigyelésére. Az első ilyen szemüveglencse 1912-ben készült el Punktal márkanéven. A „punktális” (pontoszerű) leképezés az asztigmatizmustól mentes, pontoszerű képalkotást fejezte ki a névválasztásban. Gyártástechnológiai okokból csak néhány extrém magas dioptria esetén alkalmaznak más felületkombinációt, ahol a félkész termékek nem teszik lehetővé az említett megoldást. Ilyen esetekben az egyik felület sík lesz, ami már csökkenti a lencse leképzési hibamentességét.

Szemüveglencsék kétféle alapanyagcsoportból készülnek: üvegből és műanyagból. Alapvetően elmondható, hogy az üveg egy optikailag tisztább alapanyag, mely nagyon jó minőségű kép létrehozására alkalmas. Negatívuma közé sorolható a nagyobb súly és a

törésveszély. Azokban az optikai eszközökben (pl. távcsövek, mikroszkópok, professzionális objektívek, stb.), ahol a súly és a törhetőség nem a legfontosabb szempont, azonban tökéletes képminőségre van szükség, ott még ma is az üveg alapanyag a meghatározó. Szemüveglencsék esetén a mai fejlett műanyagok az emberi szem számára kielégítő optikai tisztaságúak és biztonsági szempontok, illetve a hordási kényelem igénye miatt mára sokkal jobban elterjedtek. Mára a két alapanyag közül a világpiacon 95 % fölötti arányban értékesítenek műanyag alapanyagú lencsákat. Az üveg alapanyag csak az olcsóbb és a speciális minőségi igényeket kielégítő kategóriákban maradt meg.

3.1.1. Szemüveglencsék anyagjellemzői

Ebben a témakörben jelentős mennyiségű információ érhető el az egyes gyártó cégek katalógusaiban, melyek segíthetik a mestervizsgára történő felkészülést. Ennek figyelembevételével a mostani rész főleg az egyes fogalmak tisztázására és a legfontosabb eltérések kiemelésére szorítkozik.

A szemüveglencséknek az alábbi fizikai anyagjellemzői vannak: fajsúly, keménység, ütésállóság, hőtágulási együttható. A vegyi jellemzők sorába tartozik a klimatikus ellenállóképesség, a nedvesíthetőség és a savállóság. Az alábbiakban ezeket a tulajdonságokat vesszük szemügyre.

Az üveg alapanyagok jellemzően SiO_2 -ból készülnek, mely minden üvegtermék legfontosabb alapanyaga. Az alapanyag gyártása során alkalmazott segédanyagok mellett különböző adalékanyagokkal (főleg fémekkel és fénoxidokkal) tág határok között szabályozhatóak mechanikai és optikai jellemzőik. A segédanyagokat és az adalékanyagokat az alapanyag gyártása, olvasztása során kell az alapanyaghoz keverni, azok stabilan az anyag részévé válnak, tulajdonságaikat nagyon sokáig (általában a teljes életciklusban) megőrzik. Az alkalmazott adalékanyagok – mivel főleg fémekről és fénoxidokról van szó – megnövelik az alapanyag *anyagsűrűségét*, és ezen keresztül a lencse súlyát is. Az üveglencsék vékonyítása érdekében alkalmazott fémek és fénoxidok az előbbiekből következően megnövelik az adott alapanyag fajsúlyát, így üveg lencsénél a vékonyítás nem jelent okvetlenül „könnyített” lencsét.

A műanyag alapanyagok, melyeket a szemüvegoptikában használunk, hosszú szénláncokból épülnek fel, és lehetnek hőre keményedő, illetve hőre lágyuló műanyagok is. Eltérően az üvegtől a különböző alapanyagokat általában nem egy szénlánc adalékanyagokkal történő módosításával hoznak létre, hanem az egyes alapanyagok teljesen más szénmolekulából épülnek fel. Egy adott alapanyag sűrűsége minden esetben az őt felépítő szénlánc molekulásúlyától függ, amely semmilyen más szabályszerűséget nem mutat a különböző alapanyagok esetén. Azonban minden egyes műanyag alapanyagra igaz, hogy anyagsűrűsége és ezen keresztül a súlya lényegesen kisebb, mint bármelyik üveg alapanyagé.

Szemüveglencsék esetén az egyik legfontosabb optikai jellemző az anyag *törésmutatója*. Mivel a szemüveglencsákat levegőben alkalmazzuk, ezért a levegőre vonatkoztatott törésmutatóra van szükségünk. Az Optikai alapismeretek című fejezetben ismertetett módon egy adott lencse törésmutatója a levegőben mért fénysebesség és a lencse anyagában mért fénysebesség hányadosával egyenlő. Üveg esetén az alapüveg törésmutatója 1,523, melyet adalékanyagokkal növelhetünk. Szemüvegoptikában a legelterjedtebb alapanyagok

törésmutatója 1,6; 1,7; 1,8; és 1,9. A magasabb törésmutatójú anyagok jobban törnek a fényt, ezért ugyanolyan törőerő létrehozásához laposabb görbület, és ezen keresztül vékonyabb lencseforma is elegendő. Mivel ezt fémekkel és fémoxidokkal érik el, ezért ez a vékonyabb lencsekialakítás ellenére is növeli a lencse súlyát. Műanyag esetén az alap törésmutató, mely a CR 39-es alapanyag törésmutatója, 1,498. Magasabb törésmutató értékek számos változatban forgalomba kerültek, melyeknél vagy a vékonyítás igénye adja fő szerepet (ilyen törésmutatójú pl. 1,53; 1,6; 1,67; 1,74 alapanyagok), vagy pedig egyes speciális tulajdonságai emelik az alapanyagok közé. Ilyen tulajdonságok pl. a törésekkel, ütéssel szembeni jó ellenállás, mint a polikarbonát vagy a Trivex esetén. De az egyes szemüvegkeret típusokba csiszolandó lencse megmunkálásából eredő elvárások is ebbe a körbe tartoznak („fűrt” és „damilos” keretek). A magas törésmutatójú műanyagok esetén nincs szoros kapcsolat a törésmutató és az anyagsűrűség között, ezért általában a lencse vékonyítása egyben a lencse súlyának csökkentését eredményezi, sőt az is előfordul, hogy extrém mértékben csökken a lencse súlya a kisebb molekulásúly miatt.

A törésmutató mellett nagyon fontos optikai jellemző az alapanyag színbontása is. Az emberi szem érzékeny az egyes anyagok színbontó képességére, és amennyiben az meghalad egy bizonyos határt, akkor a szemüveglencse színbontása zavarni fogja a páciens. Ez egyénileg változó, vannak emberek, akiknek átlagon felüli a toleranciája, azonban gyakran előfordul olyan páciens is, akit már a kismértékű színbontás is zavar. Az alapanyagok színbontó képességét az *Abbe-szám* jellemzi, mely definíció szerint:

$$v_e = (n_e - 1) / (n_F - n_C)$$

ahol az egyes betűjelölések az egyes színek tartozó törésmutató értéket jelölik. A betűk a Fraunhofer-féle színkép jelölését követik: „e” az 546 nm-es higany zöld színre, az „F” a 480 nm-es kadmium kék színre, és „C” a 644 nm-es kadmium vörös színre vonatkoztatott törésmutatót jelenti az adott anyag esetén. A hagyományoknak megfelelően az 50-nél nagyobb Abbe-számú anyagokat koronaüvegnek, az 50-nél kisebb Abbe-számú alapanyagokat flintüvegnek nevezzük. A koronaüveg színbontása kisebb, mint a flintüveg színbontása, ezért színbontás szempontjából a koronaüvegek a megfelelőbbek. Üveg alapanyagok esetén a törésmutató és a színbontás között szoros összefüggés van, minél nagyobb a törésmutató értéke, annál kisebb az Abbe-szám, vagyis annál nagyobb a színbontás. Az 1,8-as és 1,9-es törésmutatójú anyagok színbontása már zavaró lehet a páciensek részére. Ezeket az alapanyagokat általában az erősebb miópia korrigálására alkalmazzák (nem is készül belőlük pluszos változat) a súlynövekedés miatt. És általában főleg a miópiások érzékenyebbek a nagyobb színbontásra is, ezért a tapasztalatok szerint ez gyakran zavarhatja is őket megnehezítve az alapanyag alkalmazhatóságát. Műanyag lencsék esetén az anyagsűrűséghez hasonlóan már nincs ilyen szoros összefüggés a törésmutató növelése és az Abbe-szám csökkenése között. A mindennapi gyakorlatban előfordul, hogy a törésmutató növekedésével párhuzamosan nem csökken, hanem növekszik az Abbe-szám értéke, és ezen keresztül az alapanyag színbontó képessége. Fontos azonban itt is, hogy 40-es érték alatt ez már zavarhatja a páciens látását.

Bár a legtöbb termékkatalógus nem foglalkozik a következő kérdéssel mégis fontos, hogy az egyes alapanyagok mennyire állnak ellen a külső környezeti hatásoknak. Az egyik kérdés az

alapanyagok vegyszerállósága, vagyis, hogy mennyire állnak ellen a savas, illetve a lúgos hatású szereknek. Az üveg alapanyagok nagyon jól ellenállnak mind a savas, mind pedig a lúgos vegyszereknek. Műanyagok esetén ez már alapanyagfüggő, és elképzelhető, hogy a vegyszerek megváltoztatják az anyag kémiai szerkezetét, ami az átlátszóság elvesztésével járhat. Műanyagok esetén célszerű kerülni az erős maró hatású anyagokat. Külön érdemes megjegyezni, hogy a fent említettek csak az alapanyagra érvényesek, és nem állnak fenn például a rétegezett lencsék esetén. A reflexiócsökkentő rétegeknél alkalmazott anyagok savállósága rossz, azonban a lúgokkal szemben az ellenálló képességük jó. Savas anyagok – mint akár például az izzadságban lévő zsírsavak is – képesek megbontani a rétegeket, és azok tönkremenetelét okozzák. Tisztítani csak lúgos hatású szerekkel szabad a reflexiócsökkentő rétegeket!

Következő kérdés a mechanikai hatásokkal szembeni ellenállás. Az üveg alapanyag jól ellenáll a felületét karcoló hatásokkal szemben, azonban szerkezetéből adódóan rosszul áll ellen a nagyobb behatásoknak. Erősebb mechanikai hatások, vagy ütés esetén a lencse törik, és ráadásul a szemre is veszélyes módon, szilánkosan. Egyes országokban ezért tilos az üveg alkalmazása vagy általánosan, vagy pedig a gyerekeknél. Ezzel szemben a műanyag alapanyagok jól ellenállnak az erősebb mechanikai hatásoknak, vagy az ütésnek. Egyes alapanyagoknál (pl. polikarbonát és Trivex) ez a képesség jelentősen megnövekedhet, és a hétköznapi használat során törésállóak lehetnek. (Gyakori hiba ezeket az anyagokat „törhetetlenek” nevezni. Minden anyagnak van egy ún. szakítószilárdsága, amely megmutatja, hogy mekkora erő kell ahhoz, hogy eltörjön az adott anyag. Minden anyag eltörhető, még az acél is, csak megfelelő nagyságú erő kell hozzá.) Ezzel szemben a mechanikai karcokkal szemben kicsi az ellenállása a műanyag lencséknek, könnyen karcolódnak.

Végül az alapanyagok hőállóságát is tisztázni kell. Mivel az üveggyártás során az üveg alapanyagait 1300-1400 fokon olvasztják össze, és képlékennyé is csak 600° Celsius felett válik, ezért a látszerészeti gyakorlatban alkalmazott hőmérsékletek meg sem közelítik ezt, így a látszerészet szempontjából az üveg kiváló hőállósággal rendelkezik. Ezzel szemben a műanyagoknál figyelni kell erre a fizikai hatásra, mivel az optikai iparban hőre lágyuló műanyagokat is alkalmazunk. Általánosan elmondható, hogy a túl magas hőfokra állított gyöngyös melegítők – melyek az üveg lencséknél semmilyen károsodást nem okoznak – tönkre tehetik a műanyagok anyagszerkezetét, melynek hatására azok átlátszósága megváltozik, megszűnik. További nehézséget okoz, hogy a reflexiócsökkentő rétegek is tönkre megy 80-90° Celsius felett. Különösen igaz ez a magas törésmutatójú alapanyagokra, ahol 80° Celsius felett már maradandó anyagszerkezeti változások történnek, így ezeket az anyagokat nem szabad ilyen hőmérsékletnek kitenni, célszerű ilyen esetben hőlégfúvót alkalmazni, mellyel egyrésztől könnyebben lehet szabályozni a hőmérsékletet, másrészt pedig irányítani is lehet a levegő irányát pl. szűkítővel.

Itt szükséges megjegyezni, hogy a kor kihívásainak megfelelően a szemüveglencsegyártók már a műanyaglencsék alapanyagaiba vírucid és baktericid hatású nemesfémionokat (ezüst részecskéket) is kevernek, ezzel egyes fertőzések kockázatát csökkentve. Napjaink egyik kihívása az UV és a kék fény elleni védelem (ld. Felületkezelések fejezetben). Mára elérhetőek olyan műanyag szemüveglencsék, amelyek anyagukban szűrik az UV sugárzást (400 nm-ig) és a kék fényeket is (400-455 nm között).

Végül érdemes szót ejteni az anyaghibákról. Gyakran előforduló hiba a buborék. Üveglencsék tipikus olvasztási hibája, ami azért keletkezik, mert az olvasztás során keletkező gázoknak nincsen elegendő idejük, hogy kiszabaduljanak az anyagból. Műanyaglencsék esetén a buborékok öntési technika hibái, levegő került az öntőformába. A buborékok méretük és elhelyezkedésüktől függően rontják a képalkotást, mechanikailag gyengítik a lencsét.

A zárványok meg nem olvadt szilárd részecskék, amelyek az alapanyagból erednek, de lehetnek a kemencebélés levált részei is. Műanyag lencsénél a zárványokat a monomer nem megfelelő szűrése, az öntőforma szennyezettsége okozhatja.

A fátyol a lencse képalkotását rontó, eltérő törésmutatójú anyagrészt, ami az üvegek esetén a nem megfelelően elkevert anyagból származik. Műanyagok esetén rendszerint az anyag lokális megváltozásából ered.

Az elszíneződés oka az anyagot szennyező részecskék, de lehet az üveg nem megfelelő hőkezeléséből származó kristályosodás. Kristályosodás akkor lép fel, ha hőkezeléskor az üveget túl lassan hűtötték le és így időt hagytak a kristályok kialakulására. Műanyagoknál többnyire a lencse széle szokott sárgulni, de előfordulhat az egész lencse sárgulása, aminek az egyik oka az anyag túlságosan magas klórtartalma lehet.

A feszültségesség forrása üvegek esetén általában a nem megfelelő sebességű hűtés. A feszültségű üveg a törésre érzékenyebbé válik. Műanyagok esetén a feszültség magából a gyártási eljárásból ered, amelyet a gyártástechnológia során kalkulálnak és korrigálnak. Mi magunk is elő tudjuk idézni a lencsék feszültségességét a becsiszolás során. Üveg lencsénél fokozódik a lencsék törésveszélye. Műanyag lencsénél a lencse fizikailag is torzulhat. A torzulás veszélye a hosszabb keresztmetszetben a nagyobb, így nemkívánt cylinder hatást is előidézhetünk, ami rontja a leképzés minőségét.

Összességében a fent említett anyaghibák rontják a képalkotást és mechanikailag gyengítik a lencsét.

3.1.2. Szemüveglencsék gyártása

A tényleges gyártási folyamatok bemutatása előtt célszerű a szemüveglencsék gyártási folyamatait két részre bontani a gyártási darabszám szerint. Az olyan dioptriákat, melyekből folyamatosan nagyobb mennyiség fogy célszerű raktárra gyártani egyszerre nagy darabszámmal. Az ilyen típusú termelést *szériagyártásnak* nevezzük. Ebbe a kategóriába esik hagyományosan az $sph. \pm 6,00 \text{ cyl. } 2,00\text{-ig}$ dioptriartartomány. Azonban a globalizáció és a technológia fejlődése miatt (kevesebb gyár lát el lényegesen több országot) mára egyre több típus, és egyre szélesebb dioptriartartományban kerül ebbe a csoportba, sőt megjelentek a műanyag alapanyagú, szférikus távoli értékű bifokális, progresszív és munkaszemüvegek is a raktári szériatermékek között. A másik gyártási típus a teljesen egyedi, a pillanatnyi megrendelési értéken alapuló gyártás, melyet *receptúragyártásnak* nevezünk. Ilyen esetben egy lencsepár adatai képezik a gyártás alapját, melynek tagjait külön-külön készítenek el, de a további gyártási folyamatokat, mint például a színezés, vagy rétegzés, már egyszerre végzik el az egyformaság érdekében.

Üveglencsék esetén mindkét technológia alapja egy félkész termék, mely egy üveg korong. Az üveg félkész lencsének már tartalmaznia kell minden olyan adalékanyagot, mely a lencse optikai viselkedését meghatározza, utólag már csak rétegzéssel módosíthatóak a jellemzők,

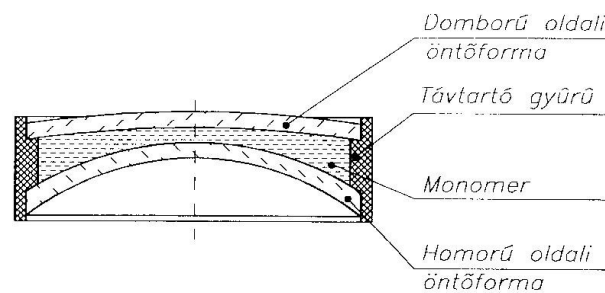
ami korlátozott (pl. reflexiócsökkentő réteg, speciális színezések). Vagyis a leggyakoribb színezéseket, illetve a fényre sötétedést biztosító anyagokat az üveg olvasztásakor kell az alapanyagba tenni. Az üveg legfontosabb alkotóeleme a SiO_2 , mely a különböző típusok esetén az anyag kb. 40-80 %-át teszi ki. Emellett az egyes alapanyag típusok tartalmazhatnak még meszet, nátront, kálit, timföldet, ólomoxidot, és bórsavat. A nátront és a kálit szénsavas vagy salétromsavas sók szolgáltatják. A nátront szódával vagy glaubersóval, a kálit pedig hamuzsírral vagy salétrommal visszük az üvegebe. Az 1300-1400 fokon megolvasztott alapanyagokat egyenletesen el kell keverni, majd a folyékony üveget formába kell önteni. A technológia fontos része az öntött üveg megfelelő, lassú hűtése. A gyors hűtés feszültségeket hoz létre az anyagban, mely törékennyé teszi az üveget.

Általában a folyamat nem a szemüveglencsegyártó cégeknél történik, a lencsegyárakba már az összes összetevőt tartalmazó félkész üvegtérmekek érkeznek. A félkész termék felülete durva, és emiatt átlátszatlan. Az átlátszóságot a lencsegyártás végén éri el. A lencsegyártás folyamata mindkét felületen három lépésből áll: durvacsiszolás, finomcsiszolás, és polírozás. A durvacsiszolás eltávolítja a felesleges anyagok jelentős részét. A finomcsiszolás kialakítja a kívánt görbületi sugarakat, azonban még nem biztosít átlátszóságot a lencsefelületeknek. A két csiszolási folyamatban gyémánt részecskéket tartalmazó csiszolószerszámokat használnak. A polírozás során a finomcsiszolás után megmaradó felületi egyenetlenségeket tüntetik el, melynek végén egy sima, szabályos, és átlátszó felületet kapunk. A széria- és a receptúragyártás csak annyiban tér el egymástól üveg alapanyag esetén, hogy a szériagyártó gépek egyszerre sok félkész befogását teszik lehetővé, és a csiszolás folyamata sokkal termelékenyebben zajlik. Receptúragyártásnál egyszerre csak egy lencse csiszolása történik meg.

Műanyag alapanyagok esetén két lehetősége van a szemüveglencse gyártójának: vagy az üveg alapanyagokhoz hasonlóan egy alapanyaggyártó cégtől vásárolja a félkész termékeket, vagy pedig saját maga helyben készíti el azokat. A saját alapanyaggyártást két tényező teszi lehetővé. Egyrészt a műanyaggyártás nem igényel olyan magas hőfokot, mint az üvegnél említettek, másrészt polírozott üvegszerszámok alkalmazásával lehetőség van a lencse készre történő öntésére is egy munkafolyamaton belül. Egyes műanyag alapanyagok gyártása mérgező melléktermékekkel jár, illetve a folyamat robbanásveszélyes, ezért előfordul az is, hogy csak félkész termékként kerülhet be az európai piacra, a helybeni alapanyaggyártás tilos. Az alapanyaggyártás több lépésből áll. Az önmagukban folyékony monomereket a kémiai kötések biztosító segédanyagokkal, és a műanyag tulajdonságait fokozó adalékanyagokkal (pl. öregedés gátló, UV-szűrést biztosító, stb.) egyenletesen összekeverik, ezután egy technológiailag meghatározott idő után formába öntik, majd egy szintén technológiailag meghatározott ideig tartó hőkezelésnek vetik alá általában vízfürdőben. A hőkezelés több adott hőfokon adott ideig tartó állandó hőmérsékleten tartást jelent. CR 39 esetén ez kb. 24 óra, míg magas törésmutatójú alapanyagok esetén akár 48 óra is lehet. A tényleges hőmérsékletek és az ezekhez tartozó időszükségletek gyártási titoknak minősülnek.

Műanyag lencsék lényegesen olcsóbb gyártástechnológiáját az teszi lehetővé, hogy szériatermékek esetén polírozott üvegszerszámokba ún. moldokba öntik az összekevert alapanyagokat, és a kívánt hőkezelést a szerszámmal együtt végzik el. A folyamat végén a mold szétszerelése után a lencse teljesen elkészült, utómunkálatokat már nem igényel. Megfelelően szétszerelt moldokat akár száznál többször is fel lehet használni. Ez teszi

lehetővé, hogy akár bifokális, progresszív vagy munkaszemüveget is olcsón készítsünk szériában műanyagból, mivel egy lépésben elkészíthetőek ezek a típusok is. Receptúragyártás esetén két lehetőség van. Vagy az üveghez hasonlóan egy átlátszatlan korong készül félkész terméként, amelyet ezután mindkét felületén meg kell munkálni (csiszolás és polírozás), vagy pedig a bázisfelületet készre öntik, és csak a másik receptúraértékeket tartalmazó felületet kell megmunkálni a gyártás során. Leggyakrabban a második módszert alkalmazzák, és a hagyományos gyártás gyorsítása érdekében félkész lencsákat raktároznak a gyártók, melyek bázisa már teljesen készen van. A legfejlettebb formája a lencsegyártásnak az ún. Free-form gyártástechnológia. Ellentétben a klasszikus technológiával, ahol az egyes munkafolyamatok (marás, csiszolás és polírozás) nagyszámú szerszámozottságot és azok cseréje külön munkafolyamatokat jelent, a free-form technológiában egy CNC megmunkáló gép veszi át a feladatot. Egyrészt nincs szükség a dioptriartományokhoz illesztett félkész termékek raktározására, mivel ugyanabból a félkész korongból bármilyen dioptria elkészíthető. Másrészt nagysebességű marást alkalmaznak a csiszolás helyett, ami tetszőleges felület kialakítását teszi lehetővé (személyre szabott lencsekialakítás is lehetséges). Harmadrészt pedig a majdhogynem pontszerű marás, amelyet egy gyémánt kés végez (ld. 35. ábra), olyan jó minőségű felületet hoz létre, hogy a folyamat csak minimális polírozást igényel. A Free-form gyártás a legtermelékenyebb, a lencsék akár egy perc alatt is elkészülhetnek. A gépek beruházásigénye magas, azonban megfelelő kapacitáskihasználás (elegendő megrendelés van) esetén a legolcsóbb receptúragyártó technológia.



34. ábra. Az összeszerelt mold.³²



35. ábra. Free-form gyártástechnológia.³³

Most nézzük végig az egyes lencsetípusok jellemzőit és azok gyártási lehetőségeit. A

³² Dr. Rózsa Sándor: A szemüveglencsék anyag- és gyártmányismerete, 1995, Budapest, Haynal Imre Egészségtudományi Egyetem egészségügyi Főiskolai Kar

³³ luzerneoptical.com/free-form-lens-technology.html

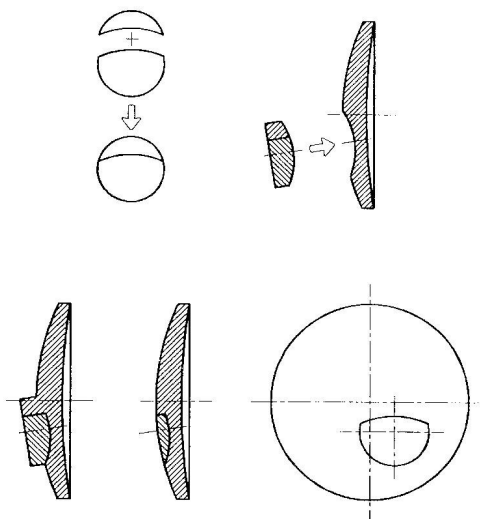
szférikus lencsék mindkét felülete gömbszeletből származik. Az optikai tengely a két gömbközepet összekötő egyenes, mely a lencse közepén halad át. A lencse egyetlen törőerő értékkel jellemezhető. Gyártás során a szerszámok is gömbszelet alakúak. Szériagyártás esetén üvegből egyszerre több darabot munkál meg (durvacsiszolás, finomcsiszolás, polírozás) egyetlen gép, míg műanyag alapanyagánál egy lépésben készre önthető a lencse. Receptúragyártás esetén általában a homorú felület a bázisfelület, mely akár előre is elkészíthető.

Tórikus lencsével a szabályos asztigmia korigálható. A lencse gyártása során két egymásra pontosan merőleges síkban eltérő görbületi sugarú gömbfelületeket csiszolnak a lencse egyik felületén, míg a másik (általában a bázis) szférikus marad. A lencse három értékkel jellemezhető: a *szférikus érték* (sph.) a *cilinder nagysága* (cyl.) és a *tengely állása* (Ax). A 3 érték mérési szabályait később tárgyaljuk majd. Gyártástechnológiája megegyezik a szférikus lencséével, azzal a megjegyzéssel, hogy az egyik oldalon tórikus formát ír le a szerszám mozgása. A tórikus felület lehet a domború (első tórikus), vagy lehet a homorú (hátsó tórikus). Mivel a hátsó tórikus lencsék mind optikailag, mind pedig esztétikailag kedvezőbbek, ezért leginkább hátsó tórikus lencsét gyártanak.

