

LÁTSZERÉSZ ÉS FOTÓCIKK-KERESKEDŐ

MESTERVIZSGÁRA

FELKÉSZÍTŐ JEGYZET

Budapest, 2014

SZÉCHENYI 2020 



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

Szerzők:
Németh Roberta
Váry Péter

Lektorálta:
Borók Rita

Kiadja:
Magyar Kereskedelmi és Iparkamara

A tananyag kidolgozása a TÁMOP-2.3.4.B-13/1-2013-0001 számú, „Dolgozva tanulj!” című projekt keretében, az Európai Unió Európai Szociális Alapjának támogatásával valósult meg.

A jegyzet kizárólag a TÁMOP-2.3.4.B-13/1-2013-0001 „Dolgozva tanulj” projekt keretében szervezett mesterképzésen résztvevő személyek részére, kizárólag a projekt keretében és annak befejezéséig sokszorosítható.

TARTALOMJEGYZÉK

| | |
|---|----|
| 1. Optikai alapismeretek | 4 |
| 1.1. Az optika legfontosabb alapelvei | 4 |
| 1.2. Geometriai optika..... | 5 |
| 1.2.1. Fényvisszaverődés, fénytörés, teljes visszaverődés | 6 |
| 1.2.2. Síkfelületű optikai testek viselkedése | 7 |
| 1.2.3. Gömbfelületű tükrök viselkedése..... | 8 |
| 1.2.4. Gömbfelületű lencsék viselkedése | 11 |
| 1.2.5. Vékonylencsék optikai hatása | 11 |
| 1.2.6. Vastaglencsék optikai hatása..... | 13 |
| 1.2.7. A lencserendszerek optikai jellemzői..... | 14 |
| 1.2.8. Rekeszek működése | 16 |
| 1.2.9. Leképzési hibák..... | 18 |
| 1.3. Fizikai optika | 22 |
| 1.3.1. Fényinterferencia | 23 |
| 1.3.2. A fényelhajlás jelensége..... | 24 |
| 1.3.3. A fény polarizációja | 25 |
| 1.4. Fotometria | 26 |
| 2. Szemészeti alapismeretek és fiziológiai optika | 27 |
| 2.1. Szemészeti alapismeretek..... | 27 |
| 2.1.1. Az emberi szem egyes részeinek felépítése és működése | 27 |
| 2.1.2. A látás fiziológiája | 34 |
| 2.1.3. A legfontosabb szembetegségek | 36 |
| 2.2. Fiziológiai optika | 40 |
| 2.2.1. Az emberi szem optikai jellemzői..... | 41 |
| 2.2.2. A szem alkalmazkodóképessége és konvergenciája..... | 45 |
| 2.2.3. Az emberi szem felbontóképessége, és a látóélesség fogalma | 47 |
| 2.2.4. A binokuláris látás | 49 |
| 2.2.5. Az emberi szem alkalmazkodása a fényviszonyokhoz | 51 |
| 2.2.6. Az emberi szem helyes és helytelen fénytörése | 51 |
| 3. Optikai és finommechanikai cikkek anyag- és áruismerete | 57 |
| 3.1. Szemüveglencsék anyag- és áruismerete | 57 |
| 3.1.1. Szemüveglencsék anyagjellemzői..... | 57 |
| 3.1.2. Szemüveglencsék gyártása..... | 60 |
| 3.1.3. Felületkezelések | 67 |
| 3.1.4. Színezések..... | 70 |
| 3.1.5. A szemüvegvény adatai és az ezzel kapcsolatos mérések és jelölések | 71 |
| 3.2. Szemüvegkeretek anyag- és áruismerete..... | 77 |
| 3.2.1. A szemüvegkeretek alapanyagai és azok jellemzői..... | 77 |
| 3.2.2. A szemüvegkeretek jellemzői és gyártástechnológiájuk | 78 |
| 3.2.3. A szemüvegkeretek kiválasztásához szükséges optikai szempontok | 80 |
| 3.3. Finommechanikai termékek anyagismerete | 81 |
| 3.3.1. Távcsovek | 81 |
| 3.3.2. Meteorológiai eszközök | 83 |
| 4. Kontaktlencse..... | 85 |
| 4.1. A kontaktlencse történeti áttekintése..... | 85 |
| 4.2. A kontaktlencsék alapanyagai | 86 |
| 4.3. A kontaktlencsék típusai | 87 |
| 4.4. A kontaktlencsék élettartama és viselési szabályai | 88 |
| 4.5. A kontaktlencsék gyártástechnológiája | 89 |
| 4.6. A kontaktlencsék illesztésével és viselésével kapcsolatos információk..... | 90 |

1. Optikai alapismeretek

A hétköznapi ember számára az optika a fényjelenségek leírását jelenti. Ez valójában a tudományterület kialakulásának köszönhető, hiszen nagyon sokáig csak a látás megértésével, és olyan optikai eszközökkel foglalkozott, melyek a látható fényt képezték le. Végeredményben azonban az optika a fizikának az az ága, mely az elektromágneses hullámokkal foglalkozik. Általában három fő részterületre bontható: geometriai-, fizikai- és fiziológiai optikára.