Aszférikus lencsének nevezzük azt a formát, amikor a lencsefelület bár forgásszimmetrikus, de nem gömbszelet. Elméletileg az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugarakat a parabola képezi le tökéletesen egy pontba, azonban a parabola alaknak nagyon rossz a képalkotó képessége, ha nem az optikai tengellyel párhuzamosan nézünk át rajta. A szférikus forma a széli részein szférikus aberrációt okoz az erősebb fénytörés miatt, azonban a lencse szélének ellaposításával ez a hatás csökkenthető. Az aszférikus felület célja a széli fénytörő képesség csökkentése. Ennek a célnak megfelelőnek tűnik az elliptikus felület. Az ellaposító hatásnak köszönhetően a lencse laposabbá és esztétikusabbá válik. Ez azonban a lencse bizonyos területein megnöveli a széli asztigmia nagyságát, aminek következtében – bár torzításmentesnek hirdetik az aszférikus lencsét – egyes zónákban a lencse torzítani fog, ami főleg a miópiások esetén panaszokat is okozhat. Gyártástechnológiája megegyezik a szférikus lencséével, azzal a megjegyzéssel, hogy a szerszám elliptikus alakot ír le mozgása során. Asztigmias páciens esetén két lehetőség van. Az egyik megoldás, hogy az egyik meridiánban elliptikus mozgású a szerszám, míg a másik meridiánban szférikus marad. A másik megoldás, hogy mindkét fő meridiánban elliptikus mozgású a szerszám, vagyis mindkét meridiánban csökkenti a széli törőerő nagyságát. Az ilyen típusú lencsét **atórikus lencsének** nevezzük. A Free-form gyártástechnológia megjelenése lehetővé teszi ma már, hogy az aszférikus lencsék esetén már ne forgásszimmetrikus felületkialakítást alkalmazzunk, hanem pontról-pontra készítsük el a lencsét. Ennek segítségével korigálható az ellipszis felület okozta széli asztigmia kialakulása, és így egy optikailag is megfelelő aszférikus lencse alakítható ki.

A **bifokális lencsék** a presbiópia korrekcióját szolgálják. Két egymástól jól elkülönülő részből állnak, az egyik a távoli korrekciót adja, míg a másik a közeli korrekciót. A két terület között nincs átmenet, határuk optikailag és leggyakrabban fizikailag is élesen elkülönül. A távoli és a közeli rész eltérő törőerejű, a lencsén két különböző törőerejű tartomány adható meg. Egy

speciális változata a lencsének, amikor a lencse három területre oszlik, egy távoli, egy közeli, és a kettő között egy fél-közeli tartományra. Az ilyen kialakítást **trifokális lencsének** nevezzük. A bifokális lencsék legelső típusát Benjamin Franklin készítette 1784-ben két különböző törőerejű lencse félbevágásával és összeragasztásával. Bár azóta fejlettebb technológiájú lencsék is megjelentek a piacon, de abban az esetben, ha a távoli és a közeli rész optikailag eltérő paramétereket tartalmaz (pl. eltérő cilinderes vagy prizmatikus korrekció távolra és közelre), akkor még mindig ez az egyetlen optikailag is megfelelő megoldás. A közeli és a távoli dioptria közötti törőerő növekedést *addíciónak* (add) nevezzük. Üveg alapanyagok esetén a közeli törőerő növekedés megvalósítható úgy, hogy a távoli dioptriát tartalmazó lencsébe egy bemélyedést marunk, melybe egy magasabb törésmutatójú alapanyagból készült szegmenst „forrasztunk” be. A lencse domború felülete egységes lesz, a szegmens nem domborodik ki belőle, azonban a magasabb törésmutató miatt a szegmens területén erősebb lesz a lencse törőereje. Minél nagyobb a bemélyedés nagysága, annál erősebb lesz az addíció mértéke. Műanyag alapanyag esetén nem tudunk különböző anyagokat „összeforrasztani”, csak egy alapanyagból dolgozhatunk. A közeli rész erősebb törőereje csak úgy érhető el, hogy a szegmens kiemelkedik a távoli dioptriából.



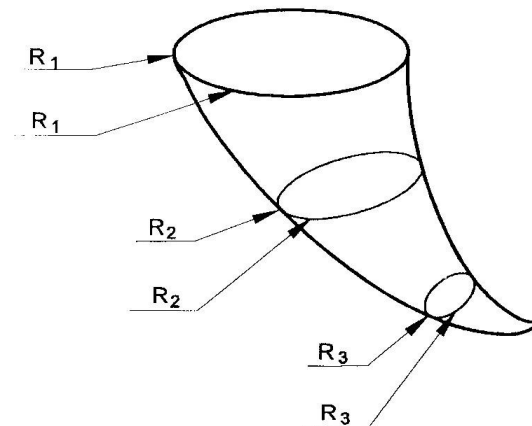
36. ábra. A forrasztott bifokális lencse gyártásának lépései.³⁴

Mivel mindkét alapanyag esetén a domború felületen helyezkedik el az additív rész, ezért ez lesz a lencse bázisa. A bifokális félkész lencse tartalmazza az elkészült bázisfelületet, vagyis az addíció nagyságát. A receptúragyártás során a homorú oldalon alakítják ki a szférikus értéket, a cylinder értéket, a tengelyállást, és adott esetben a prizmatikus értékeket. Szériagyártással készülhetnek műanyag bifokális lencsék is korlátozott tartományban csak szférikus kivitelben. A szegmens alakja üveg alapanyagnál lehet egyenes (flat top), és ívelt (curved top). Műanyag alapanyag esetén az előbb említett két forma mellett még megjelenik a kör (round) forma is.

A bifokális lencsék legnagyobb problémája az, hogy a távoli és a közeli tartomány élesen leképezhető ugyan, azonban a kettő közötti átmeneti tartomány nem. Az adott probléma csak úgy oldható meg, hogy a szemüveglencse távoli és közeli dioptriája között folyamatos

³⁴ Dr. Rózsa Sándor: A szemüveglencsék anyag- és gyártmányismerete, 1995, Budapest, Haynal Imre Egészségtudományi Egyetem egészségügyi Főiskolai Kar

átmenetet kell kialakítani, vagyis a lencse már számos törőerő értékkel jellemezhető, ezért **multifokális lencsének** nevezzük. Mivel a közeli tárgyak látásához a törőerő növekedésére van szükség, ezért **progresszív lencsének** is nevezzük. A legelső, a gyakorlati szempontból is használható megoldás Maitenaz nevéhez fűződik, melyet 1959-ben Varilux 1. néven hoztak forgalomba. Hely hiányában a multifokális lencsék fejlődéstörténete nem kerül bemutatásra. A megoldás alapja az ún. *elefántagyar* felület, mely az egyes vízszintes meridiánokban körszimmetrikus kialakítású, azonban függőlegesen lefelé haladva egyre erősebb görbületet tartalmaz, mely görbületek között folyamatos átmenet van. Ez egy törőerő szempontjából egyre erősödő kialakítást eredményez.



37. ábra. Az elefántagyar felület geometriája.³⁵

A multifokális szemüveglencse három egymástól jól elkülöníthető zónát tartalmaz: a távoli tartományt, a közeli tartományt és a kettő közötti átmeneti zónát, az ún. *csatornát*. A progresszív lencse ennek megfelelően három értékkel jellemezhető: a távoli törőerővel, a közeli rész törőerő növekedésével, az addícióval, és a progresszív csatorna hosszával, mely az átmenet minőségét jellemzi. Minél hosszabb a csatorna, annál „kényelmesebb” az átmenet az egyes dioptriák között.

A folyamatos dioptrianövelés optikai következménye, hogy a lencse széli részein nehezen teljesíthető a torzításmentes képalkotás követelménye, a széli részekben a lencsének saját asztigmatizmusa van. A gyártástechnológia jelenlegi színvonala mellett ezt még nem sikerült kiküszöbölni, minden progresszív lencse tartalmaz széli torzításokat. A fejlesztések abba az irányba haladnak, hogy a széli torzítás mértéke egyre kisebb legyen, és emellett olyan területekre kerüljön a nagymértékű torzítás, mely keretbe helyezéskor kieshet a lencséből. A széli torzítások elkerülése érdekében a páciensnek többet kell mozgatnia a fejét, így elérhető, hogy a torzításmentes tartományokon nézzen át. Természetesen itt is meg kell említeni az egyéni tolerancia jelenségét. A torzító hatásokkal szemben toleránsabb páciensek könnyebben megtanulják a multifokális lencsék használatát, és emellett a kevésbé torzító területeket is ki tudják használni.

Gyártástechnikai oldalról megközelítve az egyik technológia az ún. „*rogyasztásos*” eljárás, melynek során a felhevített és meglágyult alapanyagot egy progresszív sablonba „rogyasztanak”, amely így felveszi annak formáját. A technológia során keletkező termék

³⁵ Dr. Rózsa Sándor: A szemüveglencsék anyag- és gyártmányismerete, 1995, Budapest, Haynal Imre Egészségtudományi Egyetem egészségügyi Főiskolai Kar

még nem megfelelő optikailag, a felületeket jelentős polírozásnak kell még alávetni. A hagyományos polírozás azonban egy forgásszimmetrikus szerszámmal történik, ami jelentősen megnöveli a széli asztigmatizmus nagyságát. Rogyasztással készíthető progresszív mold is, melybe azután már öntéssel lehet a műanyag alapanyagot juttatni, és a polimerizáció végén már kész progresszív felület jöhet létre. Általános gyakorlat, hogy progresszív félkészek készülnek, melyeket félkészraktárból vesznek ki az egyes megrendelések beérkezése után. A félkész a bázisfelületen tartalmazza a progresszív kialakítást, és ezen keresztül az addíció nagyságát. A rendelés többi értékét a másik felületen alakítják ki utólag csiszolással és polírozással. Bár folyamatosan fejlődött a hagyományos technológia (pl. progresszív felület kialakítása csiszolással), azonban a legnagyobb áttörést a Free-form technológia megjelenése jelentette. A marószerszám viszonylag kicsi marófelülete miatt a marás után keletkező felület sokkal átlátszóbb, azaz tökéletesebb lett, mint a hagyományos módszerek esetén, így a Free-form polírozás igénye sokkal kisebbé vált, ami egyidejűleg a széli torzítások csökkenését eredményezte. Amellett, hogy a régebbi típusok is jobb minőségűek lettek csak attól, hogy az új technológiájú gépeken készülnek, jelentős megtakarítást jelent a gyártók számára az, hogy nem kell félkész termékeket raktározniuk, illetve a gyártás során ugyanazzal a szerszámmal több dioptria is megmunkálhatóvá vált.

A multifokális lencsék bázisának kiválasztásában számos fejlesztési koncepció terjedt el, melyek közül az egyes gyártók a saját elképzeléseik, tervezési filozófiájuk alapján választják ki a számukra megfelelőt. Az egyes fejlesztések sikeressége vagy kudarca mindig csak a későbbi felhasználás során dől el. (Ez az optika más területeire is igaz, nem csak a szemüveglencsére.) A látszerész feladata, hogy saját tapasztalatai alapján kiválassza a páciens igényeinek legjobban megfelelő típust. A legelterjedtebb kialakítás típusok:

- A domború felület tartalmazza a progresszív kialakítást, vagyis ezen keresztül az addíció nagyságát. A domború felületen a távoli tartomány lehet szférikus és lehet aszférikus is. Minden más rendelés érték (sph., cyl., Ax., és prizma) a homorú felületre kerül.
- A homorú felület tartalmazza a progresszív kialakítást, vagyis ezen keresztül az addíció nagyságát, és minden más rendelés érték a domború felületre kerül. A hátsó felületen alkalmazott multifokális kialakítás célja a széli asztigmatia csökkentése, mivel ilyenkor a progresszív kialakítás közelebb van a szaruhártyához, ami elméletileg optikailag kedvezőbb. Magasabb dioptriák, illetve prizmatikus kialakítás esetén az így készített lencse esztétikailag kedvezőtlenebb lehet.
- Mind a domború, mind pedig a homorú oldal progresszív kialakítású. Az elméleti célja az említett kialakításnak, hogy a két ellentétes felületkialakítás csökkentse a széli torzítások nagyságát.

Napjainkban a többfókuszú szemüveglencséket a szemüveglencse gyártók, a felhasználók igényei vagy akár életkora szerint külön-külön termékcsoportokra bontják. Ezek a felosztások részben marketing (célcsoportok) szempontokat vesznek figyelembe. Elkerülhetetlen a mai világban, hogy a ne használjuk az úgynevezett digitális eszközöket. Ezeket jellemzően közről nézzük és ez hosszútávon nagyon igénybe veszi az ember vizuális rendszerét. Ennek a szemre gyakorolt tartós igénybevételnek és leterhelésnek a könnyítésére különböző termékkategóriákat hoztak létre.

A többfókuszú (multifokális) lencsék egyik ilyen speciális csoportját képezik az ún. **munkaszemüveg lencsék**. Gyártástechnológiai és a felületkialakítás szempontból a progresszív lencsék közé tartoznak. A progresszív lencsék, így a munkaszemüvegek kiindulási pontja is a távoli korrekció. Ha jelentős dioptriakülönbség van a távoli és a közeli tartomány között, akkor a gyorsan növekedő törőerő megnöveli a széli torzítások nagyságát. Fontos szabály, hogy egy adott lencsetípuson belül minél nagyobb az addíció nagysága, annál keskenyebb a csatorna, és annál nagyobbak a széli torzítások. Ezen a problémán úgy lehet például „javítani”, hogy a felhasználás során nem tartjuk fontosnak a távoli alkalmazást, lecsökkentjük a szemüveglencse felhasználási területét (pl. 1,5 m és 40 cm között korlátozzuk a használhatóságot), ami kisebb addíciót igényel, így jelentősen csökkenni fog a széli torzítás, és növekedni fog a csatorna szélessége.

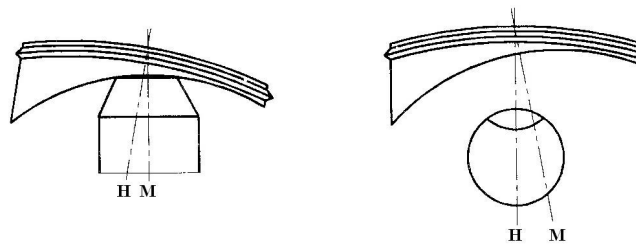
Nem kifejezetten a multifokális lencsék, hanem az egyfókuszú lencsék közé szokás sorolni az úgynevezett kiterjesztett olvasószemüvegeket. Mégis azért kívánkoznak a munkaszemüvegek közé, mert rendelkeznek dioptria hatás változással, így bizonyos mértékig alkalmasak a számítógép használatára és az olvasáshoz egyaránt. Ezek a kiterjesztett vagy fejlett olvasószemüvegek nem progresszív, hanem ún. degresszív felületkialakítással rendelkeznek. Itt a kiindulási érték az olvasó dioptria és ehhez képest csökken a lencse erőssége. A degresszió mértéke jellemzően 0,50 és 1,25 dioptria közé esik.

Itt szükséges megemlíteni a gépkocsivezetőknek szánt progresszív lencséket, amelyek optikai-felület kialakítása a műszerfal jó átláthatóságát segíti.

Több szemüveglencsegyártó a távoli korrekciós érték minimális változtatásával kívánja elérni a szem fentebb említett terhelésének a csökkentését és ún. akkomodációt könnyítő, 0,4-1,0 dpt-ig terjedő tartományban kínál különféle elnevezéssel szemüveglencséket – egyre fiatalabb korosztályoknak. Sőt már külön célcsoportot képeznek ebben a szegmensben a kontaktlencse viselők.

Külön pontban célszerű tárgyalni a **prizmatikus** lencsekialakítást, mivel az előbb említett típusok legtöbbje megrendelhető prizmatikusan is. Az Optikai alapismeretek című fejezetben leírtak alapján a prizma feladata a fénysugár elforgatása, eltérítése melyre leggyakrabban a külső szemizmok nem megfelelő működése miatt van szükség a szemüveglencse gyártás során. Az optikailag helyes prizmatikus kialakítás úgy érhető el, hogy a lencse domború és homorú oldalának saját optikai tengelyét elforgatjuk egymáshoz képest. Általában a hátsó felülettel célszerű ezt megoldani, mert akkor a lencse esztétikailag megfelelőbb lesz a páciens számára. Ilyen esetben a lencse optikai tengelye nem egy egyenes lesz, hanem követi a prizma elforgató hatását. Ennek a legfontosabb célja, hogy a szemüveglencse és a szem között olyan irányban haladjon a fénysugár, amely megfelel a külső szemizmok nyugalmi állásának, és nem kényszeríti a szemet állandó izommunka befektetésére. Célszerű megemlíteni, hogy a prizmatikusan kialakított szemüveglencse használatakor nem ugyanazon az úton halad át a fénysugár, mint a lencse mérése során. Ennek megfelelően a prizmatikus lencséket két egymástól eltérő értékkel jellemezhetjük a használati értékkel és a mérési értékkel. A gyártó cégek maguk döntenek el, hogy melyik értéket alkalmazzák gyártás során. Használati értékre optimalizált gyártás esetén a lencse tényleges prizmatikus hatása megegyezik a korrekciós értékkel, azonban a dioptriámérőben ettől eltérő értéket mérünk. Mérőértékre optimalizált gyártás esetén a dioptriámérőben a receptre írt értéket mérjük, azonban a tényleges használati

érték eltér a korrekciós értéktől. A két érték közötti eltérés annál nagyobb, minél nagyobb a prizmatikus hatás.



38. ábra. Prizmatikus szemüveglencsék használati (H) és mérési (M) értéke közötti különbség.³⁶

Történelmi okok miatt célszerű megemlíteni, hogy az optikailag megfelelően legyártott prizmatikus lencsék megjelenése előtt a szemüveglencse keretben történő decentráálásával oldották meg a prizmatikus hatást. Ez megfelelőnek mondható, ha más megoldás nem áll rendelkezésre, azonban ezt ma már meghaladta a technika. A decentráálás problémája alapvetően optikai. Decentrálásakor nem megfelelő helyre kerül a szemüveglencse optikai tengelye. Az optikai tengelytől eltérő területeknek egyrészt szférikus aberrációja van, másrészt pedig a nem megfelelő centrálás megnöveli a széli részek asztigmatizmusát. Mindkét jelenség rontja a kép minőségét. Mivel a prizmatikus korrekció célja az, hogy megfelelő minőségű kép kerüljön a megfelelő retina területre, ezért optikailag helytelen, ha a korrekciós eszköz mesterségesen rontja a képminőséget a nem megfelelő lencsekialakítás és keretbe helyezés miatt.

A megrendelt és legyártott szemüveglencsét, az optikai szaküzletben, hagyományos módon, az üzlet műhelyében helyezik keretbe, azaz csiszolják be a felírás alapján. Egyre szélesebb körben kezd elterjedni az ún. távbecsiszolás. A rendszer lényege, hogy az üzletben egy keretletapogató készülék, egy tracer van elhelyezve. Ennek segítségével a vevő által kiválasztott keretet a tracer letapogatja és elektronikus úton elküldik a keret forma és méretadatait a lencse gyártónak. A formára csiszolt lencsét az optikus a keretbe helyezi. Annak érdekében, hogy minél könnyebb legyen a keretbe illesztés, szükséges, hogy a tracert rendszeres kalibráljuk és tartsuk karban. Minden gondosság ellenére előfordulhat, hogy a szemüvegkeretek minőségi, formai, méret eltérései miatt nem illeszkedik a lecsiszolt lencse a keretbe. Ilyenkor az optikus mesternek képesnek kell lennie, akár kézi csiszolással is az eltérések korrigálására és a lencsék keretbe helyezésére.

3.1.3. Felület- és anyagkezelések

Felületkezelésnek nevezünk logikusan minden olyan technológiát, melyek a lencse felületein valósulnak meg. Ezek legfontosabb célja, hogy a szemüveglencse egyes kedvezőtlen hatásait módosítsák, vagy megszüntessék, illetve új tulajdonságot adjanak a szemüveglencsének.

Antireflexiós (tükröződés csökkentő) rétegek

³⁶ Dr. Rózsa Sándor: A szemüveglencsék anyag- és gyártmányismerete, 1995, Budapest, Haynal Imre Egészségtudományi Egyetem egészségügyi Főiskolai Kar

A felületkezelések közül a legfontosabb a reflexiócsökkentő réteg, melyet 1936-ban szabadalmaztattak Németországban T-réteg néven, és a hadászati eszközök üvegfelületeinek csillogását igyekezett elrejteni az ellenség elől. Ezt a találmányt a későbbiekben minden egyes optikai eszköznél, így a szemüveglencsénél is alkalmazták a felületi csillogás és ezen keresztül a fényvesztés csökkentése érdekében. Érdeemes azonban megjegyezni, hogy a szemüveglencsék esetén nem a fényvesztés csökkentése a legfontosabb szempont, mivel a szemüveglencse mindig jóval több fényt enged át nappali fényviszonyok között, mint a pupilla, amely végeredményben meghatározza a szembe jutó fény mennyiségét. Szemüveglencsék esetén a zavaró csillogások csökkentése, illetve az esztétikai szempontok a fontosabbak, de sötétben (pl. éjszakai vezetésnél) fontos lehet a fényerősség növelő szerep is. A felületi reflexió mértékét az ún. Fresnel-képletekkel határozhatjuk meg, mely az anyagi minőség mellett a fény beesési szögétől is függ. A Fresnel-képletek közül általában az egyszerűsége miatt azt célszerű ismertetni, amikor a fénysugarak merőlegesen érkeznek a közeghatárra:

$$R = ((n_1 - n_0) / (n_1 + n_0))^2$$

ahol R a visszaverődő fény mennyisége, n_0 a felület előtti közeg törésmutatója, és n_1 a felület utáni közeg – vagyis a lencse anyagának – törésmutatója. A normál üveg alapanyag esetén, melynek 1,525 a törésmutatója, egyetlen üvegfelszín a rá merőlegesen érkező fényenergia 4,3 %-át veri vissza, és a fénynek 95,7 %-a engedi be az anyagba. Természetesen több lencse levegő határfelület esetén minden egyes közeghatáron visszaverődik a fényenergia 4,3 %-a. Két lencsefelület esetén a második lencsefelületen már csak a fény 4,1 %-a verődik vissza, így például az 1,525 törésmutatójú szemüveglencse a fény 91,6 %-át engedi át, és a fény 8,4 %-a visszaverődik a két felületről. A Fresnel-képlet alapján könnyen levezethető, hogy minél nagyobb egy adott lencse törésmutatója, annál több fényt vernek vissza a felületei, vagyis a törésmutató növekedésével párhuzamosan növekszik a felületi reflexió mértéke.

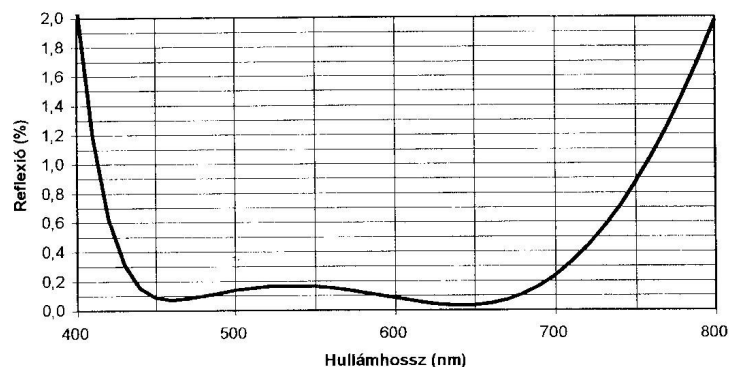
A felületi reflexió csökkentése érdekében egy vékony réteget gözölnek a lencse felületére. Ebben az esetben két felületen történik fényvisszaverődés: a levegő-réteg és a réteg-lencse határfelületen. Ha a réteg vastagság a fény hullámhossztartományába esik, akkor a két visszaverődő fényhullám koherens marad, és így interferálhatnak egymással. A fény hullámhossztartományába eső vastagságú rétegeket *vékonyrétegeknek* nevezzük. Teljes kioltás akkor valósulhat meg, ha a találkozó koherens hullámok ellentétes fázisban vannak és amplitúdójuk azonos nagyságú. A hullámok fázisát a rétegvastagsággal szabályozhatjuk, az amplitúdó feltételt pedig a vékonyréteg anyagával. Az amplitúdó feltétel egy képlettel írható le:

$$n_{\text{réteg}}^2 = n_0 \cdot n_1, \text{ mivel } n_0 = 1, \text{ ezért } n_{\text{réteg}}^2 = n_1,$$

amely kapcsolatot teremt a reflexiócsökkentő réteg törésmutatója és a szemüveglencse törésmutatója között.

A bemutatott feltételekkel kapcsolatban a következő megjegyzéseket lehet tenni. Egyrésztől egy réteg csak mindig egy adott hullámhosszával szemben teljesítheti az ellentétes fázis lehetőségét. Másrésztől ugyanaz a réteg másként viselkedik az optikai tengellyel

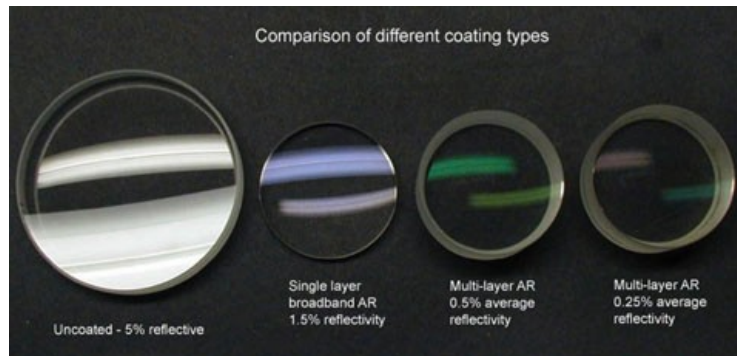
párhuzamosan érkező és a ferdén áthaladó fénysugarak esetén, mivel a rétegvastagságot mindig a fény haladásának megfelelően kell mérni (a ferdén áthaladó fénysugár hosszabb utat tesz meg a vékonyrétegben). Szemüveglencsék esetén megfelelő hatásfokú reflexiócsökkentő réteg csak többrétegű antireflex réteggel oldható meg. Harmadrészt az amplitúdó feltétel annál jobban teljesülhet minél magasabb a szemüveglencse törésmutatójának értéke, ugyanis annál jobban valószínűsíthető meg szilárd anyagokkal. Sajnálatos módon az alacsony törésmutatójú anyagok meg sem felelhetnek a feltételnek, mivel például az 1,525-ös törésmutatójú üveglencsére 1,235-ös törésmutatójú vékonyréteget kellene tenni, amit a szilárd anyagok nem tudnak teljesíteni. Üveg lencsealapanyag esetén magnézium-fluoridot ($n_{\text{réteg}} = 1,38$), míg műanyag lencsék esetén szilícium-dioxidot (vagyis végeredményben üveget) alkalmazunk az egyrétegű reflexiócsökkentő rétegek alapanyagaként. A probléma megoldására egy nagyon vékony fémoxidokból álló réteget visznek fel az alaplencse és a reflexiócsökkentő réteg közé, melynek törésmutatója nagyobb (1,7 és 2 közötti értékű), mint az alaplencséé, így már a viszonylag magas törésmutatójú vékonyréteg is megfelelő hatásfokkal képes működni. A három említett probléma olyan többrétegű vékonyréteg komplexummal oldható meg megfelelő hatásfokkal, ahol páros számú vékonyréteg alkotja a reflexiócsökkentő réteget. Az egyes párok egyik tagja a tényleges tükröződésmentesítésért felel, míg a másik mindig egy magas törésmutatójú fémoxid réteg, mely a megfelelő hatásfokot biztosítja.



39. ábra. Többrétegű reflexiócsökkentő réteg hatásfoka.³⁷

Reflexiócsökkentő réteget vákuumgőzöléssel vihetünk fel a lencse felületére. A vákuumgőzölés lényege, hogy közel légüres térben (a készülékből kiszívják a levegőt gőzölés előtt) a rétegek anyagát hevítik elektromosan. A légüres térben a hevített anyag elpárolog, gőzzé válik, és a keletkező gőz lecsapódik a környezetéhez képest hűvösebb lencsefelületeken. Üveglencsék esetén a vákuumgőzölés után egy hosszabb hőkezelés következik a vékonyrétegek teljes megszilárdítása érdekében. Fontos technológiai előírás, hogy rétegzés előtt teljesen meg kell tisztítani a lencsét, mert a szennyeződések meggátolják a réteg jó tapadását, illetve lerontják a réteg hatásfokát. Emellett a párban rendelt lencsét egyszerre kell rétegezni, hogy teljesen egyforma színű legyen a maradékreflex.

³⁷ Dr. Rózsa Sándor: A szemüveglencsék anyag- és gyártmányismerete, 1995, Budapest, Haynal Imre Egészségtudományi Egyetem egészségügyi Főiskolai Kar



40. ábra. A rétegzetlen, az egy rétegű és a többrétegű antireflexiós rétegek maradék reflexiója.³⁸

A 40. ábra jól szemlélteti a rétegzetlen és a tükröződéscsökkentő rétegfajták közötti, hatásfokbeli eltéréseket az ún. maradékreflexiók tekintetében. A szemüveglencse viselő számára zavaró csillogások csökkentése mellett és az esztétikán túlmenően az ábrán a jobb szélső mintán a legkevesebb a csillogás, ami azt jelenti, hogy egymással kommunikáló emberek így láthatják a partner szemét a legjobban beszélgetés közben.

Az utóbbi években egyre jobban elterjedt az ún. kék fény szűrő rétegek alkalmazása. Ez egy olyan speciálisan beállított antireflexiós réteg, amely a digitális eszközökből, energiatakarékos fényforrásokból vagy a LED lámpákból kilépő, a látható fény tartományban, magasabb energiájú, a kék hullámhossztartományban lévő fényt szűri. Ez, a 400-455 nm közötti spektrális tartomány, a szemet érő hosszabb behatás esetén, egyes kutatások szerint, károsíthatja a retinát és befolyással lehet a cirkadián ritmusra. Napjainkban a tanulás során, a munkahelyek nagy részén, de az okostelefon általánosan elterjedt használata miatt mindannyian ki vagyunk téve ennek a hatásnak. Ezért javasolt az alkalmazása. A kék fény szűrő réteg, működési elve miatt nem engedi át a szemüveglencsén az ebben a hullámhossztartományban érkező fényt, ezért kissé a sárga irányba tolja a színérzékelést. Bizonyos esetekben, vagy az erre érzékeny egyéneknél ez az effektus zavaró lehet, ezért nekik nem javasolt ennek a rétegzésnek a használata.

A szemüveglencse gyártók katalógusait áttanulmányozva elmondható, hogy az antireflexiós rétegeknek felépítésük, alkalmazási céljaik tekintetében számos változata rendelhető.

Műanyag lencsék felületének mechanikai védelme

A műanyag alapanyagú szemüveglencsék esetén fontos a lencsék külső mechanikai behatások elleni védelem, mivel az üveglencséhez képest lényegesen gyengébb a műanyag lencsék mechanikai sérülésekkel szembeni ellenállása. Hétköznapi módon kifejezve a műanyag lencse karcolódik, és már kisebb behatások (pl. száraz tisztítás) is maradószerű felületi sérülést okoznak a szemüveglencsén. A karcok csökkentését jelenleg rugalmas lakkokkal akadályozzák meg, melyeket kicsit hétköznapi módon *keménylakkoknak* nevezünk. (Az elnevezés azért félrevezető, mert a valóságban ezek rugalmasak és nem kemények.) A lakkozás technológiája több lépésből áll. A teljesen elkészült lencsét (mindkét felület polírozott) először vegyszeres

³⁸ tavcs-mikroszkop.hu/tudastar/antireflexios-bevonatok-a-gyakorlatban.html

mosásnak vetik alá, mely megtisztítja minden a gyártás során ráakódott szennyeződéstől, portól és az esetlegesen kézről rátapadó zsírtól. A tisztítás ma már automatizált módon történik a környezettől elzárt módon. A tökéletesen tisztított lencsére többféleképpen vihető fel a lakk. Az egyik lehetőség a merítéses eljárás, melynek során a befogott lencsét a lakkot tartalmazó folyadékba merítik, „mártják”. Kiemeléskor a felesleges lakkmennyiség lefolyik a lencséről. Ezután hőkezelésnek vetik alá a lencsét, amikor is a lakk teljesen megszilárdul a felületen, és kémiaiilag hozzákötődik a lencse anyagához. A másik lehetőség a centrifugális eljárással történő lakkozás. A megtisztított lencsét a tengelye körül nagy sebességgel forgatják, és a közepére cseppentik a lakkot. A centrifugális erő hatására a csepp szétterül a felületen és egyenletesen eloszlik rajta. Ezután a másikkal hasonló hőkezelés következik. A mártásos eljárás sokkal termelékenyebb (egyszerre több lencsét merítenek, és egyszerre készül el a két felület), azonban nem biztos annyira az egyenletes vastagság, mint a centrifugálás esetén. Fontos, hogy általában ugyanaz a lakk nem alkalmas minden törésmutatójú alapanyag felületi „keményítésére”, az egyes alapanyagokhoz más-más, az adott törésmutatóhoz optimalizált lakkot alkalmaznak.

Színezési igény szerint kétféle lakkot különböztetünk meg, annak függvényében, hogy utólag felmerül-e a színezés igénye. A legtöbb lakk nem engedi át a festékmolekulákat, ezért az ilyen lencsék csak a lakkozás előtt színezhetőek. Néhány speciális lakk lehetővé teszi, hogy utólag a látszerész is színezhesse a lencsét, azonban erről információt kell kérni a gyártóktól. Ma már nagyon kevés cég alkalmaz ilyen típusú lakkot, mert ha reflexiócsökkentő réteg is kerül a lencsére, akkor az már úgy sem színezhető utólag.

Egyéb felületkezelések

A piaci igények folyamatos változása miatt a keménylakk, és a rá kerülő antireflex réteg mellett még számos különböző tulajdonságot hordozó felületkezelés fejlődött ki. Ilyen pl. tisztítást könnyítő, portaszító, vízlepergető, párasodást akadályozó rétegek. Ezekről megfelelő tájékoztatás található az egyes gyártó cégek termékkatalógusaiban. Ezeket a rétegeket általában a reflexiócsökkentő réteg vákuumgőzölésekor viszik fel egy önálló technológiai lépésben.

Ezeknek a felületkezeléseknek a hatása, bár jól hangzik, de ritkán tartós. Általában a szemüveg használatba vétele után pár héttel jelentősen csökken, majd megszűnik. Az időjárási viszonyok és az évszakok változása miatt talán a rendszeresen fellépő párasodás a legbosszantóbb jelenség a szemüveg viselőjének. Ennek megszüntetésére egyre több gyártó forgalmaz utólagosan felvihető párasodásgátló termékeket. Jellemzőjük, hogy a szer szemüveglencsére történő felvitele után kb. 3-4 napig megfelelően működnek, utána ismét fel kell vinni azt a lencsék felületére.

Felületkezeléssel nemcsak az említett rétegek vihetőek fel a szemüveglencsére, hanem részben a következő alfejezethez tartozó színezések is. Üveglencsék utólagos színezéséhez fejlesztették ki a színezést biztosító vákuumgőzölést, mely pontosan úgy működik, mint ami a reflexiócsökkentésnél bemutatásra került, csak más anyagok felhasználásával oldhatóak meg a különböző színek. (A felhasznált anyag miatt régen a *neodímozás* elnevezést is alkalmazták.) A lencsére gőzölt réteg vastagsága határozza meg a szín sötétségét. Az egyik speciális felhasználási terület a hegesztőpajzs, mivel kellően vastag réteggel még a legerősebb

fényforrások fénye is kiszűrhető az ilyen technológiával készült színezésekkel.

Később a műanyag lencsénél is megjelent a felületi színezés technológiája, azonban nem azért, mint az üvegnél, mert ne lett volna jobb színezési technológia. A reflexiócsökkentő réteg vastagsága határozza meg a ténylegesen visszaverődő fény mennyiségét. Ahogyan meg lehet szüntetni a fénycsüszölés visszaverődését, ugyanúgy – természetesen más rétegvastagsággal – meg is lehet növelni a mennyiségét. A réteg vastagságának megváltoztatásával elő lehet idézni, hogy a lencsefelület nem hogy ne verje vissza fénysugarakat, hanem éppen ellenkezőleg minél többet verjen vissza abból. Ez a megoldás különböző divatigények kielégítését szolgálja, és egy színnel kombinált tükröző lencsefelület divatos napszemüvegek kialakítását teszi lehetővé. Ráadásul a vákuumgőzölés elvégezhető színezett lencsével is, és ebben az esetben más színt lát a szemüveglencse viselője „belülről”, mint a többi ember „kívülről”.

Vegy- és hőedzés

Korábban már volt szó arról, hogy a műanyag lencsék jól bírják az ütést, de az üveg lencsék nem. Ezt a tulajdonságukat hőedzéssel javítják. Ennek során az üveget lágyulási pontja (kb. 700 C°) körülire melegítik, majd levegősugárral gyorsan lehűtik. Az üveg felülete a belsejénél gyorsabban hűl, így ún. nyomófeszültség keletkezik.

Másik lehetséges módja az üvegütésállóságának a javítására, a vegyi edzés. Az üveget olvasztott nátriumnitrát és káliumnitrát keverékének megolvasztott fürdőjébe merítik. A beinduló kémiai folyamatok hatására a felületi rétegekben, hasonlóan a hőedzéshez, nyomófeszültség keletkezik. A hőedzés hátránya, hogy a magas hőmérséklet miatt fennáll a deformáció lehetősége. A vegyi edzés ugyanakkor nagyobb szilárdságot biztosít, nagyobb ütésállóságot is biztosít és a feszültségek eloszlása is homogénabb. A vegyi edzés viszont jóval drágább. Mivel mindkét eljárás során feszültséges réteg alakul ki, annak fizikai sérülése a lencse elpattanhat, „felrobbanhat”. Ezért mind a vegyi, mind a hőedzést becsiszolás után lehet alkalmazni.

3.1.4. Szűrők - színezések

A normál szemüveglencse alapanyagok a teljes látható tartományban, a hullámhossztól függetlenül, azonos mértékben eresztik át a fényt. Alkalmanként szükség lehet rá, hogy az áteresztett fény mennyiségét csökkentsük. Ezt látják el a szűrők, hétköznapiabb kifejezéssel a színezések.

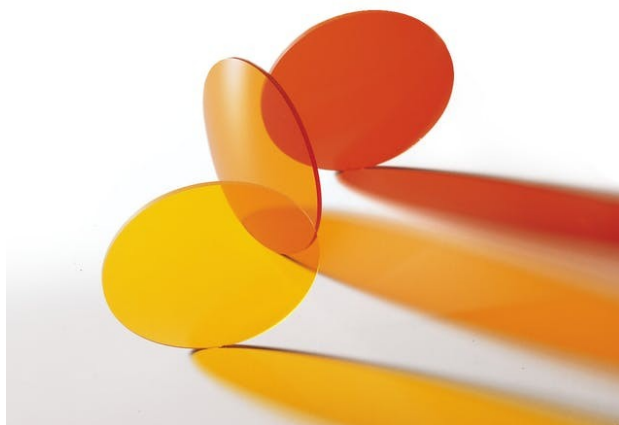
Üveglencsék a már említett vákuumgőzöléses technológia mellett színezhetőek az anyagukban is, azonban ennek meg kell történnie a félkész lencsék olvasztásakor. Színező adalékokat a megolvasztott alapanyagba kell egyenletesen keverni, és a félkész lencse már tartalmazni fogja a végső színt. A fontosabb üvegszínezőanyagok: vörös (kolloid arany vagy réz, kadmium-, szelén- és kénvegyületek); sárga (kadmium- és kénvegyületek; sárgászöld (krómoxid és uránium); zöld (krómoxid, réz- és vasoxid keveréke); kék (kobaltoxid és rézoxid); ibolya (mangánoxid).

A technológia hátránya, hogy minden egyes színből félkészraktárat kell felépíteni, ami költségessé teszi a gyártást. Emellett a lencse a vastagabb részein sötétebb lesz, mivel több

színező részecskét tartalmaz a vastagabb anyag.

Ezzel szemben a műanyaglencsék utólag színezhetőek oly módon, hogy a készre polírozott lencsét magas hőmérsékletű oldott, folyadék állapotú festékbe mártják. A festék a magas hőmérsékleten bediffundál a műanyag molekulák közé megszínezve a lencsét. A diffúzió a lencse különböző területein azonos mértékben történik meg, a különböző vastagságú területek azonos árnyalatúak lesznek. Minél magasabb a hőmérséklet, és minél hosszabb ideig van a lencse a folyadékban, annál sötétebb lesz a lencse színe. A leírt technológia további előnye, hogy a színezett lencséből vegyileg el is távolítható a festék, illetve – ami talán fontosabb – a különböző színek keverhetőek egymással, aminek következtében három alapszínből szinte tetszőleges szín kikeverhető. Nagyüzemi lencsegyártás esetén a technológiai sorrend a következő: lencse csiszolása és polírozása, színezés, keménylakkozás, reflexiócsökkentő réteg és egyéb speciális rétegek felvitele. Természetesen bármelyik lépés kihagyható a vevő igényei alapján, de a sorrend kötött. Receptúra lencsék esetén a pár két oldalát egyszerre kell színezni, azonban még így sem garantálható, hogy teljesen egyforma lesz a két oldal. Főleg az alapanyag összekeverésekor és a hőkezeléskor történhetnek olyan technológiai hibák, melyek kihatnak a lencse színezhetőségére. A színezési hiba szerencsére helyben korrigálható a színezés során. Például, ha valamelyik oldal világosabb lesz, akkor csak azt az oldalt vissza kell még tenni a színezékbe. Bár az optikai mérés technológia jelentősen fejlődött az elmúlt időben, ennek ellenére ez a folyamat még mindig az emberi szemre hagyatkozva kontrollálható tökéletesen. A színezés minősége a színező műhelyben dolgozó szakember tapasztalatától és képességétől függ mind a mai napig.

A színezések egyik speciális területe az orvosi alkalmazásra kifejlesztett szűrőlencsék. ezeknél a lencsénél általában a retina valamilyen degeneratív elváltozása vagy betegsége miatt kialakult látáscsökkenés, színtévesztés, színlátás korrigálása a cél. Tipikusan a retinitis pigmentosa és a színvakság bizonyos eseteiben alkalmazzák ezeket a lencsákat. A lencsék színét és a szűrés hullámhossztartományát az adott betegségnek megfelelően állítják be.



41. ábra Retinitis pigmentosa esetén alkalmazott speciális színek.³⁹

³⁹ <https://www.zeiss.hu/vision-care/optikusoknak/termekek/zeiss-precizios-szemuevglencsek/specialis-szemuevglencsek-/special-filter-lenses/f-60-90-es-f-540-580-.html>

A szemüveglencsék színezésének a mértéke rendszerint 10%-tól egészen 95%-ig terjed. A gyártók színmintákat bocsájtanak az optikai üzletek rendelkezésére, hogy mindenki kiválaszthassa a számára legmegfelelőbb színt. A gyakorlatban a színezések csak kis hányada alkalmas éjszakai autóvezetésre. A gyártók általában a 25%-os és annál erőteljesebb színezéseket már nem ajánlják éjszakai vezetésre. Ezt külön jelölik is a színminta katalógusokban. Végül meg kell jegyezni, hogy a színezések idővel (évek alatt) elvesztik eredeti erősségüket és árnyalatukat, fakulnak. Így fordulhat elő, hogy egy korábban pl. barnának rendelt lencse több év elteltével rózsaszínes árnyalatot mutat. Mindez elsősorban az UV sugárzásnak köszönhető.

A szűrők (színezések) egy másik speciális, ám egyre divatosabb és eltérő formája a fényenergiához alkalmazkodó színezés. Az ilyen típusú lencsákat *fotokromatikus szűrőknek* vagy *fényre sötétedő* lencséknek nevezzük. Üveglencsék esetén a hagyományos filmezéshez hasonló technológiával oldható meg a működési elv. Az üveg gyártása során ezüsthalogenideket (ezüstbromidot, vagy ezüstjodidot) kevernek az alapanyaghoz. Fény, illetve UV-sugárzás hatására az ezüsthalogenid felbomlik fém ezüstre és halogén gázra. A fém ezüst szürkévé teszi a lencsét. Amennyiben ezüstjodidot alkalmazunk, akkor a jód miatt barnára színeződik a lencse. Amennyiben a fényhatás, illetve az UV-hatás elmúlik, akkor újra egyesül az ezüsthalogenid, és a lencse kivilágosodik. A színezéseknél említett probléma itt is fennáll, vagyis a félkész termékek már fényre sötétedőek (külön félkészraktár), és a lencse sötétebbé válik ott, ahol vastagabb.

Műanyag alapanyag esetén nem alkalmazható az üvegeknél bevált technológia például azért, mert a halogén gáz kidiffundál az anyagból. Műanyagok esetén olyan speciális műanyagokat kell kifejleszteni, mely fény, illetve UV-sugárzás hatására megváltoztatják a molekulaszervezetüket, és a megváltozott szerkezetű anyag, mint egy színezés szűri a külső fényt. Természetesen a fényhatás és az UV-sugárzás megszűnése esetén a molekulaszervezetnek vissza kell alakulnia az eredeti formába, így biztosítva a kivilágosodást. A jelenleg leginkább alkalmazott megoldásnál egy fényre sötétedő anyagot visznek fel a lencse külső felületére. A fényre sötétedő anyag egy speciális műanyag molekulából áll, mely az előbb említett anyagszerkezeti változásra képes. A molekulák felviteléhez első lépésként el kell készíteni a lencsefelületeket (csiszolás és polírozás), majd ezt követően kerül rá a fényre sötétedő anyag. Ezt általában folyadék formájában juttatják a domború felületre, majd centrifugális technológiával egyenletesen eloszlatják rajta. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy a lencsék egész felületükön egyenletesen sötétednek, szemben az üveg lencsékkel. Ez egyrészt esztétikusabb megjelenést, másrészt, a viselő számára komfortosabb védelmet biztosít. Az ezt követő hőkezelés megszilárdítja a fényre sötétedő anyagot, és szoros kapcsolatot hoz létre az alaplencsével. Ezután következhet a keménylakkozás és a rétegzés.

A technológia nagy előnye, hogy nem kell külön félkészraktárt felépíteni fotokromatikus alapanyagokból, illetve tetszőleges lencsefelületre felvihető utólag a fényre sötétedő alapanyag. Emellett elméletileg tetszőleges színek kialakíthatóak, amennyiben a gyártók ebbe az irányba kívánják vinni fejlesztéseiket. A jelenleg széleskörűen alkalmazott fényre sötétedő alapanyagok legnagyobb hátránya, hogy működésük jelentősen függ a külső környezettől. Egyrészt a besötétedés mértékét befolyásolja a külső hőmérséklet – minél melegebb van, sajnálatos módon annál kevésbé sötétedik be a lencse –, másrészt a besötétedéshez UV-

sugárzásra is szükség van, ami gondot okozhat UV-védelemmel ellátott autószelelvédők esetén (nem sötétedik eléggé). A jelenleg is folyó fejlesztések a hőmérsékletfüggés csökkentését szolgálják. Az egyre fejlettebb alapanyagok egyre jobban és gyorsabban sötétednek magas hőmérséklet esetén is. Az autószelelvédők okozta problémát speciálisan erre a célra fejlesztett alapanyagokkal lehet kiküszöbölni, melyeknél nincs szükség UV-sugárzásra, elegendő a látható fény a folyamat elindításához.

A fényre sötétedő műanyag lencsék lehetőséget adnak arra is, hogy a lencsének legyen egy alapszíne, ami konstans és az UV vagy fény hatására „tovább” sötétedjen. Jellemzően 60% körüli alapszín mellett a fényre sötétedés mértéke elérheti akár a 90%-t is. Egy ilyen lencse lehet a megoldása pl. a szelelvédő mögött nem, vagy csak kis mértékben bekövetkező sötétedés problémájának.

Mindkét alapanyagra jellemző az ún. reakció idő. Ez az jelenti, hogy mennyi idő alatt sötétednek be, illetve világosodnak ismét ki. A besötétedés folyamata lényegesen gyorsabb, általában 15-30 másodperc, míg a kivilágosodás lassabban megy végbe. Jellemzően 5-10 perc.

További szűrők, amelyeket a szemüveglencsénél alkalmazunk: UV szűrő, infra szűrő, kontrasztfokozó szűrők (fénykontraszt- és színkontraszt javító szűrők) és a polárszűrő. Az alábbiakban ezeknek a szűrőknek a legfontosabb tulajdonságait és felhasználási területeit ismertetjük.

A legközismerteb szűrő az UV szűrő. A látható tartományon kívüli, 400 nm-es hullámhosszúság alatt, az ibolyán túli sugárzást három részre osztjuk:

- UV-A 320-400 nm
- UV-B 290-320 nm
- UV-C 290 nm alatt

A naptól érkező teljes UV spektrum csak egy része éri el a földfelszínt. A bolygónkat körülvevő ózonpajzs a 200 – 300 nm közötti (az UV-C teljes spektruma és az UV-B egy része) sugárzást elnyeli, szétszórja. A levegőszennyezés (smog) hatására a 300-350 nm közötti tartomány is csak jelentősen csökkentett mértékben éri el a föld felszínét. A megmaradó UV-B és a teljes UV-A sugárzás viszont eljut hozzánk, ami az emberi bőr leégést jelentheti és ezek a sugarak a szemet elérve, belép abba. Az UV-B-t a szaruhártya elnyeli és extrém esetben photokeratitist okozhat. Az UV-A eléri a szemlencsét is, ami egyik kiváltója lehet a szürkehályognak. Az UV vagy az erős látható fény a védelem nélküli szemet így károsíthatja. Ezért, akár természetes (nap) vagy mesterséges fényből származó UV sugárzás ellen olyan, meghatározott szűrőképességű napvédő szemüveg nyújt védelmet, ami nem csak a látható, hanem a láthatatlan tartományban is szűr. Ennek biztosítása különösen gyermekek esetén fontos. Napjainkban megjelentek a piacon olyan szemüveglencsék, amelyek már anyagukban is képesek az UV sugárzást 400 nm-ig szűrni és nem tartalmaznak színezést, hanem teljes átlátszóak.

Az infravörös szűrő a naptól és ipari kemencékből származó infravörös hullámok közül a 900 – 1000 nm közötti hullámhossztartomány a legveszélyesebb az emberi szem számára. Az ebből származó hő hatására, hosszú ideig tartó behatás esetén, a törőközegek átlátszatlanná válhatnak. Az infravörös fényt elnyelő szűrők általában zöld színűek, színüket vasoxid

tartalma okozza. Minél sötétebb az anyag, annál jobb az infravörös sugarak abszorpciója. Ilyen szűrőket használnak pl. a pilóták is.

A kontrasztfokozó szűrők hatásukat a fény erősségének vagy színének befolyásolásával fejtik ki. Ettől függően fény- és szíkontraszt javító szűrőkről beszélünk.

A föld légkörébe, de az emberi szemben is erősen szóródik a kék fény. Emiatt a tárgyakról visszaverődő fény kék tartománya csökkenti a kontraszthatást. Az üvegből készült szűrők általában kadmiumot, krómot vagy nátriumot tartalmaznak, színük élénksárga. A műanyag lencsákat színezéssel készítik. Ezek a szűrők erősítik a sötét és a világos közötti kontrasztot. Ezeket a lencsákat szokták éjszakai vezetéshez ajánlani ún. derítő hatásuk miatt. Természetesen éjszakai vezetésre semmilyen színezett lencse nem alkalmas, de szürkületben, rossz látási viszonyok között jól használhatók.

A szíkontrasztot javító szűrőket sárga elnyelőnek is nevezik. Működésük alapja, hogy egyrészt csökkentik a káprázást, másrészt fokozzák a kék és a vörös szín közötti kontrasztot. A szem jobban megkülönbözteti a vörös és zöld színt is, a kevert színek élénkebbek, lesznek.