A geometriai optika legfontosabb területe a látható fény, a fényjelenségek leírása, és geometriai eszközökkel történő magyarázata. Nagyon sok esetben a geometriai optika leegyszerűsíti a jelenségeket, és legtöbbször nem ad kellő magyarázatot a jelenségekre. Ezzel szemben viszont a mindennapi élet számára gyorsan és könnyen alkalmazható téziseket és képleteket állít fel, melyek kielégítő pontossággal használhatóak.

Ezen hiányosságokat igyekszik pótolni a fizikai optika, mely a fény természetével és a jelenségek magyarázatával foglalkozik, és emellett a fényt az elektromágneses hullámok részének tekinti. Logikusabb lenne, ha először a fizikai optikáról esne szó, azonban a hagyományoknak megfelelően először majd a geometriai téziseket vesszük sorra.

A harmadik terület a fiziológiai optika, mely az emberi szem optikai jellemzőivel, képképzésével, annak vizsgálati módszereivel, és korrigálási lehetőségeivel foglalkozik. A fiziológiai optika megtárgyalására a Szemészet című fejezetben kerül majd sor.

1.1. Az optika legfontosabb alapelvei

Időrendi sorrendben haladva az első ismertetésre kerülő tézis a Fermat-elv, melynek megértéséhez először definiálni kell az 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 kimondja, hogy *a fény mindig a legrövidebb optikai úthosszon halad*. Vagyis a fénysugár két pont között mindig azt az utat követi, melynek megtételéhez a legrövidebb időre van szükség. Ennek következménye a fény homogén közegben történő egyenes vonalú terjedése, mely a geometriai optika alaptörvénye. Sokáig ezzel bizonyították a legalapvetőbb geometriai optikai jelenségeket (pl. fényvisszaverődés, fénytörés), azonban az elv a fény részecske jellegén alapszik, így sok esetben mégsem fedi a valóságot.

A fény terjedésével kapcsolatos jelenségeket pontosabban leírja a Huygens-elv. Az elv a fény hullámtermészetéből indul ki, ezáltal a valóságnak megfelelő magyarázatokat ad a legtöbb jelenségekre. Az elv segítségével egzakt módon bizonyítható a legtöbb fényjelenség (pl. fényvisszaverődés, fénytörés), azonban még ez sem ad magyarázatot mindenre. A fényelhajlás jelenségénél merült fel először a Huygens-elv hiányossága, mert nem vesz tudomást az elemi hullámok interferenciájáról. Fresnel módosított 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 álláspontját képviseli, és a fény természetét írja le, De Broglie és Schrödinger nevéhez fűződik. Ők oldották fel azt az ellentétet, mely végigkísérte az optika történetét. Az általuk megfogalmazottak alapján *a fény kettős természetű, egyszerre mutat részecske és hullám jellemzőket*. A fény részecske jellegének legfontosabb bizonyítéka maga a fény részecskéje a foton, mely

valódi jelleg csak a relativitáselmélettel magyarázható meg. Hétköznapiabb bizonyíték a részecske jellegre a fény hőhatása. Például a nyári melegben, amikor a nap süti az aszfaltot, az aszfalt jól érezhetően felmelegszik. Ez fizikailag annyit jelent, hogy a fotonok bombázzák az út atomjait, azok elnyelik a fény energiáját, mely energia hőenergiává alakul át. Ez a fajta hőátadás csak részecskék ütközésekor valósulhat meg, így a jelenség a fény részecske jellegének bizonyítéka.

A hullámtermészet leírásához először is definiálni kell, hogy mit is értünk hullám jelenségen. *Hullámnak nevezzük azt a jelenséget, amikor térben és időben energia terjed.* Mivel a fény szállít energiát, emellett elmondható, hogy térben és időben is terjed, ennek megfelelően a fény a definíció értelmében hullámként viselkedik. Természetesen a leírt egyszerű okfejtés mellett számtalan bizonyíték van a hullám jellegnek. Legtöbbször itt a fényinterferenciát, a fényelhajlást és a polarizációt szokták emlegetni, de a valóságban az olyan hétköznapi jelenségek is, mint a fényvisszaverődés, a fénytörés vagy akár a lencsék képalkotása is mind-mind a fény hullámtermészetéből fakadnak.

1.2. Geometriai optika

A fényjelenségek leírása és magyarázata előtt néhány dolgot tisztázni kell, mert ezek hiányában nem értelmezhetőek a továbbiak. Minden esetben abból kell kiindulnunk, hogy a fény az elektromágneses hullámoknak az a csoportja, melyet az emberi szem képes a receptoraival ingerré alakítani. Ennek megfelelően fénynek nevezzük az elektromágneses hullámok 380 nm-től 780 nm-ig terjedő hullámhossz tartományát.

A hullámok alapvető jellemzője, hogy valamilyen közegben terjednek. Egyfelől az elektromágneses hullámok az elektromágneses térben terjednek, vagyis az egyes terjedési jellemzőket az adott közeg elektromos és mágneses sajátosságai határozzák meg. Másfelől a geometria optikában az egyszerűsítés érdekében nem foglalkozunk a közegek anyagi jellemzőivel, csak az optikai viselkedésével.