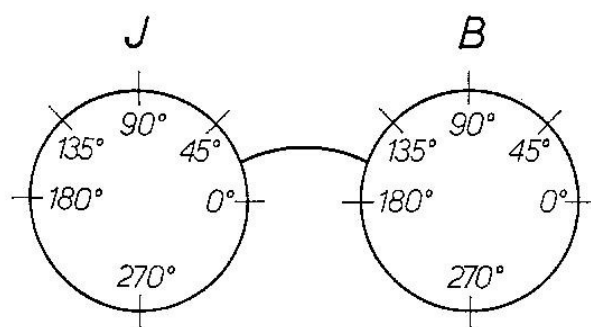
Végül a polárszűrő lencséről kell szót ejtenünk. Ezek olyan napvédő vagy fényre sötételő szemüveglencsék, amelyek megszüntetik pl. a víz felületéről vagy gépkocsik szélvédőjéről visszaverődő, rendkívül zavaró, néha vakító visszatükröződések. A polarizációról az 1.3.3. A fény polarizációja fejezetben részletesen foglalkoztunk. A polarizált lencsákat úgy készítik, hogy a vékony polivinilalkohol filmet erős víztelenítő anyag (hidrogénklorid) jelenlétében felmelegítik, amitől a film kissé besötétedik és polárszűrővé válik. Ezt a polarizáló filmet a lencse anyagába ragasztják, egyfajta szendvics szerkezetet létrehozva. A keretbe helyezéskor a polarizáció síkját úgy állítják be, hogy a lencse a vízszintes síkban visszaverődő fénysugarakat ne engedje át. Mivel a természetes visszavert fény az esetek többségében éppen innen verődik vissza, a polarizált lencse igen hatásos. Itt kell megjegyezni, hogy a polarizált szemüveglencsék csökkenthetik az LCD/LED kijelzők láthatóságát. A szemüveglencse gyártók a legtöbb esetben, a megfelelő keretbehelyezés érdekében a lencsén jelölik a polarizáció síkját. Ezt a becsiszolás során tartani kell, mert különben megváltozik a polarizáció síkja és nem fog „működni” a lencse. A műanyag polarizált lencsék damilos keretbe helyezésekor, a nútmarás során esetleg elválhatnak a rétegek (a szendvics szerkezetből adódóan), azért megmunkálásuk nagy odafigyelést igényel. Alapvetően teli keretbe javasolható a polarizált lencsék becsiszolása.

3.1.5. A szemüvegvény adatai és az ezzel kapcsolatos mérések és jelölések

A gyakorlatban általában többféleképpen is megkaphatja a látszerész a megrendelendő és keretbe helyezendő szemüveglencse adatait. Egyrésztől meghatározhatóak a szükséges adatok a régi szemüveg, esetleg a régi rendelés alapján, illetve a szemészorvos vagy optometrista korrekciós adatai alapján. A korrekciós adatoknak a Társadalombiztosítás által is elfogadott formáját *szemüvegvénynek* vagy egyszerűen csak vénynek nevezzük. A vény jelentősége jelentősen csökkent a támogatások leépítése miatt, de ezzel szemben a formája fennmaradt a szakorvosi ellátásban. A szemüvegvénynek tartalmaznia kell minden olyan információt, mely a szemüveg elkészítéséhez szükséges: szférikus érték, cylinder érték, tengelyállás, vizsgálati pupillatávolság, prizmatikus értékek és azok tengelyállása. A felsorolt értékek esetén

definiálni kell, hogy az adott korrekciós érték távolra, közelre, vagy egyéb távolságra (pl. munkatávolságra) vonatkozik. A legfontosabb adatok mellett egyéb szöveges információk is elhelyezhetőek a vényen, ha a szakorvos úgy ítéli meg. A jegyzet nem foglalkozik azzal, hogy adott esetben milyen termék számolható el a Társadalombiztosítás felé, ennek mindig utána kell járni az adott időpillanatban.

A vény kitöltésével kapcsolatban számos félreértés van a gyakorlatban. Az egyik legfontosabb az adatok megadásának szabványa. Régebben háromféle tengelyállás megadási módszer volt gyakorlatban a „Jénai”-skála, az „Inter”-skála, és a TABO-skála. A három megadási mód közül ma a TABO-skála a szabványos, mivel ez felel meg a különféle mérőkészülékek (dioptriámérő, keratometer, refractometer, stb.) működésének. A mérőkészülékek egy jelentős csoportja nem veszi figyelembe, hogy az adott pillanatban a jobb vagy a bal oldalt mérjük vele, ezért a skálának oldal-függetlennek kell lennie. Erre a TABO a megfelelő. A TABO-skála végeredményben egy aszimmetrikus polárkoordináta rendszer, amelyben az egyes optikai hatások nagysága mellett azoknak az iránya (tengelyállás) is fontos. Azért aszimmetrikus, mert a jobb és a bal oldalon nem az emberi arc középvonalára szimmetrikusak a skálabeosztások. A TABO-skála esetén mindkét oldalon azonos állású a tengely beosztás, és szemből nézve jobbról balra halad, ami azt jelenti, hogy a jobb szem esetén az orr felőli (nazálisan) oldalon van a tengely kiinduló 0 pontja, illetve a bal szem esetén a halánték felőli (temporálisan) oldalon van a tengely kiinduló 0 pontja. A tengely beosztása cilinderes lencsék esetén 0° és 180° közötti, míg prizmás lencsék esetén a teljes körre szükség van, vagyis a tengely 0° és 360° között változhat.



42. ábra. A TABO-skála szemből az optikus szemszögéből nézve.⁴⁰

Gyakori kérdésként merül fel a cylinder tengelyének megadása pozitív vagy negatív előjellel. A kérdés alapja, hogy eltérés lehet a korrekciós módszer és a szemüveglencse rendelési szokásai között. A szemüveglencse gyártók a hagyományos gyártástechnológia miatt általában plusz cylinderben határozzák meg a gyártási tartományokat. Ettől leginkább az amerikai cégek térnek el, ahol a mínusz cylinder is előfordul a tartományok megadásakor. A korrekció során végeredményben a korrigáló személy döntheti el, hogy plusz, vagy pedig mínusz cylindert alkalmaz a látásvizsgálat során. Tapasztalatok alapján több a mínusz cylinderes látásvizsgálat, és ilyen esetben a vizsgálatot végző személy mínusz cylinderben írja fel a rendelési értékeket. A két megadás közötti átszámítás megértéséhez definiálni kell az egyes megnevezések jelentését. Szabályos asztigmatikus felületek esetén a két egymásra merőleges fő meridiánban két eltérő nagyságú törőerő értéket mérhetünk (legyenek ezek D_1 és D_2), melyek a TABO-skála szerint valamilyen tengelyállással rendelkeznek (legyenek ezek

⁴⁰ Dr. Vörösmarthy Dániel: A látszerészek könyve, 1981, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

Ax_1 és Ax_2). Nyilvánvaló módon a törőerő érték összetartozik a neki megfelelő tengelyállással. A cilindres korrekció magadásának szabályai a következők:

- bármelyik érték kiválasztható a szférikus értéknek (sph.),
- a cylinder nagysága mindig a másik törőerő érték és a szférikus törőerő érték különbsége lesz,
- a tengelyállás mindig a szférikus értéknek választott meridián tengelyállása lesz.

Ennek megfelelően a kétféle felírás, mely optikailag ugyanazt a lencsét jelenti, csak az egyik plusz a másik pedig mínusz cylinder értéket ad eredményként:

$$D_1 \text{ sph. } (D_2 - D_1) \text{ cyl. } Ax_1$$

$$D_2 \text{ sph. } (D_1 - D_2) \text{ cyl. } Ax_2$$

Látszólag az ismertett szabály ellentmond a mechanikus dioptriámérőknél megszokott mérési módszernek, de csak látszólag. Az asztigmatizmusnál ismertett módon a meridionális sík és a szagittális sík úgy alkot képet, hogy egy pont képe egy egyenes szakasz lesz, amelyik merőlegesen áll a saját síkjára. Ennek megfelelően a hagyományos dioptriámérőkben az ún. *pontkoszorú*, mint tárgy képe asztigmias lencse esetén vonalszerűen eltorzul a saját síkjára merőlegesen. A D_1 beállítása esetén nem az Ax_1 irányába mutat a vonalszerű kép, hanem pont ellenkezőleg az Ax_2 felé. Ugyanígy a D_2 beállítása esetén nem az Ax_2 irányába mutat a vonalszerű kép, hanem pont ellenkezőleg az Ax_1 felé. Vagyis, ha például a D_1 -et választjuk ki szférikus értéknek, akkor az ehhez tartozó tengelyállás nem itt, hanem a D_2 értéknél mérhetjük, és fordítva.

A kétfajta felírás között egyszerű a matematikai kapcsolat, a két felírás könnyen átszámítható. A keresett másik szférikus érték a kiindulási szférikus érték és a cylinder érték előjeles összege lesz. A cylinder nagysága nem változik, csak az előjelét kell megfordítani (pluszból mínusz lesz, illetve mínuszból plusz). A tengelyállást pedig 90° -kal el kell forgatni (ha a kiindulási tengelyállás 0° és 90° között van, akkor a tengelyálláshoz hozzáadunk 90° -ot, illetve, ha a kiindulási tengelyállás 90° és 180° között van, akkor 90° -ot levonunk belőle).

A következő kérdés a prizmatikus hatás megadásának módszere. A TABO-skála szerint szabványosan mindig a prizma alapját kell megadni. Ennek oka szintén a méréstechnikából adódik, mivel a dioptriámérőben a prizma alapja felé tolódik el a pontkoszorú, így az határozható meg, és megrendelni is ennek megfelelően kell. Gyakran találkozunk azzal szemüvegvények esetén, hogy a felírás nem szabványos, és az egyik oldalon nem a bázis van felírva, hanem az él. Ezt főleg azért alkalmazzák, mert amennyiben szimmetrikusan osztjuk el a két oldalon a prizmatikus hatást, akkor az egyik oldalon a bázishoz, a másik oldalon pedig az élhez ugyanazt a szögértéket kell felírni. Ilyenkor csak annak az oldalnak a felírt értékét kell módosítani a megrendeléshez, amelyiknél az él iránya van felírva, a bázissal felírt oldal marad eredetiben. Az él és a helyesen megadott alap között pontosan 180° különbség van, vagyis a helyes felíráshoz az él irányát elforgatjuk 180° -kal.

Prizmatikus korrekció meghatározásához általában olyan módszerek terjedtek el, melyeknél a binokuláris látásvizsgálat során külön kezelik a prizmatikus hatás vízszintes és függőleges összetevőit. Ilyenkor a felírás is ehhez igazodik. Amennyiben a vizsgálatot végző személy külön nem ragaszkodik ahhoz, hogy a két szem elé eltérő prizmatikus hatású lencse kerüljön, akkor a lehető legszimmetrikusabban kell elosztani a jobb és a bal szem előtt a prizmatikat. Ez

azt jelenti, hogy a két oldalra azonos nagyságú vízszintes és azonos nagyságú függőleges prizmának kell kerülnie. Ha a látásvizsgálat során egyik oldalra vízszintesen, a másik oldalra pedig függőlegesen írtak fel prizrát, akkor lehetőség szerint felezni kell ezeket az értékeket, és mindkét szem elé ugyanazt az értéket kell helyezni. Ez azért fontos, mert szimmetrikusan elosztott prizmák esetén a jobb és a bal szemüveglencse azonos színbontású lesz. Az eltérő színbontás zavarja a legtöbb embert. Fontos megjegyezni, hogy a két oldalon mindig pontosan ellentétesen kell álljon mind a vízszintes, mind pedig a függőleges prizma összetevő. Ez vízszintesen egyszerű ugyanis vagy mindkét alap befelé (orr irányába), vagy pedig mindkét alap kifelé (halánték irányába) áll. Függőlegesen viszont (az oldal megadása mellett) az egyik oldalon felfelé, a másik oldalon pedig lefelé kell álljon a prizma alapja. A nemzetközi gyakorlatban elterjedt a Be, Ki, Le, Fel irányok megadása is, így rendelésnél ezek is alkalmazhatóak, a lencsegyártó cégek ez alapján is fel tudják venni a megrendelést.

Bár a binokuláris látásvizsgálat vízszintesen és függőlegesen történik a lencsék becsiszolásakor mégsem ennek megfelelően haladunk, hanem a TABO-skálának megfelelően polár-koordinátarendszerben adjuk meg a prizmatikus hatást. Matematikailag a kétféle megadási mód között az az összefüggés, hogy a vízszintesen és függőlegesen felírt értékeket vektoriálisan kell összeadni. Ez a gyakorlatban annyit jelent, hogy az eredő prizmatikus hatás nagyságát (melynek gyakran használt jelölése Δ) a vízszintes és a függőleges összetevőből számíthatjuk ki Pitagorasz-tétellel, illetve az eredő tengelyállás tangense egyenlő a függőleges és a vízszintes prizmatikus hatás hányadosával. Képletekkel kifejezve:

$$\Delta_{\text{eredő}}^2 = \Delta_{\text{vízszintes}}^2 + \Delta_{\text{függőleges}}^2$$

$$\text{tg } \alpha_{\text{eredő}} = \Delta_{\text{függőleges}} / \Delta_{\text{vízszintes}}$$

Az $\alpha_{\text{eredő}}$ önmagában még nem adja meg a keresett tengelyállást, mivel a tangens függvény visszszámításából egy 0° és 90° közötti értéket kapunk. A kapott értéket még át kell számítani annak függvényében, hogy az adott oldalon a TABO-skála melyik negyedében helyezkedik el valójában az eredő prizma tengelye.

	Jobb oldal	Bal oldal
Vízszintesen alap Be és függőlegesen alap Le	$360^\circ - \alpha_{\text{eredő}}$	$180^\circ + \alpha_{\text{eredő}}$
Vízszintesen alap Be és függőlegesen alap Fel	$\alpha_{\text{eredő}}$	$180^\circ - \alpha_{\text{eredő}}$
Vízszintesen alap Ki és függőlegesen alap Le	$180^\circ + \alpha_{\text{eredő}}$	$360^\circ - \alpha_{\text{eredő}}$
Vízszintesen alap Ki és függőlegesen alap Fel	$180^\circ - \alpha_{\text{eredő}}$	$\alpha_{\text{eredő}}$

IV. táblázat. Az eredő prizmatikus hatás tengelyállása az egyes irányok függvényében

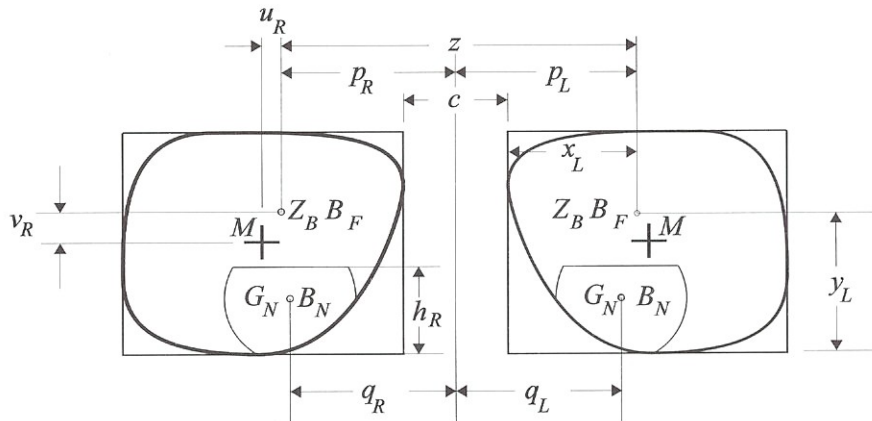
Legvégül ejtsünk néhány szót a szemüveglencsék centrálásáról. A szemüvegvényen egyetlen adat található ezzel kapcsolatban a két pupilla közepének távolsága, melyet *PD*-nek (pupilláris distanciának) nevezünk. A szemüvegvényeken ezt kétféleképpen szokták megadni:

vagy külön-külön a jobb és baloldali értéket, vagy pedig a kettő összegét. Ha a jobb és bal szem esetén külön-külön adjuk meg az értéket, akkor azt *féloldali PD*-nek, vagy kicsit leegyszerűsítve *fél PD*-nek nevezzük. Azért fontos külön-külön megadni az értéket, mert a legtöbb ember jobb-, és bal oldali arcfelére nem tökéletesen szimmetrikus, így a két érték eltérő nagyságú lesz. Helyesen akkor centráljuk a lencsét, ha a jobb oldali lencsét a jobb oldali szem pupillájának közepéhez igazítjuk, míg a bal oldali lencsét a bal oldali szem pupillájának közepéhez igazítjuk. A függőleges igazítás szabályai kicsit később következnek. Abban az esetben, ha hozott vénnel érkezik a vásárló, és nem tudunk konzultálni a vényt felíró szakorvossal, akkor a látszerésznak minden esetben a felírásnak megfelelően kell elkészíteni a szemüveget, vagyis PD megadása esetén fele-fele arányban kell elosztani a PD értékét a jobb és a bal oldalon. Ha ezzel valamilyen okból nem értünk egyet (pl. ránézésre nagyon aszimmetrikus az arc), akkor a javasolt módosítást mindenképpen hagyassuk jóvá a felíró szakorvossal. Nyilván sokkal egyszerűbb az egyeztetés, ha a látásvizsgálat helyben az optikai szaküzletben történik.

Külön kell foglalkoznunk a prizmás szemüvegek PD-nek meghatározásáról. Mivel a prizma a fény útját eltéríti, ezért szükséges a PD korrekciója a szemüveg készítésekor. Amennyiben a felírt korrekcióban a prizmatikus hatás nem éri el a 4 prdpt-t, akkor a fentiekben leírt módon járunk el. Ezen érték alatt a prizma fény sugar eltérítő hatása általában nem okoz problémát (1cm/m-ként 0,25 mm). Ezt meghaladó esetekben a PD-t módosítani kell, decentrálni kell végezni. 4 prdpt-ként 1mm-el kell a PD-t módosítani, a prizma alapjával ellentétes irányba. Ha pl. a PD 66 mm és a prizma mértéke összesen 8 (oldalanként 4-4) az alap pedig „kint”, akkor a szemüveget a fent leírtak alapján 64 mm-es PD-re kell elkészíteni.

A szemüveglencsék becsiszolásához, vagyis keretbe helyezéséhez szabványos módon kell a szükséges adatokat meghatározni. Akár a demólencse, akár pedig a keretforma letapogatása alapján határozzuk meg a tájékozási pontokat, általában egy görbe felületen belül kell egységes mérési rendszert kialakítani. A görbe felületeket célszerű a görbék érintőjével helyettesíteni. A demólencse, illetve a letapogatott forma síkjában két-két vízszintes és függőleges egyenessel helyettesíthető az adott forma, melyek alulról, felülről, jobbról, és balról érintik az adott formát annak legkiemelkedőbb pontján. A négy egyenes egy téglalapot ad, melynek átlói kijelölik a forma geometriai középpontját. Az említett helyettesítési módszert *Box-rendszernek* nevezzük. A Box-rendszerben a következő elnevezések vannak. A keletkező téglalap vízszintes oldalának hossza a keretforma szélessége, azaz a *kaliber szélessége*. A keletkező téglalap függőleges oldalának hossza a keretforma magassága, azaz a *kaliber magassága*. A jobb és baloldali belső (orr felőli) vonalak távolsága az ún. *hídméret*. Szabványosan mérési szempontból ez a három adat jellemzi a keretet, melyhez természetesen hozzátartozik még a keret formája is a becsiszolás érdekében.

Leggyakrabban kétféle módszerrel határozható meg a becsiszoláshoz a szemüveglencse illesztési pontjának a helye. Az egyik lehetőség, hogy a híd (orr rész) közepéhez, szimmetriatengelyéhez képest mérjük vízszintesen a jobb illetve bal oldali fél PD-t, és a kaliber alsó érintőjéhez képest mérjük az ún. *illesztési magasságot*. A másik lehetőség, hogy a kaliber geometriai középpontjához képest mérjük decentráljuk a lencse illesztési pontját. A második módszer inkább a kézi csiszolásnál terjedt el, amivel szemben az automata csiszolóknál a legegyszerűbb az első módszer alkalmazása. Általában a mára elterjedt digitális centráló készülékek is ebben a mérési rendszerben határozzák meg a szükséges adatokat.



43. ábra. Szemüveglencsék centrálási adatai.⁴¹

Az ábra legfontosabb jelölései: „ c ” a hídméret, „ p_r ” a jobb oldali fél-pupillatávolság, „ p_l ” a bal oldali fél-pupillatávolság, „ y_L ” a bal oldali illesztési magasság, „ h_R ” a jobb oldali bifómagasság, „ u_R ” a jobb oldali vízszintes decentrálás mértéke a kaliber geometriai középpontjához képest, és „ v_R ” a jobb oldali függőleges decentrálás mértéke a kaliber geometriai középpontjához képest.

Most nézzük az egyes lencsetípusok centrálási szabályait. Egyfókuszú lencsék – ide soroljuk a szférikus, tórikus, aszférikus, és atórikus lencsét – esetén a centrálás kiindulási pontja a szemüveglencse optikai tengelyének iránya, pontosabban az optikai tengely és a homorú felület találkozási pontja. Dioptriámérés során ekkor kerül a pontkoszorú a mérési terület középpontjába. Elméletileg mind a négy típust a normál nézési iránynak megfelelően kell centrálni a keretbe, amely a vízszintesen egyenesen előre tekintéshez képest kb. 10° -kal lefelé fordul anatómiai okok miatt. Az általános szemüveglencsék tervezésénél bizonyos alapadatokat állandónak tekintenek. A két legfontosabb alapadat, melyeket lencsetervezésnél figyelembe vesznek, a 10° -os keret dőlésszög – melyet a magyar gyakorlatban *Imredöntésnek* is nevezünk –, és a 12 mm-es ún. *LC-távolság*, mely a szemüveglencse homorú felületének és a saruhártya első csúcspontjának a távolsága. Ha ezek az adatok a kiválasztott keret esetén is fennállnak, akkor a vízszintesen előre tekintés esetén feljelölt pupillaközéphez képest a szemüveglencse optikai középpontját 4 mm-rel kell lefelé elhelyezni, vagyis az illesztési magasságot úgy kapjuk meg, hogy a vízszintesen előre tekintés esetén feljelölt pupillaközép magasságából kivonunk 4 mm-t. A gyakorlatban a szférikus és a tórikus lencsét a pupillaközépnek megfelelően centrálják. Ez optikai szempontból centrálási hiba, mely megnöveli a lencse torzításait. Kisebb dioptriák esetén ez nem okoz problémát a viselő számára, azonban nagyobb dioptriák esetén már igen. Amennyiben a keret dőlésszöge és LC-távolsága jelentősen eltér a tervezésnél figyelembe vett adatoktól, akkor a lencse használata megnöveli a szemüveglencse torzító hatását. Ez a probléma csak egyedi adatok figyelembevételével tervezett lencsékkel oldható meg, ilyen esetekben ún. *személyre szabott szemüveglencsével* korrigálhatóak a viselés során kialakuló torzítások.

Bifokális és trifokális lencsék esetén a centrálás részben eltér a többi típustól. A távoli rész optikai középpontját most is a PD-nek megfelelően kell centrálni, azonban az illesztési

⁴¹ Dr. Roland Enders: Die Optik des Auges und der Sehhilfen, 1995, Heidelberg, Optische Fachveröffentlichung GmbH

magasság helyett az ún. *bifómagasságot* vesszük alapul, amely a keret alsó érintőjének és az alsó szemhéj keretben mért érintőjének a távolsága. Bifokális és trifokális lencsék esetén esztétikai okokból célszerű szimmetrikusan elosztani a PD-t, de ez növelheti a leképzési hibák nagyságát. Progresszív lencsék esetén a gyártók egy centráló kereszttel könnyítik meg a becsizolást, melyet pontosan a pupillaközép elé kell helyezni. Munkaszemüvegek esetén kétféle centrálási módszer terjedt el, vagy a progresszív lencsékhez hasonlóan a centráló keresztet a pupillaközép elé kell helyezni, vagy pedig az aszférikus lencséknek megfelelően kell a keretbe helyezni. Progresszív lencsék és munkaszemüveg lencsék esetén mindig a gyártók centrálási utasításait kell követni, melyeket megadnak termékkatalógusaikban.

Prizmatikus szemüveglencsék keretbe helyezésekor már a centrálási adatok meghatározásánál figyelembe kell venni a prizmatikus korrekciós jellemzőket. A korszerű digitális centráló készülékek esetén is célszerű a pupillaközép meghatározását monokulárisan végezni, mert nem biztos, hogy a demólencsén keresztül a páciens egyenesen előre tekintve párhuzamos szemállású lesz a távolba. A hiba forrása csak akkor küszöbölhető ki teljesen, ha külön mérjük a jobb és a bal szemet. Ez manuális mérés esetén nem merül fel, mert ott eleve monokuláris az adatok meghatározása.

A másik fontos tényező, hogy a már említett módon prizmatikus korrekcióhoz prizmatikusan legyártott lencsét kell alkalmazni. A decentrálás módszere optikailag hibás, ezért ezt nem is ismerteti a jegyzet. Azonban figyelembe kell venni, hogy a prizmatikus lencse elforgatja a fénysugár haladási irányát, így a páciens nem pontosan ott néz át a szemüveglencsén, mint ahol a demólencsén meghatározzuk a pupillaközép helyét. Mivel a lencsetervezéskor a 10°-os dőlésszöveget és a 12 mm-es LC-távolságot vesszük alapul, ezért célszerű a keretet ennek megfelelően adaptálni a páciens fejére. Ha ennek megfelelő az adaptáció, akkor a prizma fényelforgatását úgy tudjuk figyelembe venni a becsizoláskor, hogy első lépésként a lencsetípusnak megfelelően meghatározzuk a centrálási adatokat, majd a kapott értékeket módosítjuk a prizma miatt olyan formában, hogy prizmadioptriánként 0,25 mm-t decentrálunk a prizma alapjával ellentétesen, vagyis a prizma élének irányába. A prizmatikus hatás miatti decentrálást el kell végezni mind vízszintesen, mind pedig függőlegesen is. Az említett decentrálási szabály miatt fontos lenne, hogy a látszerész a szemüvegvényen ne csak polárkoordinátában meghatározott prizmatikus hatást ismerje, hanem a korrekció során mért vízszintes és függőleges összetevőket is, mivel így tudja helyesen meghatározni az optikailag pontos centrálási adatokat.