Ebből a szempontból különféle közegefajtaikat különítünk el. Homogénnek nevezünk egy közeget, ha benne a fény minden irányban azonos sebességgel terjed. Számunkra ez a legkényelmesebb, hiszen optikailag az adott közeg egyetlen jellemzővel, a fény terjedési sebességével leírható. A geometriai optikában a továbbiakban csak homogén közegekkel foglalkozunk. Inhomogénnek nevezük az olyan közegeket, melyben a fény terjedési sebessége nem állandó. Hétköznapi példa a Földet körülvevő légkör. A légkör különböző sűrűségű levegőrétegekből áll, melyek anyaga azonos ugyan, de optikailag mégis eltérően viselkednek. Ilyenkor az eltérő sűrűségű rétegek, mint homogén közegek viselkednek, és határfelületükön fénytörés és fényvisszaverődés történik. Ez okozza például nyáron az utak látszólagos vizes csillogását, vagy a délibábot. A harmadik közegefajta az anizotrop közeg, melyben a fény terjedési sebessége állandó ugyan, de az egyes irányokban eltérő nagyságú. Ezeknek a közegeknek fontos szerepe van a természetes polarizálásban.

A homogén közegek ismertetésénél már esett szó arról, hogy optikailag a közegeket egyetlen adattal, a bennük haladó fény sebességével jellemezhetjük. A fény legnagyobb sebességgel vákuumban terjed: **$c=300\ 000\ \text{km/s}$** (c -vel csak a vákuumbeli terjedési sebességet jelöljük, míg az összes többi v -vel). Minden más közegben ennél lassabban terjed a fény, és optikailag minél sűrűbb egy közeg, annál kisebb benne a terjedési sebesség.

Mivel az egyes közegeket elegendő a terjedési sebességgel jellemezni, így a közegek

egymáshoz képesti optikai viszonyát is a terjedési sebességek valamilyen aránya határozza meg. A közegek optikai viszonyát *törésmutatónak* nevezzük (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 vákuumra vonatkoztatott, és megmutatja, hogy a vákuumban hányszor gyorsabban terjed a fény, mint az adott közegben. Az abszolút törésmutatót mindig egy indexszel jelöljük, mely vagy az adott közeg anyagát (n_{viz}), vagy pedig csak a sorszámát (n_1) jelöli:

$$n_{\text{viz}} = c / v_{\text{viz}}, \text{ vagy } n_1 = c / v_1.$$

A vákuum abszolút törésmutatója 1, míg az összes többi közegé 1-nél nagyobb, hiszen a fény a legnagyobb sebességgel vákuumban terjed. A relatív törésmutató nem vákuumra, hanem bármilyen más közegre vonatkoztatott törésmutató, és megmutatja, hogy hogyan aránylik egymáshoz az adott két közegbeli terjedési sebesség. Mindig két indexszel jelöljük, és az indexek sorrendje megmutatja a fény haladási irányát is, mely mindig fordított, mint a fény haladási iránya. Az előzőekben megismert módon az index vagy a két közeg anyagát jelöli: $n_{\text{viz,levegő}}$, (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):

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

A relatív törésmutató háromféle értéket vehet fel. 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 pedig $n_{2,1} = 1$, akkor a két közeg optikailag azonos, ami nem feltétlenül jelenti azt, hogy azonos anyagok is lennének.

1.2.1. Fényvisszaverődés, fénytörés, teljes visszaverődés

Ha a fénysugár két homogén közeg határfelületére érkezik, akkor a határfelületen három jelenség játszódik le, melyek közül az egyik a fényvisszaverődés (a másik két jelenség a fénytörés és a fénylenyelés). A jelenség nem csak közeghatáron játszódik le, hanem az abszolút fekete test kivételével minden anyag visszaveri a fény egy részét. Vagyis a fénytöréssel ellentétben a fényvisszaverődés törvényeit nem csak optikai anyagok esetén célszerű tisztázni. A fényvisszaverődésnek két törvénye van:

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

Fénytörésről akkor beszélhetünk, ha a fénysugár átlép a két homogén közeg határán és megváltoztatja haladási irányát. Abban az esetben, ha a fénysugár egy másik anyagba lép be, de nem változtatja meg haladási irányát, akkor nem beszélhetünk fénytörésről. A fénytörés törvényei a hagyományos formában a következőképpen hangzanak:

- 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 merőlegetől törik ($\alpha < \beta$).

A fénytörés törvényét a már jól ismert formába írhatjuk le, melyet *Snellius-Descartes-törvénynek* nevezzük:

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

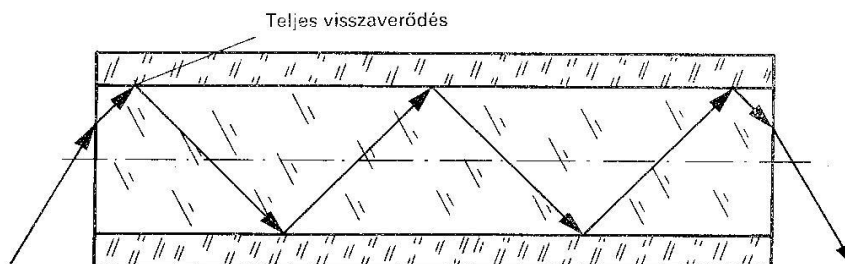
Az abszolút és a relatív törésmutatók közötti összefüggést felhasználva, megkaphatjuk a Snellius-Descartes-törvény másik alakját:

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

Amikor a fény sűrűbb közegből halad a ritkább közeg felé, és növeljük a beesési szög nagyságát, akkor elérünk egy olyan helyzethez, amikor a törési szög értéke pontosan 90° lesz. Azt a beesési szöget, melyhez 90° -os törési szög tartozik, *határszögnek nevezük*, és α_n -val jelöljük. Tovább növelve a beesési szög értékét a második közegben nem alakul ki új hullámfelület, tehát nem történik fénytörés. Ilyenkor az egyébként átlátszó 2-es közeg határáról a teljes fény mennyiség visszaverődik. Ezt a jelenséget nevezük teljes visszaverődésnek, mely akkor valósul meg, ha:

I. a fény sugar a sűrűbb közegből halad ritkább közeg felé,

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



1. ábra. A teljes visszaverődés jelensége.¹

1.2.2. Síkfelületű optikai testek viselkedése

Síktükör

A síktükör az egyik legrégebb és egyben legegyszerűbb optikai eszköz, melynek működése a fényvisszaverődés elvén alapul. Tükrök esetén a képet mindig a visszaverődő fénysugarak hozzák létre. Mivel a visszaverődő fénysugarak széttartóak, a valóságban nem metszik egymást, ezért nem keletkezik valódi kép. Ha a visszaverődő fénysugarakat a tükör mögött meghosszabbítjuk, akkor a fénysugarak meghosszabbításai metszik egymást. Mivel ezek a metszéspontok nem valódiak, hanem a tükör mögött szerkeszthetők, ezért ezeket *látszólagos* metszéspontoknak nevezük. A síktükör képalkotása során keletkező kép tulajdonságai:

- látszólagos,
- egyenes állású,
- oldalasan fordított.

Síkpárhuzamos lemez

A síkpárhuzamos lemez (idegen kifejezéssel: plán-paralel lemez) két darab sík felszínből áll, melyek egymáshoz képest párhuzamos helyzetűek. A síkpárhuzamos lemezt geometriailag a vastagsága (D), optikailag pedig anyagának törésmutatója ($n_{2,1}$) jellemzi. Leggyakrabban úgy alkalmazzuk a síkpárhuzamos lemezt, hogy mindkét oldalról ugyanaz a közeg veszi körül. Ilyenkor a fénysugár ugyanazzal a szöggel lép ki a síkpárhuzamos lemezből, mint amivel a síkpárhuzamos lemezre érkezett (α), és csak a

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

lemezen belül halad más szög alatt (β). Összefoglalva: *a síkpárhuzamos lemez feladata a fénysugár párhuzamos eltolása*. A fénysugár eltolódásának mértéke:

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

Prizma

Prizmának nevezzük az olyan síklapokkal határolt optikai testeket, melyek lapjai valamilyen szöget zárnak be egymással, melyet *törőszögnek* nevezünk, és τ -val jelöljük. Geometriailag a törőszög, optikailag pedig anyagának törésmutatója ($n_{2,1}$) jellemzi a prizmat. A síkpárhuzamos lemezhez hasonlóan leggyakrabban olyan körülmények között használjuk a prizmat, amikor a prizma két oldalán ugyanaz a közeg helyezkedik el. A törőszög geometriailag összefügg az első prizma felületen kialakuló törési szöggel, és a második prizma felületen létrejövő beesési szöggel:

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

A prizma fénytörésének meghatározása után két nagyon fontos következtetést vonhatunk le. Az egyik, hogy a prizma valamilyen szöggel elforgatja a fénysugarat, ennek megfelelően: *a prizma feladata a fénysugár elforgatása*. A másik következtetés, amelyet levonhatunk az, hogy *a prizma mindig az alapjuk felé forgatja el a fénysugarat*. (A törőszögnél helyezkedik el a prizma éle, és az ezzel szemközi oldalt nevezzük a prizma alapjának.) Fontos megjegyezni, hogy **szemüvegrendelésnél a TABO-skála szerint mindig a prizma alapját kell meghatározni**.

Már Newton óta ismert a prizma színbontó képessége, mely azt jelenti, hogy a prizma elemeire bontja az összetett fényt. A természetes fényviszonyoknak megfelelően a színbontás jelenségét a fehér fény segítségével mutatják be. Érdekes azonban megjegyezni, hogy a jelenség 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 elsőként levonható következtetés, hogy a természetes fény a keletkező 6 színből épül fel. A keletkező képet színeknek, vagy idegen kifejezéssel élve spektrumnak nevezzük. Mivel az egyes frekvenciák terjedési sebessége nem azonos, ezért a terjedési sebességekből levezethető törésmutató sem lesz állandó. Ennek következtében a különböző színekhez különböző törésmutatók tartoznak, vagyis az optikai anyag az egyes színeket más-más szögben töri meg.