3.2. Szemüvegkeretek anyag- és áruismerete

3.2.1. A szemüvegkeretek alapanyagai és azok jellemzői

A szemüvegkeretek alapanyagaival szemben támasztott követelmények egyrészt egészségügyi szempontból fontosak (ne okozzanak allergiát, vagy fertőzést), másrészt fizikai, illetve kémiai előírásoknak is meg kell felelniük (kopásállóság, szilárdság, ötvözhetőség, formatartósság, színezhetőség, stb.). A gyártás során felhasználhatóak természetes alapanyagok, mint például a bőr, a fa, a szaru, a teknőc, illetve műanyag keretekhez a cellulóz. A mesterséges alapanyagokat a vegyipar állítja elő, olajszármazékokból vonják ki, vagy szintetikus úton állítják elő (műanyagok). Felhasználnak még különféle könnyű és nehéz fémeket, valamint

ezen ötvözeteket. További alapanyag lehet a carbon, ami főleg egyes alkatrészek, pl. szemüvegszár, alapanyaga lehet. A szemüvegkeret designerek fantáziája és kísérletező kedvének hatására olyan, a szemüvegiparban ritkán használt anyagok is feltűntek az utóbbi időben, mint a textil, ásványok, papír. Jellemzően díszítő elemként. Az eltérő alapanyagok, gyakran szendvicsszerkezetben való alkalmazása megnehezíti a szemüvegkeretek beállítását, adaptálását.

A természetes alapanyagok általában nehezen megmunkálhatóak, ezért lágyítani, puhítani kell azokat a megmunkálás előtt (valamilyen savval, vagy vízzel) magasabb hőmérsékleten. Az eljárás során az alapanyagot lazítják, préselik, fűrészelik. A csuklókat szegecselik, csavarozzák. A lencsék keretbe helyezése és a fejhez való adaptálás nehézkes.

A keretgyártás legjelentősebb természetes alapanyaga a cellulóz. Mesterségesen állítják elő szerves vegyületekből polimerizációs és polikondenzációs eljárással. A régi keretek alapanyaga volt. Több típusa ismert, pl. cellulóz-acetát, ami könnyen forgácsolható, önthető, a butadién-cellulóz, ami keményebb, mint az acetát. Ez utólagos színezést lakkozást igényel, de az hőre leválhat róla. Az akrilátok optikai tulajdonsága jó, átlátszó, jól megmunkálható, de erős UV-sugárzásra elsárgulhat az adalékanyaga miatt. A plexi (PMMA) nagy szilárdságú, hőre érzékeny, és könnyen karcolódik. Polimerizációval gyártják, a legfontosabb tulajdonsága, hogy fröccsönthető. A CR39 a plexinél keményebb, jó optikai tulajdonsággal rendelkező, hőre nem lágyuló műanyag, alapanyaga folyékony és hosszú polimerizációval szilárdul meg gyorsító hozzáadásával. A gyanta az optyl-keretek alapanyaga. Polimerizációval készül gyorsító hozzáadásával. Hőre nem lágyul, és lakkozható. A bakelit polikondenzációs műanyag. Hőre nem lágyul, kemény, rideg, ezért adalékanyag szükséges hozzá. Csak sötét színekben gyártható, hő hatására bomlik, szenesedik.

Polimerizáció: A telítetlen szerves vegyületek egyik reakciója. Megfelelő körülmények között több azonos molekula egyesül a kettős kötés felszakadásával óriásmolekulává. A molekulák a szén atomoknál kapcsolódnak össze. Fonal, vagy láncmolekula alakul ki.

Polikondenzáció: A kétféle funkciós csoportot (H és OH csoportot) tartalmazó monomerek úgy tudnak egymáshoz kapcsolódni, hogy kisebb molekulák (pl. H₂O) képződnek melléktermékként. A kis molekula kiválása a kondenzáció. Ennek egy folyamaton belüli többszöri ismétlése a polikondenzáció. A képződött óriásmolekula a polikondenzátum.

A fémek legfontosabb jellemzői a fizikai, és kémiai tulajdonságaik, valamint az ötvözhetőségük. Fizikai tulajdonságok például a külső megjelenés, hőhatással szembeni viselkedés, erőhatással és mechanikai hatással szembeni ellenállás. Kémiai tulajdonságuk a vegyülési hajlamuktól függ (elektron-leadási képesség). A leggyakoribb vegyületek az oxidok. A fémoxidok levegő és fém reakciójával jönnek létre. A nemesfémek oxigénnel csak bizonyos körülmények között alkotnak vegyületet. Az ötvözetek a fémek egymással, vagy nem fémekkel alkotott megszilárdult, látszatra egynemű elegyei. Alkotói 2-3, vagy több alapfém (Fe, Cu, Zn, Sn, Pb, Al, Mg, Au), ez adja az ötvözet nagyobb részét, az ötvözőelemek adják a kevesebb részt (Cr, Co, Mn, Ni, Ti, V, W, C, Si), valamint tartalmaznak még szennyeződések (S, P, As) is. Az alapfémek eredeti tulajdonságait az ötvözés megváltoztatja. A változás attól függ, hogy az ötvözetet milyen elemek, és milyen arányban alkotják. Ugyanazon anyagok más-más arányai eltérő tulajdonságokat is eredményezhetnek. Az ötvözetek mindig fémes természetűek, és fémes külsejűek. A hőt és az elektromos áramot rosszabbul, de vezetik, illetve olvadáspontjuk alacsonyabb, mint az alkotóké. Keménységük,

szilárdságuk nagyobb lehet, önthetőségük és kovácsolhatóságuk is fokozódhat. Kémiai tulajdonságaik általában előnyösen változnak. Az ötvözés célja az előnytelen tulajdonságok megszüntetése, a megfelelő tulajdonság javítása, valamint új tulajdonságok kialakítása.

A keretgyártáshoz felhasznált fémek és ötvözetek legnagyobb előnye, hogy 10-15-ször szilárdabbak, mint a műanyag, így lehetővé vált vékony, kis térfogatú keretek készítése. Hátránya a 3-6-szor nagyobb fajsúly. Régen aranyhuzalt használtak, amelynek előnyös tulajdonsága, hogy nem oxidálódott, de viszonylag puha volt, így könnyen elveszítette a formáját. Drágasága miatt főleg a gazdagok engedhették meg maguknak. Később használtak acélt (rugalmas és nehezen törik), bronzot és alpakkát, dublét, alumíniumot (könnyű fém), titánt és titánötvözetet, rézötvözetet, ezüstötvözetet, platinaötvözetet (drága, de semmilyen allergén hatása nincs). Az allergiát okozó alapanyagokat be kellett vonni, hogy ne irritálják a bőrt (hőre zsugorodó fólia, ródiумozás, lakkozás). Bronznak nevezzük a réz és az ón ötvözetét. Alpakának nevezzük a réz a nikkelt és a cink ötvözetét. Általában 12-26 % nikkelt, 50-66 % rezet, 20-40 % cinket tartalmaz. Fehér színe és kellő merevsége a nikkeltartalmától, nyújthatósága a réztől, olvadákonysága és olcsósága a cinktől függ. Ez a leggyakrabban használt szemüvegkeret alapanyag. Dublénak nevezzük azt a nikkeltbronz, vagy ónbronzt alapanyagot, amelyre nagy nyomáson, melegben aranyat hengerelnek. Minőségét ezrelékes finomsággal jelölik. Fontos mérték az arany rétegvastagsága. Minél vastagabb az alkalmazott arany rétegvastagsága, annál értékesebb a keret. A titán egy könnyűfém, melyből kis súlyú keret készíthető. Azonban minden téves információ ellenére nagyon rideg fém, ami könnyen törik. Rugalmassá csak ötvözéssel, illetve acél részek kombinálásával tehető. Fontos még tudni róla, hogy 180° felett állítható be, és csak védőgáz alatti hegesztéssel javítható. Használják még a fémkeret gyártásánál ródiумot általában felületi védőanyagként, mivel az alpaka nem érintkezhet közvetlenül a bőrrrel.

3.2.2. A szemüvegkeretek jellemzői és gyártástechnológiájuk

Műanyag keretek gyártása általában fröccsöntéssel vagy forgácsolással történik. A **fröccsöntés** a leggazdaságosabb szemüvegkeret előállítási mód. A 60-as évekig a jobb minőségű kereteket celluloidból, az olcsóbbakat cellulóz-acetátból készítették. Jelenleg cellulóz-acetát-butirát az általánosan használt alapanyag. Fröccsöntéssel a lágyabb, hőre lágyuló műanyagok dolgozhatóak fel. Olcsó sorozatgyártást tesz lehetővé, mivel kevesebb a munkafázis, és szinte alig van hulladék. Csak anyagában színezett keret gyártható ezzel az eljárással. A fröccsöntést egy speciális fröccsöntő géppel végzik, amelynek során a fröccsanyagot felhevítik, és belepréselik a fröccsszerszámba (kokilla). A megfelelő minőségű termék gyártásánál 4 dologra kell figyelni, a megfelelő hőmérsékletre, a megfelelő nyomásra, a présfej tökéletes zárására, és az egyenletes hűtésre. Optyl kereteket vákuumos fröccsöntéssel gyártanak. Ekkor az alapanyagot felmelegítik, majd vákuum segítségével formára húzzák és lehűtik. Itt azonban a szárukba nem szükséges fémbetétet helyezni.

A fröccsöntés folyamata:

- a műanyag granulátumot beöntik a gép garatjába,
- a dugattyú betolja az anyagot az olvasztóhengerbe, kiszorítva közben a levegőt,
- az anyag az olvasztóhengerben megolvad,
- eközben a két részből álló fröccsszerszám (kokilla) összezárul és a rajta levő kis

- nyíláson keresztül a megolvadt granulátum bepréselődik a formába,
- a fröccsöntött anyag lehül és a fröccsgép kinyitása után a préselmény kivehető,
 - holtfej eltávolítása (ez a kokilla nyílásában visszamaradt anyag, amit le kell csípni és marógéppel lesorjázni),
 - az anyagot kb. 2 hétig pihentetik a feszültségmentesítés miatt,
 - amennyiben a felület minősége igényli, akkor az egyes részek forgó dobokban történő felületi polírozása (dobolás),
 - ezután következik a szárakba sajtolt fémbetét elkészítése, és a szárba sajtolása,
 - majd a középrészbe sajtolt fémbetét elkészítése, és a középrészbe sajtolása,
 - végső összeszerelése, majd beteszik a demólencsét, a szárakba beütik az adatokat,
 - végső ellenőrzés.

Szemüvegkeret gyártása forgácsolással táblaanyagból

A forgácsoláshoz felhasznált celluloid-tábla vastagsága lehet 4, 6, vagy 8 mm. A műanyag lehet teljes táblában színezett, vagy a felületén színezett is. A táblát elkészíthetik több lap összepréselésével is, melynek előnye, hogy több színű lap is egymásba préselhető, így tetszőleges színek kombináció hozható létre a keret egyes területein. Az anyagot a készítendő résznél valamivel nagyobb téglalapokra vágják. Ebből vágják ki a középrész készítése esetén sajtolással vagy kiütéssel a „karikát”, majd ezután külső és belső marással megformázzák a középrészt. A marás során ún. mesterdarabot használnak mintának. A belső marás után v vagy u alakú hornyot vágnak a keretbe, amit *nút*nak nevezünk. A nútba fekszik bele majd a becsiszolt szemüveglencse. A kivágott „karikából” szintén marással készítik az orrtámaszt. Az orrtámaszt acetonnal ragasztják fel a középrészre. A csuklót belövik a műanyagba. A szár készítése esetén csak külső marást végeznek. A fém merevítő betéteket és a csuklót egy munkafázisban pneumatikus géppel belövik a nagyfrekvenciás árammal felmelegített celluloid-szárba. Régebben készítettek úgy szárakat, hogy kettévágták a szárat, abba a fémbetétnek megfelelően hornyot vágtak végül acetonnal összeragasztották. Hátránya, hogy további utómegmunkálást tesz szükségessé (sorjázás, fényezés), és könnyebben szétválik. Ma már ezt nem alkalmazzák. Dobolás előtt a csuklókra műanyag sapkákat húznak, hogy a polírozó anyag ne tudjon belemenni a fémrészekbe. A megmunkált darabokat ezután koptatódobokba helyezik, és több fázisban koptatják. Ezek a dobok hatszögletű, hordó formájú, vízszintes tengelyen forgó gépek, amelyekben a darabok a fényesítő anyaggal együtt forognak. Dobolás során előcsiszolást végeznek kőpor, olaj és szögletes műanyag darabkák felhasználásával. Ezután a második fokozatban alumíniumoxid, lenolaj és fakockák közé teszik a darabokat. A harmadik fokozatban polírozó péppel fakockák felhasználásával polírozást végeznek. Egy dobolás 24 órán keresztül történik, a dobolások között a darabokat ultrahangos tisztításnak vetik alá különböző folyadékok felhasználásával. Polírozás után a szárakat szögben lemarják, hogy megfelelően illeszkedhessenek a középrészhez. A szárakat ideiglenesen felrakják és megívelik. A szárakat csavarozzák, beállítják a keretet, majd rongykoronggal felpolírozzák. Végül a szárakba beütik az adatokat, beteszik a demólencsét, és a kész keret egy végső ellenőrzésen megy át. Régen takarékosági okokból, amikor kevés volt az alapanyag az anyagot a szükséges méretnél kisebbre szabták, majd melegen felhúzták a kívánt méretre. A megmunkálás folyamán azonban ezek az alapanyagok melegítés közben

összeugrottak, ahelyett, hogy kitágultak volna, így ma már ezt az eljárást nem használják. Napjainkban egyre többen próbálkoznak 3D-s nyomtatott szemüvegkeret készítésével. Elsősorban kisebb szemüvegkészítő cégek, designer stúdiók próbálkoznak ezzel az új technológiával. Jelen pillanatban még csak alacsony darabszámmal és a hagyományos szemüvegkeret készítéssel összehasonlítva kezdetlegesebb minőségérzettel jár a 3D-s szemüvegkeret nyomtatás. A klasszikusan gyártott műanyag szemüvegkeretek minőségét sok tekintetben (még) rendszerint nem érik el, mert hiányzik pl. a polírozás munkafolyamata. Ezért a 3D nyomtatott szemüvegkeretek felülete nyersnek, durvának hat. A 3D nyomtatásnál alkalmazott műanyagok hőre lágyuló alapanyagok, ezért az ebből készült szemüvegkeretek hosszabb távon akár alakváltozást is szenvedhetnek a viselés során. Amennyiben sikerül a kezdeti gyerekbetegségeket kiküszöbölni és a technológián javítani, akkor a jövőben számítani lehet a 3D nyomtatott keretek szélesebb körű elterjedésére. Sok lehetőséget rejt magában, mint pl. az egyénre szabott, az arc anatómiai adottságait figyelembe véve gyártott szemüvegkeretek készítése, amennyiben a szükséges mérés technika rendelkezésre áll. Így a jövőben kevesebb problémát okozhatnak a 3.2.3. pontban részletezett szemüvegkeret ajánlási/kiválasztási szempontok, korlátok.

Fém szemüvegkeretek gyártása

Fémkeretek gyártásánál a kiindulási anyag mindig fémhuzal. Ebből készítik a középrészt, a szárakat és a pipát is. A huzalok vastagsága 1-3 mm. A karika készítésénél profilra húzzák (hengerelik), amennyiben szükséges, közben melegítik is. Hengerlés közben a szemben forgó hengerpár adja meg a nút formáját és mélységét. A karika felszíne többféle lehet, kocka, félkör, vagy csapott. A karikahajlító az acélsablont letapogatja, és annak megfelelő formára vágja a huzalt. Ha a vágás vége nem egyenes, akkor azt még lecsiszolják. Szár készítésénél a huzalt csak méretre vágják. Elektromos keményforrasztással (ellenállás forrasztással) „gyöngyöt” forrasztanak a karikára, ezzel a karika elkészült. Végleges formáját átkalibrálással kapja meg a megfelelő hajlító szerszámban. A lapos szélesebb hidakat lemezből préselik, a vékonyabb, egyenes hidakat dróthuzalból készítik. Ha a karikák elkészültek, a két karika közé hidat forrasztanak, ha szükséges átkötőt is, majd felforrasztják a papucs-tartó pipákat is. A gyöngyöt vékony fűrész tárcsa segítségével középen kettévágják egy menetes és egy menet nélküli részre. Mielőtt a cafnit felforrasztják, a szárat egy szintbe fűrészelik a cafnival. Ha szükséges utána reszelővel megigazítják és az egy szintbe reszelt szárral együtt forrasztják fel a cafnit a helyére. Egy speciális szerszám segítségével a cafnit derékszögben meghajlítják. A fél gyöngy felső részét, ahova a csavar feje kerül, átfúrják, míg az alsó részébe menetet fúrnak.

A fémkeretek alkatrészeinek a pipának, a cafninak, és a csuklónak a gyártása préseléssel vagy forgácsolással történik. A keretgyárak ezeket az alkatrészeket maguk általában nem gyártják, hanem veszik. A kereteket forrasztással (forrasztóanyag) lágy cinezéssel 500 °C alatt, vagy keményforrasztással állítják össze ezüstötöztetéssel 650 °C és 730 °C-on. A szemüvegkeret alkatrészeit általában keményforrasztással állítják össze, mert ez tartósabb kapcsolatot eredményez az egyes részek között. Egyre jobban terjed a nagy nyomáson végzett elektromos ponthegesztés, illetve az ellenállásos hegesztés (elektromos keményforrasztás) is. Ennek oka, hogy egyes fémek (pl. a titán) nem forrasztható, sőt hegeszteni is csak védőgáz alatt

lehetséges. A hegesztése legnagyobb előnye a forrasztással szemben, hogy hegesztésnél az alapanyag és a hegesztő anyag egymásba olvad, és közöttük tökéletes fémes kötés alakul ki.

Azután a kész alkatrészeket zsírtalanítják, majd dobolással polírozzák. Ezután következhet a felületvédelem felvitele galvanizálással, illetve a keret színezése. A galvanizálás lényege, hogy egy fémionokat tartalmazó folyadékba merítik a keret részeit, melyekre töltést kapcsolva magukhoz vonzzák a galvanizáló anyag fémionjait, és amelyek fémes kapcsolatot alakítanak ki az alapanyaggal. Ezután felfestik a keret adatait a szárak belső oldalára. Végző műveletként a papucsockat felszerelik, felhúzzák a műanyag szárvégeket, majd a keretet beállítják, és végül megtisztítják.

Csakúgy, mint a műanyag szemüvegkereteknél itt is megjelent a 3D keretnyomtatás. A nyomtatott fém szemüvegkeretekre is igaz, hogy a nagy piaci áttörés még várat magára, de a technológiában rejlő előnyök a jövőben itt is érvényesülni fognak.

3.2.3. A szemüvegkeretek kiválasztásához szükséges optikai szempontok

A szemüvegkeretek egyrészt divatcikk, másrészt ugyanakkor optikai szempontoknak is meg kell felelniük. Sajnos a divat nem mindig veszi figyelembe, hogy a keretek optikai szempontból is megfelelőek legyenek. A legtöbb problémát az szokta okozni, amikor kis fejforma és/vagy kicsi pupillatávolság esetén túl nagy karikaformát választanak. Amennyiben a divat inkább a kis kereteket részesíti előnyben, úgy ilyen nehézséggel általában nem kell szembenézni. Az optikai szempontok, amikre egy keret kiválasztásánál figyelni kell elsősorban a használhatóságot és a gyárthatóságot veszik figyelembe. Általában célszerű arra törekedni, hogy a pupilla lehetőleg a karika középpontjába essen, így csökkenthető a leginkább a lencse szélén fellépő torzító hatás. Bifokális és multifokális lencsék esetében a túl keskeny keret nem javasolt, mivel az olvasórész ezekben az esetekben beszűkülhet, vagy extrém rövid csatornás lencsét kell választani, amit lehet, hogy a vevő kényelmetlennek érez. Napszemüveg lencsék esetén a megfelelő védőhatás elérése céljából praktikusabb valamivel nagyobb keretet választani. Amennyiben a fej mérete megengedi, erős fénytörési hibák esetén inkább kisebb karikarészt célszerű választani az erős torzítások elkerülése végett. Fontos, hogy bonyolult dioptriák esetén lehetőleg állítható papucssal rendelkező keret kerüljön kiválasztásra, lehetővé téve az esetleges után igazítást. Bifokális lencsék illesztése esetén célszerű, ha a választóvonal nem esik az alsó szemhéj fölé, így nem zavarja a távoli látást. Csak olvasódioptria használata esetén célszerű félolvasó keretet választani, vagy esetleg olyan, kisebb karikával rendelkező keretet, ami fölött az illető szabadon átnézhet, így távolra pillantva nem szédül el. Fürt keretet olvasószemüvegnek a nagyobb terhelés miatt nem célszerű ajánlani. A torzításokat növeli még, ha a szemüveg csúszkál, nincs jól beállítva, illetőleg ferdén áll a páciens fején. Ezekben az esetekben igazítani kell a szárvégen, hogy az a koponyához megfelelően hozzásimuljon (amennyiben túl hosszú, és lehetséges, praktikus lehet belőle levágni), a papucsockon, a szárak szorosságán és dőlésszögén. Amennyiben minden megfelelően be van állítva, úgy az illető hosszú ideig elégedetten, panaszmentesen tudja viselni a szemüvegét.

3.2.4. Szemüvegkeretek javítása

Bár a szemüvegkeretek javításával napjainkban egyre kevesebben foglalkoznak, az optikus mesternek ismernie és lehetőség szerint alkalmazni is tudnia kell a javítási módszereket. A legjellemzőbben a törött szemüvegkeretek javítására mutatkozik igény. Törött műanyagkeretek javítása gyakran nem hoz tartós eredményt. A legtöbb pillanatragasztó nem alkalmas a gyakorlatban a keretek összeragasztására. Kaphatók azonban olyan két komponensű műanyagragasztók, amelyekkel viszonylag tartós eredmények érhetők el. Ezeknél a ragasztóknál mindig követni kell a technológiai leírást. De még így is előfordulhat, hogy összeragasztott karikák nem bírják ki a lencsék ismételt keretbe helyezését. Acetát keretek javítására acetont használhatunk. Ennek segítségével feloldhatjuk az acetát alapanyagot és a feloldott felületeket „összeragaszthatjuk”. A mindennapi életben a műanyag szemüvegkeretek javítása a kétséges sikeresség miatt már nem túl gyakori.

Fém keretknél gyakori jelenség, hogy elenged a gyári forrasztás vagy hegesztés. Fém keret is eltörhet, elpattanhat. Fontos tudni, hogy nem minden fémet lehet forrasztással javítani. Titániumot tartalmazó fémkeretek kizárólag hegesztéssel javíthatóak. A forrasztás során nem olvad össze a két felület, hanem segédanyag (forraszanyag) közvetítésével áll össze. A forrasztás során keletkező viszonylag magas hőmérséklet a fém keretek felületét elszínezi, a rajtuk lévő festék és lakkrétegeket leégeti. A forraszanyag és az elszíneződés jól látható marad, azért nem túl esztétikus. A hegesztés során, ami egy erre a célra alkalmas lézerekészülék, a két felületet összeolvasztjuk, így oldhatatlan kötést hozunk létre. A lézeres hegesztés során is nagy hő keletkezik, de csak az adott pontban, ezért esztétikus és ami fő tartós javítást tesz lehetővé.

Gyakran felmerül az igény, hogy az eltörött és javíthatatlan szemüvegkeretek lencséit „mentsük meg”. Szerencsés esetben a lencsék átrakhatók az üzletben egy ugyanolyan keretbe, de sokszor csak az átcsiszolás segíthet. Ilyen esetekben a gyakran csak a kézi csiszolással oldható meg a feladat. Az optikus mesternek tudnia kell adott esetben kézzel átcsiszolni a lencséket!

3.3. Távcsovek, látásjavító segédeszközök és finommechanikai cikkek anyag- és áruismerete

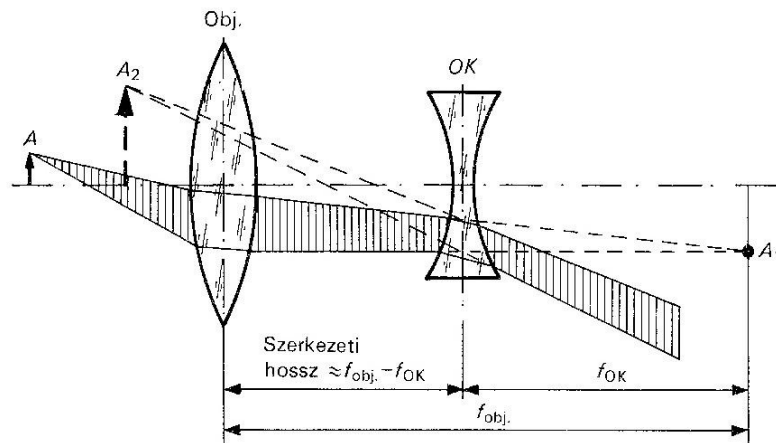
3.3.1. Távcsovek

A távcsovek afokális lencserendszerek, melyek esetén a két lencsetag úgy helyezkedik el, hogy azok fókuszpontja egybeesik. Az Optikai alapismeretek című fejezetben leírtaknak megfelelően a párhuzamosan, a távolból érkező, és a távcsove belépő fénysugarak az afokális lencserendszerből egymással párhuzamosan lépnek ki. Mivel azonban az objektív lencse fókusz távolsága jóval nagyobb, mint az okulár lencse fókusz távolsága, az afokális lencserendszer megváltoztatja a látószögeket:

$$N_{sz} = f_{obj.} / f_{ok.}$$

Ennek megfelelően a távcsovek feladata a látószögek nagyítása. A gyakorlati életben a két legjobban elterjedt távcsoőtípus a *Galilei* típusú és a *Kepler* típusú.

A Galilei típusú távcső objektív lencsége gyűjtőlencse, míg okulár lencsége szórólencse. Ennek megfelelően a lencserendszer közös fókuszpontja a távcsövön kívül található. A Galilei-féle távcső *látászólagos, egyenes állású és szögnagyítás szempontjából nagyított* képet hoz létre. A kép egyenes állása a távcső legnagyobb előnye. Másik fontos előnye a távcsőnek, hogy széles a látómezeje. Harmadik előnye az, hogy a közös fókuszpont a távcsövön kívül helyezkedik el, így a távcső rövid szerkezeti hosszal rendelkezik, ami kis méretet ad a Galilei típusú távcsőnek. Sajnos azonban a szögnagyítása nem túl jelentős, a gyakorlatban maximálisan kb. 5-szörös nagyítás érhető el vele. Leggyakoribb alkalmazási területe a színházi látcső.