1.2.3. Gömbfelületű tükrök viselkedése

Görbe felületek esetén első ránézésre csak a beesési szög meghatározása tűnik nehéznek. A probléma egyszerűen megoldható, amennyiben a görbe felületet a beesési pontban az érintőjével helyettesítjük. Az érintőre állított merőleges lesz a beesési merőleges, és a beeső fénysugár ezzel bezárt szögét nevezzük beesési szögnek. Szférikus felszín esetén a legnagyobb könnyebbséget a beesési merőlegesek megszerkesztése jelenti. A geometriában tanultak alapján a gömb érintője mindig merőleges a gömb sugarára, vagyis a szférikus felszín összes beesési merőlegese áthalad a gömb középpontján, melyet a szférikus tükör geometriai középpontjának (C) nevezünk. Ez a gyakorlatban annyit jelent, hogy az adott beesési pontot egy egyenessel összekötjük a geometriai középponttal, és ez az egyenes egyben az adott pontbeli beesési merőleges is lesz. A gömbfelületű optikai testek képalkotását leíró összefüggések:

I. leképzési törvény:

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

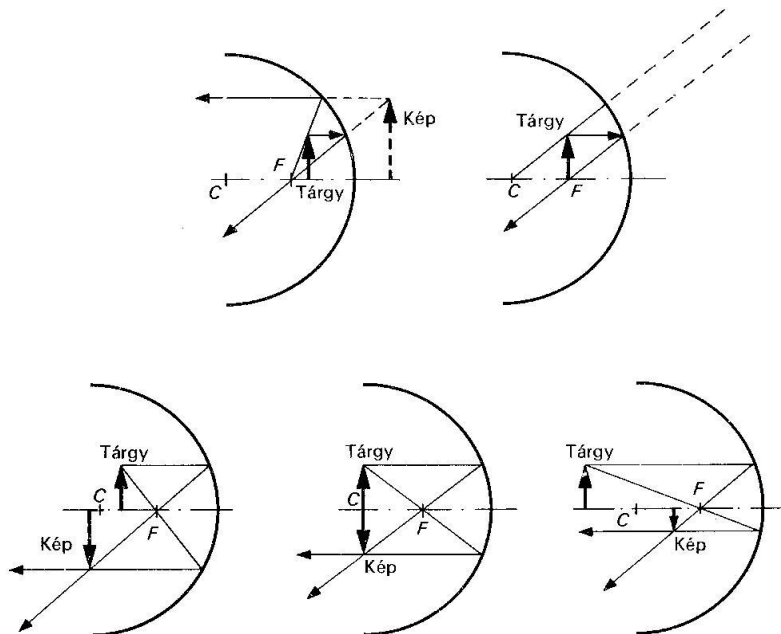
II. lineáris nagyítás:

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

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

A homorú gömbtükör képképzése

A homorú tükör képképzése attól függ, hogy a tárgy hol helyezkedik el. A geometriai középpont (C) és a fókuszpont (F) összesen 5 különböző tartományra osztja a tárgyeret, így ennek megfelelően 5 különböző képképzési esetet kell meghatározni. A szerkesztésekhez célszerű speciális helyzetű, könnyen megrajzolható fénysugarakat alkalmazni. A tapasztalatok alapján homorú tükör esetén háromféle speciális fénysugarat érdemes felhasználni. A geometriai középpont irányából érkező fénysugár önmagába verődik vissza, mivel egybeesik a beesési merőlegessel. Az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugár a fókuszpontban keresztül verődik vissza. A fókuszponton keresztül érkező fénysugár az optikai tengellyel párhuzamosan verődik vissza.



2. ábra. A homorú tükör képképzési esetei.²

Abban az esetben, ha a tárgy a fókuszponton belül van, akkor a visszaverődő

² Rózsa Sándor: Fizikai és geometriai optika, 1980, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

fénysugarak széttartóak, azok a valóságban nem metszik egymást. Nem keletkezik valódi kép. Azonban a visszaverődő fénysugarak tükör mögötti meghosszabbításai metszik egymást, így látszólagos képpont jön létre. A keletkező kép: *látszólagos, egyenes állású és nagyított*. Ezt a képalkotási esetet a gyakorlatban a kozmetikai-, vagy borotválkozó tükörnél használjuk fel, amikor is a képalkotás célja egy tárgy részleteinek felnagyítása.

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

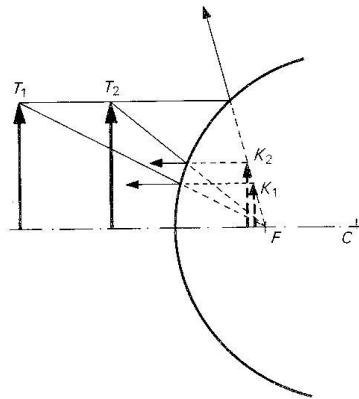
A harmadik eset, amikor a tárgy a fókuszpont és a geometriai középpont között helyezkedik el. A tükörről visszaverődő fénysugarak a geometriai középponton kívül metszik egymást, és a keletkező kép: *valódi, fordított állású és nagyított*.

Abban az esetben, amikor a tárgy a geometriai középpontnál helyezkedik el, a tükörről visszaverődő fénysugarak a geometriai középpontnál metszik egymást, és a keletkező kép: *valódi, fordított állású lesz, és a képnagyság egyenlő a tárgynagysággal*.

Végül a geometriai középponton kívül elhelyezkedő tárgyról a fókuszpont és a geometriai középpont között keletkezik a kép, mely: *valódi, fordított állású és kicsinyített* lesz. Ezt a képalkotási esetet például a Newton (tükrös) távcsövek objektív tükreknél használjuk fel.

A domború gömbtükör képalkotása

A tapasztalatok alapján 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 fókuszponton irányába haladó fénysugár az optikai tengellyel párhuzamosan verődik vissza



3. ábra. A domború tükör képalkotása.³

Mivel a domború tükör szétszórja a fénysugarakat, ennek megfelelően bárhol is van a tárgy, a tükörről széttartó fénysugarak verődnek vissza, vagyis nem keletkezik valódi kép. Azonban a visszaverődő fénysugarak tükör mögötti meghosszabbításai metszik

³ Rózsa Sándor: Fizikai és geometriai optika, 1980, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

egymást, így a keletkező kép: *látszólagos, egyenes állású és kicsinyített*. Ezt a képalkotási esetet a visszapillantó tükröknél használjuk fel.

1.2.4. Gömbfelületű lencsék viselkedése

Görbe felületek esetén a fénytörés meghatározásához, hasonlóan a gömbtükröknél tárgyalt módon a görbe felületet a beesési pontban az érintőjével kell helyettesíteni. Az érintőre állított merőleges lesz a beesési merőleges, és a beeső fénysugár ezzel bezárt szögét nevezzük beesési szögnek. Fénytörés esetén a törési szög a Snellius-Descartes-törvény segítségével határozható meg:

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

Görbe felületeknél ezt minden egyes beesési pontban külön-külön el kell végezni.

A szférikus lencsék esetén hat különböző lencseformát különíthetünk el: a bikonvex, a plánkonvex, a konkáv-konvex, a bikonkáv, a plánkonkáv és a konvex-konkáv típusokat. A hatféle alakot automatikusan két újabb csoportba sorolhatjuk: a konvex (első 3 típus) és a konkáv (második 3 típus) lencsék csoportjába. A konvex lencsék gyűjtő hatásúak, a konkáv lencsék pedig szóró hatásúak. További csoportosítási lehetőséget nyújt az optikai tengelyen mért vastagság, mely szerint beszélhetünk vékony és vastag lencsékről. Vékonylencsének nevezzük azokat a lencséket, melyek optikai tengelyen mért vastagság elhanyagolható a többi geometriai mérethez képest.

Szférikus lencsék képalkotását leíró összefüggések abban az esetben, amikor a lencse előtt és mögött levegő helyezkedik el:

I. leképzési törvény:

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

II. lineáris nagyítás:

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

III. szögnagyítás (mely megmutatja, hogy a képoldali látószög tangense hányszorosa a tárgyoldali látószög tangensének):

$$N_{sz} = \text{tg } i' / \text{tg } i$$

A lencsék jellemzésére használt legfontosabb mérőszám a **törőerő**, mely a méterben meghatározott fókusz távolság reciproka. A törőerő mértékegysége a **dioptria**.

1.2.5. Vékonylencsék optikai hatása

Vékonylencsének nevezzük az olyan lencséket, melyeknek az optikai tengelyen mért vastagsága elhanyagolható a többi geometriai mérethez képest. A vékonylencséknek egyetlen fősíkja van, és általában ezzel az egyetlen fősíkkal ábrázoljuk a lencsét. A fősík – mely általában a lencse közepén metszi az optikai tengelyt –, feladata kettős: egyrészt innen mérjük a fókusz távolságot, másrészt ábrázolásakor ezen törnek meg a fénysugarak. A vékonylencsék törőerejét az optikai gyakorlatban az ún. *lencsekészítő formulával* határozzuk meg:

$$D = 1 / f = (n - 1) \cdot (1 / r_1 + 1 / r_2),$$

ahol n a lencse anyagának törésmutatója (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!

A lencsekészítő formula előjelszabálya eltér a matematikai előjelszabálytól, annál sokkal gyakorlatiasabb, ugyanis nem a fény haladási irányát veszi alapul az előjelek meghatározásához, hanem a lencsét gyártási és mérési szempontból vizsgálja. Kívülről szemlélve a lencsét a görbületi sugár pozitív, ha a felület domború (konvex), illetve a görbületi sugár negatív, ha a felület homorú (konkáv). Sík felület esetén a görbületi sugár végtelen nagy, melynek a reciproka matematikailag 0, vagyis a sík felület törőereje is 0. Ha a számítás alapján a törőerő és a fókusz távolság előjele pozitív, akkor a lencse gyűjtő hatású. Ha a számítás alapján a törőerő és a fókusz távolság előjele negatív, akkor a lencse szóró hatású.

Vékony gyűjtőlencse képzése

Gyűjtőlencse esetén háromféle speciális fénysugarat érdemes felhasználni a képszerkesztéshez. A főtájon (H) keresztül érkező fénysugár fénytörés nélkül halad tovább. (Főtájonk nevezzük a főtá és az optikai tengely metszéspontját) Az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugár a túlloldali fókuszponon keresztül haladva török meg. A fókuszponon keresztül érkező fénysugár az optikai tengellyel párhuzamosan haladva török meg. A homorú tükör képzéséhez hasonlóan a fókuszponon és a kétszeres fókusz távolság helye 5 különböző tartományra osztja a tárgyeret, így ennek megfelelően 5 különböző képzési esetet kell meghatározni.

Ha a tárgy a fókuszponon belül van, akkor a megtört fénysugarak szétártóak lesznek, azok a valóságban nem metszik egymást, nem keletkezik valódi kép. Azonban a megtört fénysugarak visszafelé történő meghosszabbításai metszik egymást, így látszólagos képponon jön létre. A keletkező kép: *látszólagos, egyenes állású és nagyított*. Ezt a képzési esetet a gyakorlatban a kézi nagyítónál, vagy más néven lupénál használjuk fel, amikor is a képzés célja egy tárgy részleteinek felnagyítása.