44. ábra. A Galilei-távcső képképzése.⁴²

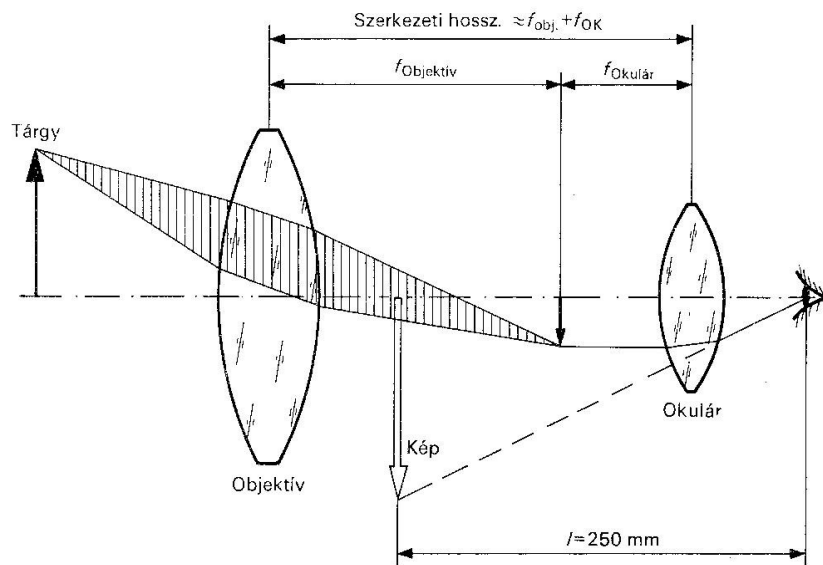
A látászéreteti gyakorlatban alkalmazható még a távcsőszemüvegeknél is csökkentlátók látásjavító segédeszközöként. A Galilei típusú távcsőszemüvegeknél 16° és 24° közötti látószög mellett 1.8, és 2.2 közötti szögnagyítás érhető el távolra. Közeleli használatra, mely általában csak monokulárisan oldható meg, ez a nagyítás érték kb. 12-szeresre növelhető előtétlencse segítségével.

A Kepler típusú távcső objektív és okulár lencsége is gyűjtőlencse. Ennek megfelelően a lencserendszer közös fókuszpontja a távcsövön belül található. A Kepler típusú távcső *látászólagos, fordított állású és szögnagyítás szempontjából nagyított* képet hoz létre. A Kepler rendszerű távcsövek legnagyobb előnye, hogy nagyon nagy szögnagyítás értékek is elérhetőek vele. A gyakorlati határt a keletkező kép felbontása jelenti, egy bizonyos nagyítás esetén már élvezhetetlenné válik a kép. A felbontóképesség javítható az objektív lencse méretének növelésével. Ezért készítenek csillagászati célokra hatalmas méretű távcsöveket. Tapasztalati határnak azt tartják, hogy a távcső szögnagyítása nem lehet nagyobb, mint az objektív lencse mm-ben kifejezett átmérője.

A távcső hátrányai közé sorolható a kisebb látómező és a fordított képállás. A kép fordított volta nem okoz problémát a csillagászatban, csak földi körülmények között. A mindennapos életben a Kepler típusú távcsövet csillagászati célokra, kereső és vadász távcsöveknél, a látászéreteti gyakorlatban pedig a távcsőszemüvegeknél alkalmazzuk. Távcsőszemüvegeknél 8° és 12° közötti látószög mellett kb. 4-szeres szögnagyítás érhető el távolra. Közeleli használatra előtétlencse segítségével, monokuláris kivitelben ez a nagyítás érték kb. 20-

⁴² Rózsa Sándor: Fizikai és geometriai optika, 1980, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

szorosra növelhető. A Kepler típusú távcsőszemüveg közelre is elkészíthető binokulárisan, és szőgnagyítása kb. 10-szeresig fokozható.



45. ábra. A Kepler-távcső képképzése.⁴³

Földi körülmények között a Kepler típusú távcső csak akkor használható, ha a keletkező képet egyenes állásúvá és oldalhelyessé tesszük. Ha az alkalmazás során a távcső mérete nem okoz problémát (pl. fegyvertávcsőveknél), a képfordítás megoldható az optikai rendszer bővítésével. Azonban a kereső távcsőveknél, ahol lényeges szempont a távcső minél kisebb mérete, hiszen kézben tartja a vásárló a távcsövet, a képfordítást ún. reflexiós prizmák segítségével oldják meg. A képfordító rendszerek közül a legelterjedtebbek: a *Porro-féle* prizmarendszer, a *Schmidt-*, vagy más néven *Pechan* prizma, és az *Abbe-König* prizma.

A Kepler típusú távcső nagyításának gátat szab az objektív lencse gyártható mérete. A nagy átmérőjű bikonvex lencsék jelentős vastagsággal rendelkeznek az optikai tengelynél, ezért egyrészt nagy súlyú lesz a távcső, másrészt pedig a gyártás során történő hűtési folyamatot megnehezíti a jelentős vastagság. További problémát okozhat az objektív lencse jelentős mértékű színbontása. Az említett problémákat úgy lehet kiküszöbölni, hogy az objektív lencse helyett homorú tükröt alkalmaznak, melyet *Newton* típusú távcsőnek nevezünk.

3.3.2. Látásjavító segédeszközök

Látásjavító segédeszközökre akkor van szükség, ha a hagyományos korrekciós eszközökkel nem érhető el megfelelő látásélesség és zavarja vagy akadályozza az embert akár mozgásában, akár munkájában. Rendszerint csökkentlátók vagy a látószervet érintő betegséggel és/vagy degeneratív elváltozással élő személyek szorulnak ezeknek az eszközöknek a használatára. A látásjavító eszközök lehetnek lupék, nagyítók, távcsőszemüvegek, különféle olvasást segítő elektronikus képmegjelenítő készülékek. A mindennapi gyakorlatban az optikus szaküzletben általában különböző nagyítással rendelkező nagyítók és lupék kaphatók. Ritkább esetben találkozunk távcsőszemüveggel. A látásjavító

⁴³ Rózsa Sándor: Fizikai és geometriai optika, 1980, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

segédeszközök használata akkor lehet eredményes, ha az ideghártya központi területén még van annyi ép látóideg, hogy egy felnagyított karaktert, pl. betűt, összefüggőként lehessen felismerni. Ezeknek az eszközöknek a használata kezdetben nehéz lehet. Minél nagyobb nagyításra van szükségünk, annál nagyobbá válnak az írásjelek és csökken az egyben áttekinthető szöveg nagysága. A szemüvegbe épített segédeszközzel gyakran jóval közelebbi olvasótávolságra van szükség. A távolra használt távcsőszemüveg pedig jelentősen leszűkíti a látóteret, így azok használata sok türelmet és gyakorlást igényel. Látásjavító segédeszközök ajánlásakor, választáskor általánosságban elmondható, hogy minél rosszabb a látásélesség, annál nagyobb nagyításra van szükség. Az alábbi táblázatban, erősen leegyszerűsítve látható, hogy milyen látásélesség mellett, milyen eszközök segíthetik a közeli látást.

látásélesség	látásjavító segédeszköz
0,2 – 0,4	olvasó léc, kézi nagyító, világító kézi nagyító (nagyítás közelre 1-3x), binokuláris nagyító szemüveg
0,05 – 0,2	monokuláris nagyító szemüveg, világító kézi nagyító, távcsőszemüveg, egyszerűbb elektromos nagyító segédeszközök (nagyítás közelre 3-10x)
0,05	elektronikus olvasó készülékek (nagyítás 8-20x)

V. táblázat. A látásélesség és az ajánlott látásjavító segédeszközök ³¹

A távcsőszemüvegek lehetnek monokulárisak és binokulárisak. A Galilei vagy Kepler típusú távcsöveket egy hordozó keretbe illesztik be. A szemüveg elkészítése nagy precizitást és gyakorlatot igényel, valamint igen drágák, ezért csak kevés helyen foglalkoznak azok elkészítésével.



46. ábra Galilei típusú távcsőszemüveg.⁴⁴

3.3.3 Finommechanikai cikkek anyag- és áruismerete

A folyadékos hőmérők – melyek leggyakrabban alkoholt vagy higanyt tartalmaznak –, működési elve a folyadékok hőtágulásán alapszik, ami azt jelenti, hogy egy adott mennyiségű

⁴⁴ <https://www.rehabos.info/tavcsoszemueveg>

anyag térfogata függ a hőmérsékletétől, minél magasabb a hőmérséklet, annál nagyobb a térfogata az anyagnak. Bár a folyadékot tartalmazó üvegtartály térfogata is változik a hőmérsékletváltozás során, a benne levő folyadék térfogata lényegesen nagyobb mértékben változik. A folyadékot légmentesen lezárt üvegcsőben tárolják annak érdekében, hogy állandó mennyiségű anyag álljon rendelkezésre a mérés során. Főleg a higanyos hőmérők esetén fontos a zárt tartály, mert a higany mérgező anyag, és nem érintkezhet a bőr felülettel sem. A hőmérőn egy beosztás vagy skála található, mely a fokokat jelzi két speciálisan választott alappont között egyenletes beosztással. A legismertebb és legelterjedtebb hőmérő az alkoholos szobahőmérő. Az alkohol egy tágulási tartályban helyezkedik el, melyhez kapilláriscső csatlakozik, melyben az alkohol annál magasabbra emelkedik, minél melegebb lesz.

A gyakorlatban több hőmérsékletmérési skála terjedt el. A *Celsius-skála* szerint működő hőmérőkön a két alappont a víz fagyási hőmérséklete (0 °C) és forrási hőmérséklete (100 °C) normál légnyomás mellett. A *Kelvin-skála* alappontja az ún. abszolút nulla fok, melyen az atomoknak és azok részecskéinek minden típusú mozgása leáll, és csupán a részecskék ún. **nullponti energiája** marad meg, Celsius fokban mérve ez a -273,15 °C. A Kelvin-skála fokbeosztása megegyezik a Celsius-skáláéval, csak -273,15 értékkel eltolódva. Az angolszász nyelvterületen elterjedt még a *Fahrenheit-skála* alkalmazása is. A Fahrenheit-skálán a víz fagyáspontja 32 Fahrenheit fok, azaz 32 °F, forráspontja pedig 212 °F. Az átváltási szabály a Celsius és *Fahrenheit* között:

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \cdot 5/9$$

A barométer a légnyomás mérésére szolgáló készülék. Ha az egyik végén lezárt folyadékkal – például higanyal – telt csövet a nyitott végével egy higanyal töltött edénybe állítunk, akkor a lezárt részben lévő higanyoszlop magassága a higanyal teli edényre nehezedő légnyomásnak megfelelő magasságba emelkedik. A légnyomás értékét egy skálán, vagy pedig egy számlap előtti mutató segítségével lehet leolvasni. A higanyos légnyomásmérő készülékek mellett elterjedtek még a vizes barométerek, az aneroid, vagy más néven vákuumos fém barométerek. Az aneroid barométer szerkezetének lényege egy korong alakú fémdoboz, amelynek egyik oldala körkörös hullámosítás következtében kidudorodhat, ill. homorúvá válhat. Az elmozdulás a körlap középpontjában a legnagyobb, melyet egy szerkezet a mutató elmozdulásává alakít át. A légnyomás SI mértékegysége a pascal (Pa), melynek százszorosa, a hektopascal (hPa). A különböző, és a gyakorlatban alkalmazott mértékegységek között a következő összefüggés van:

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ Hgmm} = 760 \text{ torr} = 101325 \text{ Pa} = 1013,25 \text{ hPa} = 1013,25 \text{ mbar}.$$

Az összefüggésben szereplő mértékegységek:

- 1 atm: az atmoszférikus nyomás egysége.
- Hgmm: higanymilliméter, melyet 0 °C-on határozzunk meg a normál nehézségi gyorsulás (g) mellett.
- 1 torr: ugyanaz, mint a Hgmm definíciója, csak Torricelliről elnevezett mértékegység.
- 1 bar: a nyomás régebbi mértékegysége, értéke az 1 Kp (kilopond) / cm².

A higrométer a levegő nedvességét, vízgőztartalmát mérő műszer, amely az abszolút légnedvesség, vagy a relatív légnedvesség meghatározására alkalmas. Legelterjedtebb a hajszálas higrométer. Működésének elve a hajszálnak az a tulajdonsága, hogy a levegő páratartalmának növekedése arányában megnyúlik, csökkenése esetén pedig megrövidül. A két végén befogott hajszálköteg hossza a nedvesség hatására jelentősen megváltozik, és ez megfelelő áttétellel, skála előtt mozgó mutatóra vihető át. A hajszálas higrométer-skála beosztása 0-100%-ig terjed, a relatív nedvességet mutatja, melyből az abszolút nedvesség a hőmérséklet ismerete alapján kiszámítható. A hajszálas higrométerek mellett elterjedtek még az abszorpciós-, és a kondenzációs higrométerek. Az abszorpciós légnedvesség mérő mérése az anyagok vízfelvevő képességén alapul, mert a megkötött víz megnöveli az adott anyag súlyát. A kondenzációs higrométer mérésének alapja, hogy a levegőnél hűvösebb testeken a harmatponton lecsapódik a levegő párája.

4. Kontaktlencse és kontaktlencse ápolószerek anyag és áruismerete

4.1. A kontaktlencse történeti áttekintése

1827. F. W. Herschel angol fizikus az irreguláris asztigmia és a keratoconus korrigálásának kutatása közben fedezte fel, hogy a szemüveg helyettesíthető egy, közvetlenül a szemre helyezett lencsével.

1888. A. E. Fick az irreguláris asztigmatiát fűjt üvegből készített, közvetlenül a szemre helyezett scleralis kagylóval tudta korrigálni.

1889. August Müller szigorló orvos készítette el az első dioptriával rendelkező csiszolt kontaktkagylót, saját -14,0 dioptriás szemére.



47. ábra. Müller-Welt üveg kontaktkagyló tároló fiolában.⁴⁵

1912-1918. a német Carl Zeiss cég megkezdte a kísérleteit az előre kiszámított optikai hatású sclerális kagylók gyártásához, aminek eredményeképpen 1928-ban már próbasorozatot voltak képesek elkészíteni (39 db lencse Heine mérései alapján). Ezeket az üveg sclerális kagylókat elsősorban keratoconusos egyének számára készítették. A kagylók technikailag tökéletesre sikerültek, viselésük mégsem volt kényelmes, mivel a szférikus felület miatt nem feküdtek fel tökéletesen a sclerára.

1929. Budapesten Csapody István szemész szakorvos vett először élő szemről lenyomatot, és ez alapján készített kontaktkagylót.

1933. Dallos József, aki a Mária utcai Szemklinikán volt tanársegéd, pontos felfekvésű sclerális kagylót dolgozott ki élő szemek vizsgálata alapján (aszférikus széli rész).

⁴⁵<https://www.antiquesnavigator.com/d-1689110/antique-or-vintage-german-glass-contact-lenses-in-case-m%C3%BCller-welt-stuttgart.html>



48. ábra. Dallos József⁴⁶

1936-ban Dr. Györfly István gyártott a világon először plexiből kontaktkagylót saját maga által kifejlesztett préseléses eljárásával (200 db-os próbasor). A könnyfilm áramlásának biztosítására a széli részen több helyen átfúrták a kagylókat.



49. ábra. Dr. Györfly István⁴⁷

1948. M. Tuohy amerikai optikus szabadalmaztatta az első kemény cornea lencsét. Ettől kezdve főleg ezt használták.

1954-ben Dr. Györfly István kidolgozta, és szabadalmaztatta a PMMA-ból készült kemény kontaktlencsék préselési eljárását. Így Magyarországon is lehetővé és elérhetővé vált ez a fajta optikai korrekció.

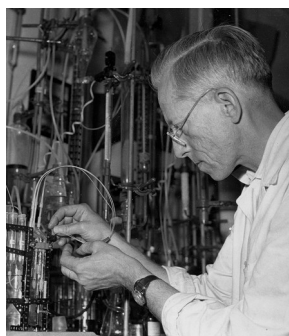
1955-ben kifejlesztették a több görbületű lencsét (Anglia: Bier, USA: Moss)

1966. Szilikongumihoz hasonló alapanyag kifejlesztése, ami azért nem lett sikeres, mert a szilikon hidrofób (Müller-Welt, Chicago).

1961. Hidrofil – HEMA műanyagból próbálnak lágy kontaktlencsét készíteni (Wichterle, Lim, Dreyfus – Prága), ami majd 10 évnyi kísérletezés után kezdett rohamosan terjedni.

⁴⁶ https://inno-anno.blog.hu/2018/03/29/aki_tokelyre_csiszolta_a_kontaktlencset

⁴⁷ <https://kontaktlabor.eu/wp-content/uploads/2012/03/gy%C5%91rffy.jpg>



50. ábra. Otto Wichterle.⁴⁸

Az 1960-as években az amerikai Bausch&Lomb cég megvásárolta az alapanyaghoz és a gyártási technológiához kapcsolódó jogokat, így 1971-ben ez a cég volt a világon az első, amelyik lágy kontaktlencsét gyártott.

1975-ben az OFOTÉRT megnyitotta Magyarországon az első kontaktlencse rendelőt, itt került először hazai forgalomba a lágy lencse.

1976-ban megjelennek az első oxigénáteresztő ún. „félkemény” lencsék (RGP lencsék – Boston, Polycon, CAB). 1982-től kezdődően ezeknek a lencséknek is megoldódott a Magyarországi gyártásuk.

1987-ben megjelent az első eldobható, 1 napos lágy kontaktlencse Acuvue néven a Johnson&Johnson cég fejlesztésében.

Még ugyanebben az évben bevezetésre került az egy hétig folyamatosan viselhető lágy kontaktlencse is.

Az 1990-es évektől folyamatosan terjed az egyre rövidebb csereritmusú lágy lencsék fejlesztése, először csak fél éves, majd negyedéves, újabban havi és 2 hetes csereritmusú lencsék találhatók meg a piacon.

1997-től készülnek olyan magas oxigénáteresztő képességű szilikon-hidrogél lágy lencsék, amelyek kiterjesztett, vagy folyamatos viseletre is alkalmasak.

1998-ban bevezetik a biokompatibilis, magas foszforilkolin tartalmú, erős vízmegkötő képességű lágy lencsét.

2003-ban megjelennek a szilikonhidrogél lencsék napi viseletre kifejlesztett változatai is.

2005-től a hibrid kontaktlencsék kifejlesztése jelentett új irányt, amiben a centrális rész formatartó, a széli rész lágy lencse alapanyagból készül. Ezekben a lencsékben egyrészt a formatartó lencse jobb optikai tulajdonságát, másrészt a lágy lencse kényelmét próbálják ötvözni. Jelenleg ez a fajta lencse még nem elterjedt.

Az alapanyagok fejlesztésével elsődleges cél a minél hosszabb hordásidő elérése a szaruhártya megfelelő oxigénellátása, a megfelelő mennyiségű könny, valamint a lehető legkisebb fertőzésveszély biztosítása mellett.

4.2. A kontaktlencsék osztályozása

A kontaktlencsét különböző szempontok szerint csoportosíthatjuk:

- Alapanyag szerint
- Víztartalom szerint

⁴⁸ <https://cen.acs.org/articles/95/i13/Making-better-contact-lenses.html>

- Méret és a szemén való felfekvés szerint
- Csereritmusuk szerint
- Viselési időtartamuk szerint
- Színezésük szerint

A következő pontokban ezeknek az osztályozásoknak megfelelően tekintjük át a kontaktlencse típusokat.

4.3. A kontaktlencsék alapanyagai

A legelső kontaktlencsék alapanyaga üveg volt, amelyet a mai méretétől eltérően scleralis kagyló formájában alkalmaztak. Az üveg kagyló teljesen ráfeküdt a bulbusra, rajta lyukak voltak a könny áramlásának biztosítására és a párasodás megakadályozására. A ma használatos kontaktlencsék olyan műanyagok, amelyeket polimerizációval állítanak elő. A polimerek 3 csoportba oszthatók. Az első csoportba a nem formázható, nyomás- és melegtűrő, kemény, törékeny, mégis a víz felvételére képes lencsék tartoznak (pl. a HEMA). Ezeket duromereknek nevezzük. A második csoportot az elasztomerek alkotják, amelyek elasztikus tulajdonságúak, pl. a szilikonkaucsuk. Ezek a lencsék szintén duzzadnak, de nem lágyulnak. A harmadik csoportba a termoplasztikus alapanyagok tartoznak, amelyek meleg hatására lágyulnak, és formázhatóak, hideg hatására merev formát vesznek fel. A folyamat megfordítható (pl. PMMA).

A II. világháború után kezdték alkalmazni a kemény és gázáteresztő kontaktlencséket. A kemény lencse alapanyaga a polimetil-metakrilát (PMMA), amelyet a hadi iparból vettek át. Legjellemzőbb tulajdonsága, amely alkalmassá tette arra, hogy kontaktlencse alapanyagként használják, hogy az emberi szövet nem tekinti idegen anyagnak, így nem vált ki a szemén reakciót. Olcsó alapanyag, jól reprodukálható, pontosan és egyszerűen gyártható széles paraméterskálán. Optikailag tökéletes felszint ad. Hátránya, hogy kemény, így erős idegentest-érzést kelt (ezért nehezebb megszokni), nem tartalmaz vizet, így felületén jobban megtapadnak a szennyeződések, és sokszor kényelmetlen lehet a viselete, valamint nem tartalmaz oxigént. Emiatt ezt az alapanyagot továbbfejlesztették, így alakultak ki a rigid gázpermeábilis kontaktlencsék (RGP). Az RGP alapanyaga lehet a cellulóz-acetát-butirát (CAB), amely 1-2% vizet tartalmaz, oxigénáteresztő képessége az anyag térhálós szerkezetétől függ, az SA (szilikonakrilát), az FSA (fluoroszilikonakrilát), és a Fluorocarbon (ezek fluor tartalmú polimerek). Ezeknek a lencséknek kb. 10-12-szer nagyobb a permeabilitásuk, mint a CAB lencséknek. Mindegyik az RGP gyenge tulajdonságait igyekszik javítani, elsősorban az oxigénáteresztő képességet és a viselhetőséget. A lágy kontaktlencsék elterjedését a kényelmi szempontok fontossága és a kémiai ipar fejlődése tette lehetővé. A HEMA (hidroxietil-metakrilát) homopolimer kényelmes viseletű, kb. 38 % víztartalmú lencse, kb. 12-15 % oxigén áteresztéssel. Kényelmesebb, mint a korábbi lencsék, de még így is elég vastag. A HEMA alapanyagokat később egyéb anyagokkal kombinálták, így jöttek létre a kopolimerek. Minden változtatás valamely tulajdonság javítása céljából jött létre. Ezek általában a száradás csökkentése a víztartalom növelésével, illetve az oxigénáteresztő képesség javítása volt. HEMA-mentes alapanyag az MMA, vagy más néven metilmetakrilát. Jelenleg számos kopolimert használnak, általában a kontaktlencse gyártó cégek tapasztalatai szerint. A lágy lencséket megkülönböztetjük, mint ionizáló és nem ionizáló felületű

kontaktlencsék, valamint alacsony (50% alatti), vagy magas víztartalommal (50% feletti) rendelkező lencsákat. A lágy kontaktlencsék alapanyagait az elmúlt időszakban azért kellett továbbfejleszteni, mivel az emberek egyre hosszabb ideig akarták viselni lencséjüket, illetve az érzékeny szeműeknek nem volt elegendő az eddig biztosított oxigén mennyisége. Amíg a hagyományos lencsék viselési ideje 8-10 órában volt maximálva, addig az új fejlesztésű szilikon-hidrogél kontaktlencsék lehetővé tették a napi hosszított viseletet. Néhány lencse megkapta a megfelelőségi bizonyítványt arra is, hogy néhány órás bennalvás esetén sem károsodik a szem, mert a lencse megfelelő oxigént tud biztosítani a szaruhártya számára. A másik fontos tulajdonsága, hogy a szilikon-hidrogél kontaktlencsék kevesebb vizet tartalmaznak az anyagukban, mint hagyományos társaik, ami egyben azt is jelenti, hogy a szilikon-hidrogél lencse viselete esetén már nem von el a szemből annyi vizet, mint kevésbé modern elődje, ezért kevésbé szárad.

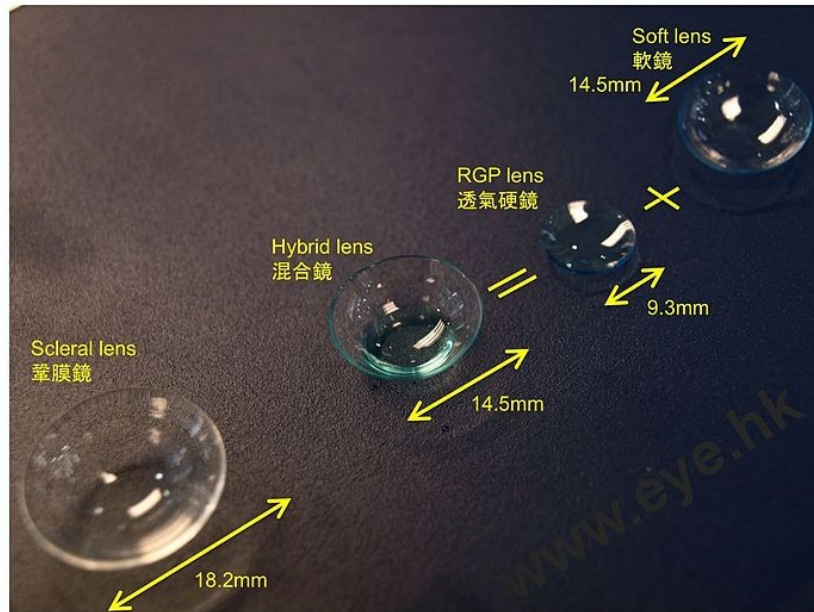
A könnyebb áttekinthetőség kedvéért néhány táblázatba is összefoglaljuk a kontaktlencsék csoportosításának lehetséges szempontjait.

Kemény kontaktlencsék	Lágy kontaktlencsék	Hibrid kontaktlencsék
PMMA (polimetil-metakrilát)	HEMA – hidrogél (hidroxietil-metakrilát)	Szilikon hidrogél széli rész – RGP centrális rész
RGP - rigid gaspermeable (CAB-cellulóz-acetát-butirát, Polycon)	Poli-Hema – hidrogélek (HEMA+kopolimerek)	
	Szilikon-kaucsuk (fejlesztési zsákutca)	
	Szilikon-hidrogél	

VI. táblázat. Kontaktlencsék csoportosítása alapanyag szerint

Szklerális lencsék	hibrid kontaktlencsék	16 mm -
Corneoszklérális lencsék	lágy kontaktlencsék	12mm – 16 mm
Corneális lencsék	kemény-, gázáttersző kontaktlencsék	8 mm – 11,5 mm

VII. táblázat. Kontaktlencsék felosztása méret és felfekvés szerint.



51. ábra. Sclerális, hybrid, RGP, és lágy lenszerek egymás mellett. Jól látszik az egyes lenszertípusok közötti méretbeli különbség.⁴⁹

Egyfókuszú kontaktlencsék	Többfókuszú kontaktlencsék
Szférikus, aszférikus kontaktlencsék	Multifokális kontaktlencsék, akár tórikus változatban is
Tórikus kontaktlencsék	Bifokális kontaktlencsék (már nem létezik)

VIII. táblázat. A kontaktlencsék csoportosítása felületi kiképzésük szerint

Enyhe, nem kozmetikai színezés	„handling tint” halvány kék a könnyebb kezelés érdekében
Egyszerű kozmetikai indikáció	a szem színének módosítása
Kozmetikai-esztétikai indikáció	a szem külső megjelenésének rehabilitációja
Prosztetikus indikáció	a szem szivárványhártyájának a helyettesítése
Amblyopia kezelése okklúziós lencsével	a pupilla területe sötét

IX. táblázat. A színezett kontaktlencsék felosztása

⁴⁹ Wikipédia

4.4. A kontaktlencsék típusai

A kontaktlencsákat kemény, lágy és a gázáteresztő típusokra bontjuk fel.

A **kemény lencse** formatartó, nem szakad, emiatt a kezelése is könnyű. Optikailag tökéletes felszín alkot, stabilitása miatt asztigmat és irreguláris asztigmat is korigál. A könnyűfilmen úszik, így ereződést nem okoz, annak ellenére, hogy az oxigént nem engedi át. Könnyű tisztítani, de hosszú hordásideje (jellemzően több évig hordják) miatt havonta fehérjeoldás elvégzése szükséges nem peroxidos rendszer használata esetén. Nagy előnye még, hogy olcsón és egyszerűen gyártható, széles paraméterskálán, akár egyedi paraméterekkel is. Hátránya, hogy kényelmetlenebb, mint a lágy lencse, így viszonylag nehéz megszokni. Emiatt napi, alkalmi viseletre nem alkalmas. Illesztése bonyolultabb, mint a lágy lencsée, ha nem illeszkedik tökéletesen könnyen kieshet, elcsúszhat. Sportoláshoz emiatt kevésbé ajánlott. Általában nincs belőle tartalék lencse. Alapanyaga vizet nem tartalmaz, így terápiás lencseként sem használható.

A **lágy lencse** legelőnyösebb tulajdonsága, hogy könnyen megszokható, kényelmes. 38-70 % vizet tartalmaz, magasabb az oxigénáteresztő képessége, így hordásideje hosszabb lehet, mint a kemény lencsée. Alkalmi, napi, valamint kiterjesztett viseletre is alkalmas, néhány típusa alváskor is használható. Létezik belőle UV-szűrős és színes változat is. Sportoláskor kevésbé mozdul el, így stabilabb látást biztosít. Általában gyakori csereritmusból viselik, így legtöbbször van belőle tartalék lencse, valamint könnyebben cserélik, így kisebb a szem fertőzésének és sérülésének veszélye. A gyakori csere miatt fehérjeoldás nem szükséges, de extrém esetben mégis szükséges lehet. Nagy víztartalma miatt terápiás célra is alkalmas. Előnye még, hogy nagy mennyiségben és olcsón gyártható. Hátránya, hogy puha, így felveszi a szaruhártya görbületi hibáit, emiatt optikailag nem tökéletes. A szférikus típus asztigmat csak bizonyos tartományon belül tud korigálni, így szükségessé vált a tórikus lágy lencse kifejlesztése. A lencsék kifejlesztése során figyelembe kellett venni, hogy a szemhéjak dinamikája minden pislogásnál rotáló hatást fejt ki a kontaktlencsére, ezért ezek lassan körbe fordulnak a szemgolyón. A tórikus lencsék cylinder tengelyállását ezért stabilizálni kell. A kontaktlencse gyártó cégek az évek folyamán két alapvető stabilizációs technikát dolgoztak ki. Az egyik az ún. dinamikus stabilizáció, a másik az ún. prizmaszabályozott stabilizáció. Napjainkban a gyártók a két módszert ötvözve újabb és újabb megoldásokat dolgoznak ki. Ezeknek a fejlesztéseknek az eredményeképpen ma már szinte bármilyen tengelyállással lehet tórikus kontaktlencsét rendelni, rendszerint 10°-os lépésközzel, de receptúra gyártásban akár 5°-os lépésközzel is. A tórikus lágy kontaktlencsék rendelhetőek egyedi gyártásban is, amikor nagyobb cylinderes korrekcióról van szó (-2,75-től egészen -5,75 cyl-ig.). A tórikus kontaktlencsákat gyártják napi és havi csereritmusból is.

Az évek folyamán, ahogyan a kontaktlencsét viselők elérték a presbyop kort, egyre nagyobb igény mutatkozott az ő korigálásukra. Szinte mindegyik kontaktlencse gyártó rendelkezik a multifokális kontaktlencsékkel, ezek akár tórikus kivitelben is rendelhetőek és van belőlük havi és napi kihordású is. Működésüket tekintve eltérnek a multifokális szemüveglencsétől, itt ugyanis koncentrikus gyűrűk formájában érik el a „multifokális” hatást. Ezért egyértelmű közeli értékeket nem lehet megadni. A gyártók inkább tartományokban gondolkodnak, mint pl. alacsony, vagy magas addíció. Használatuk, hasonlóan a multifokális szemüvegekhez, itt is tanulás/gyakorlást igényel, de itt inkább az agyat kell megtanítani a multifokális

kontaktlencsék működésére.

A lágylencsék kezelésénél jobban kell figyelni, mivel kifordulhat és könnyen szakad. Magasabb víztartalma miatt a higiéniai szabályokat fokozottabban kell betartani. Könnyebben okozhat allergiát is. Többször fordul elő éreződés, és a túlzott használata előbb vagy utóbb szövődmények kialakulásához vezethet.

A **gázáteresztő lencse** rendelkezik a kemény lencse összes jó tulajdonságával, de ezen felül hosszabb a hordásideje és több oxigént biztosít a szemnek. Kényelmesebbnek ítélik a hordásidő végén is. A kemény lencse összes hátránya nála is megfigyelhető az oxigénáteresztő képesség különbségével.

4.5. A kontaktlencsék élettartama és viselési szabályai

A kemény és gázáteresztő kontaktlencsék élettartama gyártótól és típustól függően 6, 12 – 18 hónap. Napi csereritmusú lencsék, minden este ki kell venni, és megtisztítás után fertőtlenítő folyadékba tenni. Két lépcsős folyadék használata esetén (tároló + tisztító) havonta egyszer-kétszer külön fehérjeoldás szükséges, ami a hidrogén-peroxidos rendszer alkalmazásakor elhagyható. Amennyiben a páciens még soha nem hordott ilyen típusú lencsét, akkor szoktatás szükséges. A lencse első alkalommal maximum 2 órán át viselhető, majd a hordásidő fél, egy órával növelhető naponta. A szaruhártya hirtelen leterhelése a megszokást lényegesen megnehezíti, extrém esetben lehetetlenné teszi. Szoktatási idő alatt műköny használata javasolt.

A lágylencsék élettartama változó lehet. Napi kontaktlencse azoknak ajánlott, akik alkalmi viseletként hordanak kontaktlencsét (sport, hobbi, nyaralás, kirándulás), vagy nagyon érzékeny szeműek (pl. pollenallergia esetén), vagy fontos nekik, hogy minden nap steril és ép lencsét helyezzenek fel. Előnye, hogy mindig van tartalék lencse, a dioptriák könnyen követhetőek, ha változnak, és utazás alkalmával nem szükséges külön folyadékot vinni. Használata során ápoló folyadék nem szükséges. Egy dobozban általában 30 darab lencse van, amit a viselő reggel felhelyez, és este kidob. Előnye a naponta friss, tiszta, steril lencse. A fertőzésveszély ebben az esetben a legkisebb. Kéthetes kontaktlencse ajánlott, ha valaki vékony, kényelmes lencsét szeretne, esetleg érzékeny a szeme, és szívesebben hord kéthetente friss, steril lencsét. Alkalmas még sportoláshoz, nyaraláshoz, utazáshoz is. A lencsét általában minden este ki kell venni, és folyadékba helyezni, de létezik egy hétig bennalvós variáció is. Ebben az esetben a kéthetes lencse egy hetes folyamatos viselet után kidobandó. A két hét hordásidő után egy új pár lencse felhelyezése ajánlott. Havi csereritmusú lencsék esetén a lencsét minden este ki kell venni, és egy hónap után cserélni szükséges. A legszélesebb paraméterválaszték a havi lencséből van, ez az általánosan elterjedt csereritmus. Egy hónapos viselet esetén a hordásidő végén sokan már nem érzik olyan komfortosnak a lencsét, mint az elején, így szívesebben is cserélik le egy új párra. Ez a 30 nap általában az a határ, amikor még a lencsén fehérjeoldást nem szükséges végezni, mivel a lencsét úgyis kidobja. Létezik 30 napos kiterjesztett viseletű lencse is, ami lehetőséget biztosít arra, hogy a páciens ne vegye ki a lencsét, de ennek elbírálása az illető egyén szemének paramétereitől függ. Fél éves, illetve éves csereritmusú lencsét egyre kevesebben hordanak. Ezeknél a lencsénél fehérjeoldás szükséges havonta egyszer-kétszer, amennyiben nem hidrogénperoxidos folyadékot használnak. A választás általában azért esik rájuk, mert vagy

jelentősen olcsóbbak, mint a havi társaik, vagy olyan egyedi paraméterekkel rendelkeznek (víztartalom, dioptria, görbület, cylinder, átmérő), amivel a hagyományos havi lencsék nem. Hátrányuk, hogy nagyon kell rájuk vigyázni, hogy ne szakadjanak el. Az egyedi lencsék ára viszonylag magas, és sokat kell a gyártásra várni, illesztésük problematikusabb. Az olcsóbb lencséknél általában a víztartalom, vagy az oxigénáteresztés bír rosszabb paraméterekkel.

„Korszerűtlen” csereritmus	Korszerű csereritmus
Éves kihordási idejű kontaktlencsék (PMMA, RGP, HEMA)	Egy hónapos kontaktlencsék (napi vagy folyamatos viseletre)
Féléves kihordási idejű kontaktlencsék	Kéthetes kontaktlencsék (napi vagy egyhetes folyamatos viseletre)
3 havi kontaktlencsék	Napi, eldobható kontaktlencsék

X. táblázat Kontaktlencsék felosztása kihordási idő / csereritmus szerint

Napi viseletű kontaktlencsék (daily wear (DW)), napi 8 – 16 óra
Hosszított viseletű kontaktlencsék (extended wear (EW)), 7nap és 6 éjszaka
Folyamatos viseletű kontaktlencsék (continous wear (CW)), állandó viseletre, akár 30 nap
Rugalmas viseletű kontaktlencsék (flex wear (FW)), napi viselet, de alkalmanként lehet aludni is benne

XI. táblázat Kontaktlencsék felosztása viselési időtartam szerint.

4.6. A kontaktlencsék gyártástechnológiája

A kontaktlencse gyártás anyagai hidrofóbok, a felületi nedvesedés növeléséhez nedvesítő folyadékot vagy felületi ionkezelést alkalmaznak. Fontos szempont, hogy az alapanyag optikailag homogén, könnyen és tökéletesen megmunkálható legyen, valamint ne színeződjön el, illetve ne okozzon allergiát.

A kemény és RGP kontaktlencsék gyártása préseléssel vagy forgácsolással történik. Régen préseléssel gyártották kb. 1 mm vastagságú, kizárólag hőre lágyuló plexi granulátumból. Két, optikailag tökéletesen megmunkált üvegfelület közé téve, és küvetában (kalotta) felmelegítve a plexit, fém segítségével préselték. A küvetát üresen először 40 percig 180 fokra melegítették, majd beletették a plexit, és további 15 percig hevítették. Ezután a hűtés szobahőmérsékleten 20 percen át tartott, hogy a feszültséget és ezáltal a torzulást elkerüljék. A legvégén történt meg a végleges átmérő kialakítása és a szélkiképzés. Előnye a viszonylag homogén optikai felszín, valamint, hogy nincs szükség polírozásra. A lencse jól reprodukálható, olcsó. Hátránya, hogy tömegtermelést nem tesz lehetővé, és a paramétereket a küvetta mennyisége és paraméterválasztéka szabja meg.



52. ábra. Üveg présfelszínek a PPMA lencsék készítéséhez, a görbületi sugár feltüntetésével.
Stockinger-Bakonyi György saját fotó.



53. ábra. Présfelszínek a prészszerződésben PMMA lencsék készítéséhez.
Stockinger-Bakonyi György saját fotó.

Gyorsabb, pontosabb és szélesebb paraméterválasztékú gyártást tesz lehetővé az esztergálás. Ekkor számítógépvezérelt eszterga forgó tengelyére helyezik az anyagot, ami egy kicsi korong (blank).



54. ábra. RGP kontaktlencse blankok. Ezekből esztergályozásos eljárással készülnek a gázáteresztő (RGP) kontaktlencsék.⁵⁰

Az alapanyag lehet rúd is, amit egyenlő korongokra szabdalnak, vagy egyből kis korong is. Átmérőjük 13-15 mm. Először a konkáv bázisoldalt készítik el úgy, hogy a blank-et felragasztják egy szerszámra és kimarják a homorú felületet, majd viasz, vagy gyanta

⁵⁰ <https://www.clma.net/>

segítségével polírozzák. Ezután egy másik szerszámra ragasztják, és a másik felületén is elvégzik az esztergálást, majd következik a szélkiképzés. A végén ezt az oldalt is felpolírozzák. Mindkét oldal több felületről áll általában. Előnye, hogy komplikált felületek és speciális élek is kialakíthatóak. Az aszférikus felszín polírozása komplikált, általában változó magasságú fejjel, vagy félpuha, levegővel töltött kalottával végzik. Kombinált eljárásról akkor beszélünk, amikor a hátsó felszínt préseléssel, vagy öntéssel alakítják ki, az elülsőt pedig esztergálással. Ehhez először a blank-et polimerizálni kell, majd fém nyomófejjel alakítják ki a görbületet.

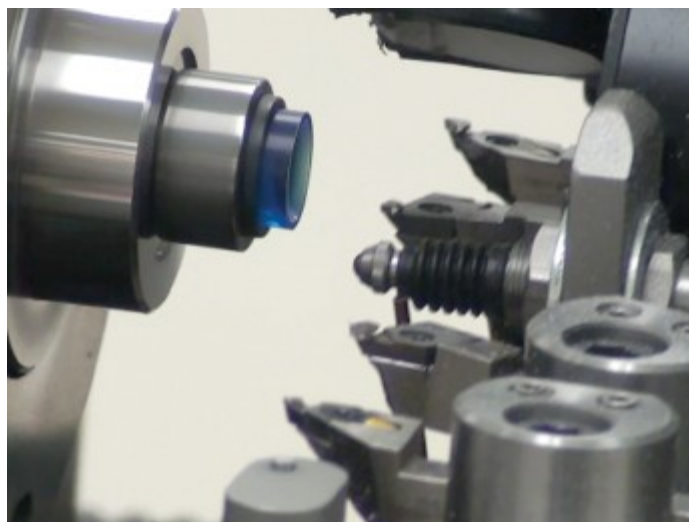
A lágy kontaktlencsét centrifugális öntéssel (spincast), esztergálással (lathe cut), formába öntéssel (mold-casting), kombinált esztergálási és centrifugálási öntéssel, valamint stabil lágy formázással gyártják. Először centrifugális öntést alkalmaztak. Ekkor a folyékony monomert egy forgó formába öntik, ahol az anyag forgatás közben polimerizálódik. A kész lencse paramétereit befolyásolja a forgás sebessége, a hőmérséklet, a forma nagysága és alakja, valamint a monomer mennyisége és állaga. Előnye, hogy lehetővé tette a tömeggyártást, olcsó és finomabb külső és belső felületet tudtak vele elérni, mint esztergálás esetén. Hátránya a gyengébb optikai minőség, valamint, hogy csak szférikus lencsét tudtak így gyártani, tehát kisebb volt a paraméter-választék. A belső felület gyakran egy görbületű (BC: base curve) volt, így a lencse sokszor rosszul centrálódott a szemben. További problémát okozott, hogy csak alacsony víztartalmú lencsét készítettek ezzel a módszerrel.

Esztergálás során a kemény blank-ből kivágják a megfelelő sugarú ívet, majd polírozzák. Az ívet előre kiszámolják, mert a polírozás után a lencsét hidratálják, és azok ekkor nyerik el a végleges bázisgörbületet. Előnye a tömeggyártás, a megfelelő optikai felszín, valamint a széles paraméter-választék. Lényegében bármilyen lencse gyártására alkalmas, akár aszférikus bázisgörbület is készíthető. A lencse jól centrálódik a szemben, és ezzel az eljárással már magasabb víztartalmú lencsék is gyárthatóvá váltak. Hátránya, hogy drágább a gyártás.

Formába öntés során a műanyagformákat folyékony polimerrel töltik meg, majd lezárják. A polimerizáció hő hatására megy végbe, majd egy végső ellenőrzés következik. Előnye, hogy olcsó, és a minősége is majdnem olyan jó, mint az esztergált eljárással készült lencséké. Hátránya, hogy a paraméterválaszték függ az öntőformák mennyiségétől, valamint, hogy nem gyártható vele extra paraméterű lencse.

Kombinált esztergálási és centrifugálási öntéses eljárás során a lencse elülső felszíne öntéssel, míg a hátsó felszíne esztergálással kerül kialakításra. Alkalmas szférikus és tórikus lencsék gyártására is.

Stabil lágy formázásos eljárás esetén a lencsék már hidratált állapotban kerülnek megmunkálásra.



55. ábra. Kontaktlencse esztergálása (lathe cut).⁵¹



56. ábra. Kontaktlencse centrifugális öntése (spincast).⁵²

4.7. A kontaktlencsék illesztésével és viselésével kapcsolatos információk

A kontaktlencsék ápolása és tárolása

Mivel a kontaktlencse közvetlenül érintkezik a szemmel, ezért nagyon fontos a lencsék szakszerű, folyamatos és megfelelő ápolása. A kontaktlencsék ápolásán valójában egy minden nap elvégzendő fertőtlenítést értünk. Ez alól kivételt csak a napi, eldobható lencsék és a folyamatos viseletű lencsék jelentenek kivételt, bár ez utóbbi típusok esetén is ajánlott hetente egyszer a lencsét kivenni a szemből és elvégezni a fertőtlenítést, illetve egy éjszakára a tárolóoldatba helyezést. A lágy kontaktlencséket napjainkban szinte kizárólag ún. többfunkciós oldatokkal (All in One) tisztítjuk. Ezek a folyadékok több feladatot is ellátnak: fertőtlenítik és tisztítják, tárolják, és nedvesen tartják, öblítik, és síkosítják a lencsét, valamint a korszerűnek számító oldatoknak bizonyos mértékig fehérjeltávolító hatása is van. A kemény, gázáteresztő lencséknél még két rendszer kapható. Az egyik hasonlóan a lágy lencsékhez, egy oldatból áll és működésük lényegében hasonló azokéhoz. A másik rendszer ún. két lépésös rendszer. Itt külön folyadék szolgál a lencsék tisztítására levétel után, majd a második, tároló folyadékba kell helyezni a lencsét éjszakára. A kemény lencséknél, de

⁵¹ ukdiss.com/examples/contact-lens-development

⁵² ukdiss.com/examples/contact-lens-development

indokolt esetben a lágy lencsénél is kell alkalmazni a fehérjeoldó tablettát.

Mielőtt tovább ismertetnénk a kontaktlencse viselés és ápolás szabályait tisztáznunk kell a sterilitás, a fertőtlenítés, valamint a konzerválás fogalmait. Először is tudnunk kell mi a higiénia jelentősége a kontaktlencse viselés vonatkozásában. Négy fontos szempontnak kell érvényesülnie:

- a szem fiziológiai állapotának és működőképességének a megőrzése
- a kontaktlencse viselő szeme védelme a különböző károsodásokkal szemben (pl. fertőzések)
- a kontaktlencse optikai teljesítőképessége megőrzése
- a kontaktlencse élettartama megtartása

Valamennyi kontaktlencsét és ápolószert a gyártók steril csomagolásban hozzák forgalomba. A lencsék és az ápolófolyadékok egészen a felbontásuk pillanatáig sterilek, de legkésőbb a csomagolásukon feltüntetett lejárati ideig. Sterilizálás alatt valamennyi mikroorganizmus elölését, illetve, vírusok esetén, inaktiválását értjük. A steriliázálst több módon is el lehet érni: magas hőmérsékleten (160-180C°), autokláv eljárással, mikrobicid gázok alkalmazásával vagy ionizáló sugárzással. A kontaktlencse viselő mindennapjaiban azonban sterilizálásra nincsen lehetőség, de a fertőzésekkel szemben mégis védeni kell a szemet. A fertőtlenítés jelenti a megoldást. A fertőtlenítés (dezinfekció) célja a káros mikroorganizmusok inaktívvá tétele, más szóval az adott tárgy (jelen esetben a kontaktlencse) olyan állapotba hozása, hogy ne legyen képes fertőzni. A fertőtlenítést korábban hőkezeléssel végezték, de a mai korszerű lencsék nem alkalmasak azok „kifőzésére”. Ezért ún. hideg-kémiai fertőtlenítő szereket alkalmazunk, köznapi kifejezéssel a kontaktlencse tároló-tisztító folyadékokat. Ezeket a készítményeket azonban a hosszú felhasználás miatt konzerválni kell. A konzerválás feladat, hogy a kontaktlencse ápolószerek, de akár a műkönyvek is, adott körülmények között megfelelően hosszú ideig ellen tudjanak állni a kórokozóknak és meggátolják a patogén korokozók elszaporodását.

A továbbiakban a kontaktlencse mindennapi használatának szabályait és praktikus tanácsokat ismertetünk.

Minden esetben elengedhetetlen, hogy a lencsét csak tiszta kézzel érintsék meg elkerülve a felesleges fertőzésveszélyt. Kevésbé gyakorlott lencseviselőknél tükör, vagy nagyító tükör használata szükséges. A lencse érintése előtt célszerű a tokot és a folyadékot kinyitni, a sminket lemosni, majd ezután kezet mosni. A lencsét minden este ki kell venni, és tisztító- és tároló folyadékba helyezni legalább 4 óra időtartamra. A szükséges dörzsölést az határozza meg, hogy az illetőnek milyen sűrű a könnye, mennyi felrakódás van a lencsén. A dörzsölés nem igényel lényegesen több időráfordítást, a lencsének nem káros, ezzel a lépéssel a szennyeződések egy jelentős részét mechanikailag már eltávolítjuk, így ez tisztább felületet biztosít, ezért mindenkinek javasolható. A tokot a lencsékkel tilos sugárzó hő közelébe helyezni, és ügyelni kell arra, hogy a folyadék a tokból ne folyhasson ki. Célszerű a kivétel során mindig ugyanazt az oldalsorrendet betartani, elkerülendő a lencsék felcserélését. Hidrogén peroxidos rendszer használata esetén a lencsék egy közös folyadékba kerülnek, és a folyamatot nem lehet megszakítani. Ügyelni kell arra is, hogy a tok ne boruljon fel, mivel a kupakon levő nyíláson kifolyhat a folyadék. A lencséknek a hidrogén peroxidos folyadékban minimum 6 órát el kell tölteniük ahhoz, hogy a hidrogén peroxid a katalizátor segítségével lebomoljon és felhelyezéskor a folyadék ne csípje a szemet. A hidrogén peroxid vízre és

oxigénre bomlik, amit a tárolódobozba helyezéskor erőteljes pezsgés jelez. A túlnyomás elkerülése végett a tárolódoboz tetején egy kis szelepet találunk, amin a keletkezett oxigén el tud távozni.

A tároló-tisztító folyadékot használat után (miután kivettük belőle a lencsét és a szemre lettek felhelyezve) ki kell önteni. A tokokat nem szabad vízzel kiöblíteni! Minden este friss folyadékkal kell feltölteni és utána kell a lencsét a napi használat végeztével belehelyezni. Ha valaki külön tisztító folyadékot is használ, akkor a kivétel után a tisztító folyadékkal kell átdörzsölni a lencse felületét finoman, és utána leöblíteni a tároló folyadékkal. A tokba tisztító folyadék nem kerülhet. Amennyiben a lencséhez fehérjeoldást is szükséges végezni, úgy a fehérjeoldó tablettát célszerű délután használni a lencséhez, mivel a fehérjeoldáshoz legalább 2 óra szükséges. Ezután szükséges a tisztító- és tároló folyadék alkalmazása, ugyanis a lencsét ezután legalább 6 órán keresztül a tároló folyadékban kell áztatni. A fehérjeoldást az illető javaslatára havonta egyszer, vagy kétszer szükséges elvégezni. A fehérjeoldó tabletta feloldásához általában fiziológiás sóoldatot használnak. A lencsék felhelyezése esetén a higiéniai szabályokat szintén be kell tartani. Javasolt egyszerre csak az egyik oldalról lecsavarni a lencsetok kupakját, így elkerülhető a lencsék felcserélése. A lencsét érdemes a tokból történt kivétel követően a tároló folyadékkal leöblíteni. Tiszta felület fölött, tiszta kézzel, nem sminkelt szembe kell a lencsét felhelyezni. Ajánlott vízben oldódó smink használata. Szükség esetén kontaktlencse mellett használható műkönyv megengedett. Amennyiben a lencse sérült, vagy koszos, tilos felhelyezni. Tilos továbbá a lencse használata gyulladt, váladékos, fényérzékeny szem esetén, ilyenkor orvosi ellenőrzés szükséges.