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

Amikor a tárgy a fókuszponon 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*.

Abban az esetben, amikor a tárgy a kétszeres fókusz távolságnál helyezkedik el, a megtört fénysugarak szintén a kétszeres fókusz távolságnál metszik egymást, és a keletkező kép: *valódi, fordított állású lesz, és a képnagyság egyenlő a tárgynagysággal*.

A kétszeres fókusz távolságon kívül elhelyezkedő tárgyról a fókuszponon és a kétszeres fókusz távolság között keletkezik a kép, mely: *valódi, fordított állású és kicsinyített lesz*. Ezt a képzési esetet találjuk meg a Galilei- és a Kepler-távcső objektív lencsénél, a fényképezőgépek objektívjénél, és az emberi szem esetén.

Vékony szórólencse képzése

Szórólencse esetén háromféle speciális fénysugarat érdemes felhasználni a képszerkesztéshez. A főtájon (H) keresztül érkező fénysugár fénytörés nélkül halad tovább. Az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugár úgy török meg, mintha az azonos oldali fókuszpononból indult volna ki. A túlloldali fókuszponon irányába haladó fénysugár az optikai tengellyel párhuzamosan török meg.

Konkáv lencse esetén bárhol is van a tárgy, a megtört fénysugarak szétártóak lesznek, azonban a megtört fénysugarak visszafelé történő meghosszabbításai metszik egymást, így látszólagos képponon jön létre. A keletkező kép: *látszólagos, egyenes állású és*

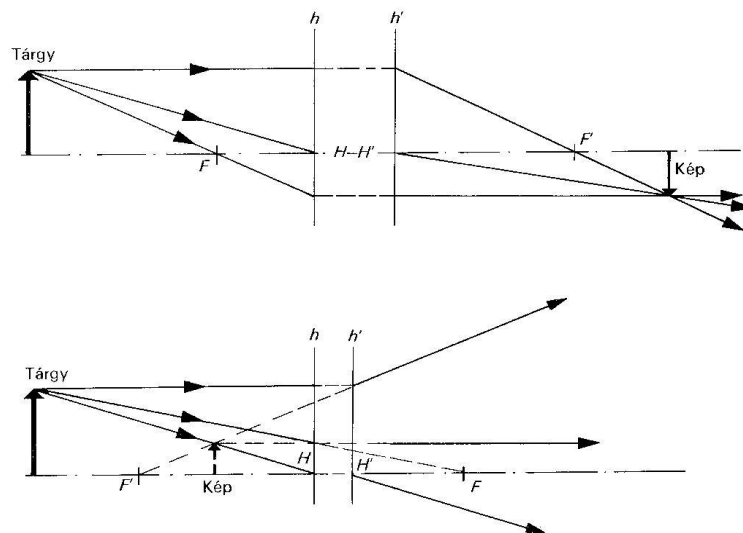
kicsinyített.

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 vastaglencséknek mindig két fősíkja van, és általában ezekkel helyettesítjük a lencsét. A fősíkok feladata kettős: egyrészt innen mérjük a fókusz távolságokat, másrészt ábrázolásakor ezeken törnek meg a fénysugarak olyan formán, hogy a két fősík között úgy ábrázoljuk a fénysugarak útját, mintha azok az optikai tengellyel párhuzamosan haladnának. A két fősíkon kívül a fénysugarak haladását a vékonylencsék speciális sugármeneteinek megfelelően szerkesztjük.

Gyűjtőlencse esetén a képszerkesztésekhez 3-féle speciális fénysugarat tudunk felhasználni. Az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugár az első fősíkon nem törik meg, a második fősíkon pedig úgy törik meg, hogy fénnytörés után a túoldalali fókuszpontra halad keresztül. A fókuszpontra keresztül érkező fénysugár az első fősíkon megtörik, és az optikai tengellyel párhuzamosan halad tovább. Az első fókuszpontra érkező fénysugár a két fókusz között az optikai tengelyen halad, majd úgy törik meg, hogy a lencsére érkező, eredeti fénysugárral párhuzamos lesz a lencse után továbbhaladó fénysugár.

Szórólencse esetén is 3-féle speciális fénysugarat tudunk felhasználni. Az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugár az első fősíkon nem törik meg, a második fősíkon pedig úgy törik meg, mintha az azonos oldali fókuszpontra indult volna ki. A képoldali fókuszpontra irányába haladó fénysugár az első fősíkon megtörik, és az optikai tengellyel párhuzamosan halad tovább. Az első fókuszpontra érkező fénysugár a két fókusz között az optikai tengelyen halad, majd úgy törik meg, hogy a lencsére érkező, eredeti fénysugárral párhuzamos lesz a lencse után továbbhaladó fénysugár.