A kontaktlencse betanítása

A betanítás során be kell tartani a higiéniai utasításokat mind a páciens mind pedig az oktató részéről. Először szóban ismertetni kell a lencse tulajdonságait, a betanítás folyamán elvégzendő lépéseket, valamint fel kell hívni a figyelmet a mindenképpen fontos és kerülendő lépésekre. Tisztázni kell, hogy jobb, vagy bal kezes, és eszerint kell bemutatni neki a megfelelő mozdulatokat. Először a lencsét abba a szemébe célszerű betetetni vele, amihez könnyebben hozzáfér. Meg kell mutatni, hogy a lencsének melyik a helyes oldala, hogyan kell az ujjbegyen megfelelően elhelyezkednie úgy, hogy közben nem dőlhet az oldalára. Fel kell hívni a figyelmet a szempillák stabil rögzítésére és a pislogás elkerülésére. Javasolt a lencsét rögtön a helyére illeszteni amennyiben ez lehetséges, majd a páciens lefelé nézetni még mindig fixált szemhéj mellett. Ha csak ezután engedi el a szemhéját, akkor a lencse nem fog kiesni, mivel lefelé nézés esetén a buborék a lencse alól távozni tud. Amennyiben a lencsét sikerült behelyezni, tenyerével takarja le a másik szemét, és messzire tekintve győződjön meg róla, hogy a lencse centrált, és jól lát vele. Amennyiben kissé furcsa, szűrő érzése van, akkor szemhéjon keresztül finoman meg lehet nyomogatni a lencsét, hogy a széle teljesen kisimuljon. Kerülni kell a lencse szegélyén történő tologatását. Ha már mindkét lencsét sikerült behelyezni, akkor arról is meg kell győződni, hogy a lencsét ki tudja-e venni. Általában azzal a szemmel célszerű kezdeni, amire először tette fel a lencsét, mivel az már ennyi idő alatt egy kicsit megnyugodott. Itt is fontos lépés a szemhéjak stabil rögzítése, a szemhéj szélénél, a szempillák leszorításával. Többféle módszer létezik. A hosszú távon leginkább célra vezető, ha a limbuson túlfogva kicsippentni a lencsét a szeméből a középvonal

magasságában megfogva. Ekkor arra kell ügyelni, hogy egyenesen előre, vagy inkább kissé lefelé nézzen. Amennyiben mindenképpen csak felfelé tud nézni, úgy inkább az elhúzásos módszer javasolt, amikor a mutatóujjat a lencsére téve azt a belső szemzug irányába egy határozott és folyamatos mozdulattal behúzza. Kifelé tilos húzni, mivel a külső áthajlás lényegesen mélyebb és onnan sokkal problémásabb kivenni a lencsét. Amennyiben az egyik lencsét sikerült kivenni, azt tilos letenni, tenyérbe téve célszerű leöblíteni és rögtön a tok megfelelő oldalába tenni és a kupakot rázárni. Így elkerülhető, hogy a páciens összecserélje a lencséit. Amennyiben minden megfelelően ment még egyszer érdemes összefoglalni a hordási és tisztítási ismereteket, valamint felhívni a figyelmét a kontroll szükségességére. Kontaktlencse viselők esetén a következő féléves adag megrendelése előtt érdemes kontrollvizsgálatot végezni úgy, hogy a lencse a szemén van.

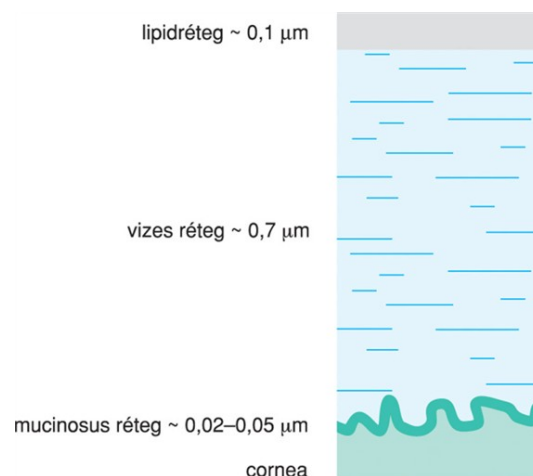
Műkönyvek, nedvesítő cseppek

Ebben az anyagrészben külön fejezetet szükséges a szem szárazságára és annak kezelésére fordítani. A jelenség olyan széles körben elterjedt, hogy az nem csak a kontaktlencseviselőket érinti, hanem szinte mindenkit, aki irodai körülmények között dolgozik és sokat nézi a monitort.

Először tekintsük át a könnyfilm összetételét, feladatát és azután az, hogy milyen tényezők, rizikófaktorok vezetnek a száraz szem kialakulásához.

A szaruhártyát is borító könnyfilm három rétegből áll:

- lipid réteg: 0,1-0,2 μm – meggátolja a könny elpárolgását, keni a szemhéjak széleit és sima felületet képez (Meibom- és Zeis mirigyek)
- Vizes fázis: 7-10 μm – O_2/CO_2 transzport, védelem a fertőzésekkel szemben (könnymirigy, Krause- és Wolfring-féle járulékos mirigyek – lysozym és laktoferrin – antibakteriális hatású fehérjék)
- Mucin fázis – 0,02-0,05 μm – a hidrofób epithel sejteket nedvesíthetővé teszi (kehelysejtek, Henle és Manz kripták)



57. ábra. A könnyfilm rétegei.⁵³

⁵³ Dr. Süveges Ildikó: Szemészet, 2010, Medicina Könyvkiadó Zrt.

A könnytermelés hormonális és idegi szabályozás alatt áll. A könny pH-értéke 7,3-7,8, mennyisége mintegy 7µl. Kontaktlencse viselés során a szaruhártya és a kontaktlencse hátsó felszíne között a könnyfilm mucin rétege segíti a kontaktlencse tapadását. Ez a könnyfilm ugyanakkor a szaruhártya anyagcserjében is részt vesz, ahogy azt az előző felsorolásban is láthattuk, a cornea „lélegzésében”, és tartalmaz fehérjéket, aminosavakat, elektroliteket. A könnyfilm minden pislogás során megújul. A pislogások száma normális esetben kb. 12/perc. A pislogások számának csökkenése megnöveli a könnyfilm időelőtti elpárolgásának a veszélyét. A szemszárazság kialakulásának éppen ez az egyik leggyakoribb oka. A modern irodai és munkakörnyezetben a digitális eszközök (monitor, okostelefon, tablet) nagy számban vesznek körül bennünket. Naponta sok időt töltünk ezeknek a nézésével. A folyamatos és hosszantartó figyelés során lecsökken a pislogások száma. A nyaranta használt klímaberendezések, de akár a szeles idő is a könnyfilm idő előtt elpárolgásához vezet, ami újabb oka a szem szárazságának. A könny fokozott párolgása a könnyfilm felépülésének zavarához vezethet, és bármelyik könnyfilmet felépítő réteget érintheti. Az életkor előrehaladtával csökken a könnytermelés mértéke, de elégtelen könnytermelést válthatnak ki betegségek vagy egyes gyógyszereknek a szedése is. A környezeti hatásokra a kontaktlencse is veszít víztartalmából, amelyet a könny „elszívásából” igyekszik pótolni, ez fokozza a szem szárazságát. A szemszárazság tipikus tünetei a szem égő, szűrő érzése, idegentest érzés és a szemek gyakran pirosak.

A műkönyveknek és nedvesítő cseppeknek a feladatuk egyrészt a könny volumenének a pótlása, másrészt a komfort érzet biztosítása. Kontaktlencse viselőknél további cél a lencsék síkosítása és nedvesítése. Attól függően, hogy a könny melyik rétegét kell pótolni, kaphatók különböző műkönyvkészítmények. Ennek meghatározása szakember feladata.

Addicionális termékek kontaktlencse viselőknél

Hölgyeknek ajánlhatóak, ha sminkelnek, vagy ha allergiás szezon van a szem- és szemkörnyék tisztító kendők, folyadékok.

A kontaktlencse nagy előnye, hogy lehetőséget ad divatos napszemüveg viselésére megfelelő látás biztosításával. Emiatt szívesen viselnek nem dioptriás, divatos, de UV-szűrős napszemüveget. A lencseviselők nagy része optikai korrekcióra szorul, így szükségük van egy megfelelő éleslátást biztosító szemüvegre is, amelyet esténként, illetve akkor is tudnak viselni, amikor egyébként a lencsét nem viselik. Különösen akkor van jelentősége a szemüvegnek, ha bármiféle szemgyulladás miatt a lencsét átmenetileg nem hordhatják. Olvasó szemüvegre szorulóknak megfelelő optikai megoldás lehet a kontaktlencse elé helyezhető olvasó vagy munkaszemüveg, esetleg, ha a paraméterek megfelelőek egy megfelelően kiválasztott multifokális kontaktlencse. Felmerülhet olyan igény is, hogy esti olvasáshoz szeretne valaki olyan olvasószemüveget, amellyel a kontaktlencse kivétele után tud olvasni.

Érdemes még ajánlani síszezonra és a nyári időszakra napi lencsét tekintettel a pollen-allergiára. Ez a típus a legoptimálisabb nyaraláshoz, utazáshoz, ha nem biztosítottak a megfelelő higiéniai feltételek. Szóba jöhet még színes kontaktlencse ajánlása is, amennyiben legalább olyan látást tud biztosítani, mint a hagyományos lencséje.

A kontaktlencse és a szemüvegviselés különbségei és összefüggései

Mindkét optikai eszköz a látás javítását szolgálja, azáltal, hogy az ideghártyára vetíti a megfelelő képet. Mivel a kontaktlencse és a szaruhártya között csak egy vékony könnyréteg van, és a kontaktlencse törésmutatója hasonló a szaruhártya törésmutatójához, így lényegében a szaruhártya elülső felülete hatástalan lesz, szerepét a kontaktlencse veszi át. Hagyományosan 4,0 dioptriáig a szemüveg és a kontaktlencse dioptriája megegyezik, e fölötti értékek esetén az LC-távolsággal számolni kell. Közel szférikus ametrópiák esetén a szemüveggel és a kontaktlencsével hasonló minőségű látás érhető el főleg rövidlátók esetében. Amennyiben magasabb dioptriájú hipermetrópia, illetve asztigmia áll fenn, úgy a páciens szemüveggel élesebben lát. 4,0 dioptria feletti rövidlátók esetén a retinális kép mérete csökkenni kezd a dioptria és az LC-távolság függvényében, emiatt kontaktlencsével - mivel az rajta van a szemén és kevésbé kicsinyít, így nagyobb képet vetít az ideghártyára - jobban látnak. Hipermetrópiások esetén ez fordítva igaz, a kontaktlencse kisebb képet biztosít, mint a szemüveg, ezért a látást rosszabbnak ítélik. A kontaktlencse előnye, hogy nagyobb a szabad látótér, a keret nem takar ki semmit a látótérből (scotoma), minden tekintési irányban tiszta a látás, esetleg a térlátás jobb, mint szemüveggel. Elmarad a szemüveg esetleges prizmás hatása. Esztétikailag érezheti jobbnak a páciens, mivel nem látszik. Nem csúszik le, nem párasodik be, nem nyom, és nem lesz vizes. Aktív életmódban, illetve sportoláskor nem gátolja a mozgást. Kisgyerekek nem tépik le a fejről. Nincs kényszere, hogy nem követi a divatot.

Kontaktlencse illesztés során használt eszközök

A kontaktlencse illesztéshez szükséges eszközök listáját a mindenkori hatósági előírások (a jegyzet készítésének idején NNK) előírások tartalmazzák, melyeket célszerű folyamatosan figyelemmel kísérni. Felsorolva a legfontosabb és szükséges felszerelést:

- vizsgálószék, asztal,
- keratometer (Javal) a szaruhártya görbületeinek megméréséhez,
- vagy refrakto-keratometer, ami a szaruhártya görbületein kívül a fénytörési hiba mértékét is megméri (dioptria),
- réslámpa az elülső felszín és a kontaktlencse illeszkedésének vizsgálatához,
- PD-léc a szaruhártya legnagyobb átmérőjének meghatározásához (HVID),
- Visus vizsgálatára alkalmas tábla, vetítő, vagy binokuláris látásvizsgáló készülék,
- szemüvegszekrény, szférikus előtétlencse és keresztcylinder a dioptria meghatározásához,
- olvasópróba a közeli látásélesség ellenőrzéséhez,
- szemtükör a fundus vizsgálatához,
- Schirmer-teszt a könnytermelés vizsgálatához,
- Fluorescein és sárga szűrő a formatartó lencsék illesztésének megítéléséhez,
- dioptriámérő, amely alkalmas a kontaktlencse dioptriájának mérésére is,
- kontaktlencse próbasorok,
- Petri csésze,
- Szívóka,

- ápoló folyadékok, műkönny,
- csipesz,
- tükör,
- mosdó orvosi csapteleppel, fertőtlenítő kézmosóval,
- kézszáritó vagy eldobható kéztörölő,
- steril gézlap a szem megtörléséhez,
- betanító asztal, szék.

A szem fénytörési hibái és azok korrigálási lehetőségei

Szférikus ametrópiák esetén szemüveges és kontaktlencsés korrekció egyaránt szóba jöhet. Reguláris asztigmia esetén a látás szemüveggel és formatartó kontaktlencsével egyformán jól javítható, lágylencsék alkalmazása esetén nem minden esetben érhető el annyira jó látás, mint szemüveggel, mivel a cylinder nagysága és iránya nem mindig korrigálható tökéletesen ezzel a típusú kontaktlencsével. Amennyiben mégis lenne megfelelő paraméterű lágylencse, akkor még mindig ronthat a kép minőségén a lencse minden pislogásnál fellépő elfordulása (inklináció). Irreguláris asztigmia csak formatartó lencsével korrigálható. Általánosságban elmondható, hogy a kb. 0,50 dioptria reguláris asztigmia esetén megfelelő látás érhető el szférikus lágylencsével is, ez azonban a multifokális lágylencsék esetében már ront az elérhető látásélességen. Minél több paramétert tartalmaz egy korrekció, annál inkább előtérbe kerül a szemüveglencse, mivel az folyamatosan és stabilan képes jó látást biztosítani fényviszonytól függetlenül, különböző távolságokra is. Egyfókuszú kontaktlencsével korrigálhatunk távoli dioptriát, illetve egyes országokban alkalmazzák a monovision korrekciót, amikor az egyik szemet közelre, a másikat távolra korrigálják. Ez a fajta korrekció azoknak lehet megfelelő, akiknek egyébként már nincs binokuláris látásuk (vagy nem használják együtt a két szemüket, vagy felváltva használják azokat). Amennyiben a páciens egyformán használja a két szemét, és van binokuláris látása, úgy ez a fajta korrekció mesterségesen egyszeművé teszi az illetőt, lényegében megakadályozza a kétszemes látását. Léteznek bifokális és multifokális kontaktlencsék is, amelyek némi kompromisszum vállalásával használhatóak. Annyira tökéletes és jó látást nem biztosítanak, mint egy multifokális szemüveg, de a szemüveggel szemben nagyobb a látóterük. Hátrányuk, hogy minél nagyobb a cylinder értéke, annál nagyobb kompromisszum kell. Olvasáshoz szükséges a nagyobb fényerő a pupilla szűkítése miatt, valamint a távoli tisztább látáshoz szükséges lehet napsütésben napszemüveg viselése is. Dioptria függvényében előfordulhat az is, hogy a kontaktlencséből már nem létezik olyan addíció, amivel a páciens megfelelően látna. Amennyiben a multifokális vagy bifokális lencse nem megfelelő megoldás, abban az esetben a páciens távolra viselhet kontaktlencsét, és a közeli távolságra egy olyan olvasószemüveget, amelyet a kontaktlencse elé helyez.

A kontaktlencse illesztés menete

A vizsgálat a személyes adatok és az anamnézis felvételével kezdődik, melyet a kontaktlencsével szemben támasztott igény felmérése követ. A használt korrekció ellenőrzése dioptriámérővel, illetve visustáblával történik. Réslámpa segítségével végezhető a szem elülső

szegmensének vizsgálata, különös tekintettel a kontraindikációs tényezőkre (pl. ereződés, kevés könny, allergia). Amennyiben nincs a viselés kizárására utaló jel, következő lépésként a szaruhártya görbületét és átmérőjét kell megmérni. Ezután a korrígalatlan visus felvétele, a teljes monokuláris korrekció elvégzése, és ha szükséges, a közeli korrekció meghatározása történik. A vizsgálati adatok és az igény alapján választható ki a legoptimálisabb lencse, annak paramétereit ismertetni kell a páciens számára. Ezután következik a megfelelő próbálencse illesztése. A távoli és a közeli visust is ellenőrizni kell a próbálencsével, ha szükséges, felülkorrekciót kell végezni. Ekkor határozható meg a kontaktlencsével együtt használható olvasószemüveg dioptriája is. Amennyiben a látás megfelelő, egyrészt a lencse illeszkedését (centrál, decentrál, laza, szoros, inklináció) kell ellenőrizni, másrészt pedig a szem reakcióját (esetleges allergia) kell megvizsgálni réslámpa segítségével. Optimális esetben minden megfelelő, így a páciens betanítható a lencse használatára és ápolására. Amennyiben a páciens elégedett, a lencse kezelése megfelelő, és az illesztő részéről is minden rendben van, úgy a lencse megrendelhető.

Terápiás célra rendelt kontaktlencsék

Terápiás kontaktlencsét kell rendelni: a szem száradásának és az azzal kialakuló fájdalomnak, valamint a szaruhártya kiszáradásának megakadályozására (keratoconjunctivitis sicca, rosszul záródó szemhéj), különféle szaruhártya sérülések (hegek, maródások, perforáció) esetén szintén a fájdalom csökkentése és a seb fedése, a hámosodás elősegítése céljából, cornea ödéma esetén vízelvonás révén az ödéma csökkentésére (keratopathia bullosa, keratoplasztika előtt), és gyógyszerdepóként.

A kontaktlencse viselés kontraindikációi

Kemény lencsék kontraindikációi: terápiás kontaktlencse szükségessége esetén, csökkent könnytermelés, illetve száraz szem esetén, lágylencse, illetve színes lágylencse indikációi esetén (irisproblémák). A szemhéj, a szaruhártya, a kötőhártya és a könnytermelő szervek betegségei, elváltozásai, daganatai esetén. Fertőző betegségek, heterophoria, glaucoma, allergia, a cornea fokozott, vagy csökkent érzékenysége, ideges természet, ügyetlenség, és a higiéniai minimumfeltételek nem teljesülése esetében. Egyszeműség, valamint olyan munkakörök, hobbik és sportok esetén, ahol fennáll a szem sérülésének, ütésének veszélye (pl. karate). Koszos környezetben dolgozók esetén.

Lágylencsék kontraindikációi: irreguláris asztigmia, keratoconus, keratoglobus, szűk szemrés, szemhéj széli betegségek, elváltozások esetén. A szemhéj mirigyeinek működési zavara esetén. A szemhéjak hibás állása és a szemhéjak daganatai esetén. A kötőhártya gyulladása, degeneratív elváltozása esetén. A cornea ereződése esetén. A szaruhártya különféle betegségei esetén, kivéve a terápiás lencsék indikációi esetén felsoroltakat. Könnytömlő gyulladás, valamint különböző fertőző betegségek esetén. Amennyiben heterophoria áll fenn. Ha valaki egyszemű. Olyan foglalkozásban dolgozóknál, akiknél a minimális higiéniai feltételek nem biztosítottak. Glaucoma, allergia, a szaruhártya fokozott vagy csökkent érzékenysége, ideges természet, és ügyetlenség esetén. Meleg, koszos környezetben dolgozók esetén.

A kontaktlencse viselés indikációi

A lágy kontaktlencsék indikációi:

Optikai indikációk: 3.0 D-nál nagyobb anisometropia, aniseikonia, monokuláris aphakia, amennyiben műlencse nem került beültetésre, nagyfokú ametrópia esetén, ha bőrbetegség esetén a beteg nem viselhet szemüveget, valamint tág szemrés esetén.

Foglalkozási indikációk: előadóművész, katona, szakács, vegyipari dolgozó.

Terápiás indikációk: keratoconjunctivitis sicca (száraz szem), stróma ödéma csökkentésére, a szaruhártya eroziója, perforáló cornea sérülés, elégtelenül záródó szemrés esetén, mézszérülés után, gyógyszerdepóként, szaruhártya fájdalom megszüntetése céljából, keratoplasztika előtt és után, nystagmus esetén.

Kozmetikai indikációk: az általános esztétikai eseteken túl teljes vagy részleges íriszhiány, albinizmus, cornea torzító hegének lefedésére, heterochromia esetén. Ezek a lencsék készülhetnek színes, szintelen kivitelben, fekete pupillával is.

Pszichikai indikációk: a szemüvegviselés okozta gátlások feloldása céljából.

Egyéb indikációk: hallókészülék viselése, orrsövényferdülés, szemüvegkeret allergia.

Kemény, illetve RGP lencsék indikációi: asztigmia, irreguláris asztigmia, szűk szemrés, keratoconus, keratoglobus, cornea ereződés, pinguecula, anyajegy, bányaszatban dolgozók esetén.

Speciális kontaktlencsék

Keratoconus és a szaruhártya sérülései, kiboltosulásai esetén a hagyományos kemény és gázáteresztő próbasorban levő lencsék nem alkalmasak az optikai korrekció elvégzésére, speciális, egyedi lencsék illesztése hozhat kielégítő megoldást. Előrehaladott esetben, amikor már a formatartó lencsék sem illeszkednek biztonságosan, esetleg decentrált a kiboltosulás, vagy a lencse viselete nem komfortos, és emiatt a páciens nem tudja egész nap hordani, alkalmazható az ún. piggyback lencse. Ez a lencse 14,0 mm körüli átmérővel és lágy alapanyagból készül, ez biztosítja a lencse stabilitását. Optikai zónája RGP alapanyagból készül, ezáltal lesz a korrekció a legmegfelelőbb. Az RGP rész a lágy alapanyag optikai középpontjába van beültetve oly módon, hogy az RGP lencse hátsó bázisgörbületének megfelelő ív van kialakítva az alatta levő lágy lencse elülső centrális felületén. Előnye, hogy kisebb az elvesztés, az elcsúszás esélye, és lehetőséget biztosít arra is, hogy a viselője sportoljon vele. Újabban kifejlesztettek enyhe és közepes keratoconus korrigálására olyan lágy kontaktlencsét is, amelynek átmérője nagyobb, mint a hagyományos lágy lencsée, víztartalma pedig közepes, vagy magas. A fejlesztés oka a komfortérzet növelése volt. A hibrid kontaktlencsék nagy átmérőjű lágy lencsék, centrális RGP zónával egészséges szeműek számára. A lágy rész készülhet szilikon-hidrogél alapanyagból is. Kifejlesztését az indokolta, hogy tisztább és élesebb látást biztosítsanak, mint ami lágy lencsével elérhető, de megtartsák a lágy lencsére jellemző viselési komfortot. Létezik rövidlátásra, távollátásra és asztigmias korrekcióra alkalmas változata is.

Másik optikai probléma a távoli, és azzal egy időben a közeli látás korrigálásának igénye is. 1983-ban megjelent az első bifokális lencse, mely működési elve, hogy a pupilla különböző

átmérőit figyelembe véve egy centrális olvasó dioptriát egy perifériásabb távoli dioptriamező követ, majd újabb olvasórész következik. Ezeknek a körgyűrűknek a váltakozása, és a pupillaátmérőnek a változása biztosítja azt, hogy megfelelő fényviszonyok esetén hol a távoli dioptriájú részből, hol a közeli éleslátást biztosító részből kerül több a pupilla elé. Létezik formatartó lencséből is bifokális és multifokális típus, de annak illesztése még nehezkesebb feladat, mint a lágyszívó. Manapság forgalomban vannak a még precízebb illesztést és korrekciót feltételező tórikus multifokális kontaktlencsék is, de érthető módon arányuk jelen pillanatban elenyésző.

A szaruhártya, vagy a szivárványhártya sérüléseinek takarására rendelhetőek egyedi gyártású, speciálisan színezett kontaktlencsék is, amelyek elfedik a sérült részt, ezáltal a szem egészségesnek tűnik. Speciális kontaktlencséket használnak még orvosi diagnosztikai célra is. Pl. hármastükör, vitrektómiás lencse, elektródákat tartalmazó kontaktkagylókat. Ismert még a röntgensugárvédő kagylót és a szemhéjplasztikánál használatos védőkagylót is.

Köszönetnyilvánítás

Az optikus mestervizsgára felkészítő jegyzet összeállításában nyújtott szakmai és technikai segítségért külön szeretném Németh Robertának és Váry Péternek megköszönni segítségüket. Nélkülük nem jöhetett volna létre egy ilyen magasa szakmai színvonalú és az adott kereteken belül ennyire jól összeállított, minden részletre kiterjedő jegyzet.

2021. 06. 01.

Irodalomjegyzék

Dr. Rózsa Sándor: Fizikai és geometriai optika, 1980, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

Dr. Vörösmarthy Dániel: A látszerészek könyve, 1981, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

Dr. Süveges Ildikó: Szemészet, 2010, Medicina Könyvkiadó Zrt

Radnót Magda: A szemészet alapvonalai, 1975, Budapest, Medicina Könyvkiadó

Alberth Béla: Szemészet, 1994, Budapest, Medicina Könyvkiadó Rt.

Dr. Vörösmarthy Dániel: A szem optikája, 1974, Budapest, Medicina Könyvkiadó

Dr. Vörösmarthy Dániel: A szemüvegrendelés elmélete és gyakorlata, 1982, Budapest, Medicina Könyvkiadó

Hans Köhl és Günter Roth: Augenoptik, 1995, Düsseldorf, Zentralverband der Augenoptiker

Dr. Rózsa Sándor: A szemüveglencsék anyag- és gyártmányismerete, 1995, Budapest, Haynal Imre Egészségtudományi Egyetem Egészségügyi Főiskolai Kar

Dr. Roland Enders: Die Optik des Auges und der Sehhilfen, 1995, Düsseldorf, Zentralverband der Augenoptiker

Heinz Diepes és Ralf Blendowske: Optik und Technik der Brille, 2005, Düsseldorf, Zentralverband der Augenoptiker

Eduard Posch: Kontaktlencse, 1993, Budapest, Magyar Látszerész-Optikus Szövetség

Szebeni Géza: Kontaktológia, 1997, Budapest, Intercont Optika Kft.

Babák György, Alkalmazott fizika 2011, Szent István Egyetem

Holics László: Fizika, Akadémiai Kiadó online megjelenés 2017

Németh Roberta – Váry Péter: Látszerész és Fotócikk-kereskedő Mestervizsgára felkészítő jegyzet, Magyar Kereskedelmi és Iparkamara 2014