4. ábra. A vastaglencsék képszerkesztésénél felhasználható fénysugarak.⁴

⁴ Rózsa Sándor: Fizikai és geometriai optika, 1980, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

A vastaglencsék törőerejét az optikai gyakorlatban szintén a lencsekészítő formulához hasonló képlettel határozzuk meg, figyelembe véve a lencse optikai tengelyen mért vastagságát (e). A képlet egyszerűsítése érdekében bevezetjük a *felületi dioptria* fogalmát, mely külön-külön mutatja meg a két lencsefelület törőerejét. A felületi dioptria nagysága:

$$D = (n - 1) / r.$$

Ennek segítségével felírva a törőerő értéke dioptriában:

$$D = D_I + D_{II} - e / n \cdot D_I \cdot D_{II},$$

ahol D_I az első lencsefelület felületi dioptriája, és D_{II} a hátsó vagy második lencsefelület felületi dioptriája. Az előjelszabály megegyezik a vékonylencsénél leírt szabállyal.

A törőerő értékéből meghatározható a lencse fókusz távolsága, mely meghatározza a fókuszpontok helyét. A fókuszpontok tényleges helyének meghatározásához ismerni kell a fősíkok helyét is. A fősíkok helyét alapvetően befolyásolja a lencse alakja. Bikonvex és bikonkáv lencsék esetén mindkét fősík a lencsén belül található meg. Plánkonvex és plánkonkáv lencsék esetén az egyik fősík a lencsén belül helyezkedik el, a másik fősík pedig a görbe felszín 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 össztörőerő arányának megfelelően vagy a lencsén kívül, vagy a lencsén belül. Mindenképpen elmondható, hogy konkáv-konvex lencsénél a domború, míg konvex-konkáv lencsénél a homorú felszín felé tolnak el a fősíkok.

A mindennapos optikus gyakorlatban azonban nincs lehetőség arra, hogy például a szemüveglencsék fősíkjait pontosan meghatározzuk, sokkal gyorsabb eljárásra van szükség a fókusz távolság és ezen keresztül a törőerő meghatározásánál. Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy főleg a szemüveglencse saját asztigmájának elkerülése érdekében, konkáv-konvex és konvex-konkáv lencsákat használunk a szemészeti optikában. Ahogyan az előbbieken tisztáztuk, az ilyen típusú lencsék fősíkjai jórészt a lencsén kívül a levegőben helyezkednek el, azok mérés technikai meghatározása lehetetlennek tűnő feladat.

Ezen problémák elkerülése érdekében az optikus iparban bevezették a *csúcsdioptria* fogalmát, ami annyit jelent, hogy a fókusz távolságot nem a fókuszpontokhoz képest mérjük, hanem a lencsefelület optikai középpontjához, „csúcsához” képest. A felület „csúcsának” az optikai tengely és a felület metszéspontját nevezzük. Az így kapott értékeket csúcsfókusz távolságnak nevezzük. Mivel a szemüveglencsének két lényegesen eltérő hatású felület van – azaz egy homorú és egy domború –, ezért választani kellett, hogy melyik felületet tekintjük szabványosan irányadónak, amit hagyományosan „bázisfelületnek” nevezünk. A szemüvegoptika gyakorlatban a kezdeti gyártástechnikai okok miatt a homorú felületet tekintették a lencse bázisának, ezért ez lett a törőerő meghatározás és mérés alapja. Szemüveglencsék esetén mindig a homorú felülethez képest mérünk törőerőt, amit ennek megfelelően *hátsó csúcsdioptriának* nevezünk.

1.2.7. A lencserendszerek optikai jellemzői

Lencserendszerről abban az esetben beszélhetünk, ha nem egy, hanem több lencsét használunk fel a tárgy képének leképzéséhez. Tapasztalataink szerint csak olyan lencserendszereknek van gyakorlati haszna, melyeknél a lencsék egy közös optikai tengelyen fekszenek. Látszólag előfordulnak ettől eltérő lencserendszerek, azonban

ezeknél valamilyen más optikai test segítségével elforgatjuk, vagy párhuzamosan eltoljuk a rendszer egy részének az optikai tengelyét. Erre a célra leginkább tükröket és reflexiós prizmákat alkalmazunk. Természetesen az eltolás, vagy az elforgatás után az optikai tengelyek már egybe esnek, így végeredményben csak közös optikai tengellyel rendelkező, ún. centrált lencserendszereket alkalmazunk.

Felmerül a kérdés, hogy egyáltalán miért van szükség lencserendszerekre, hiszen egy tárgy képét akár egyetlen lencsével is le tudjuk képezni. Azonban a lencsék képalkotása hibákkal terhelt, az általuk létrehozott kép csak a legritkább esetben kielégítő minőségű. A kép minőségének javítási szándéka kényszerítette rá az embert a lencserendszerek kialakítására. Azonban nem lehetséges olyan lencserendszer megalkotása, 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.

A két tagból álló lencserendszer mindig helyettesíthető egy darab vastag lencsével, így a kéttagú lencserendszernél is beszélhetünk az össztörőerő, a fókusz távolság és a fősíkok fogalmáról. Ezen optikai jellemzők egyben a lencserendszert helyettesítő vastag lencse jellemzőivel lesznek azonosak. A két tagból álló lencserendszert visszavezethetjük egy vastag lencsére, és akár úgy is felfoghatjuk, mintha az első lencse a vastag lencse első felülete lenne, a második lencse a vastag lencse hátsó felülete lenne, és a két lencse között levő közeg (n_2) a vastag lencse anyagát szimbolizálná. 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:

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

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

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.

Legegyszerűbb eset, amikor a két lencse szorosan egymás mellett helyezkedik el ($e = 0$). 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. Az említett leképzési hibákat általában egy gyűjtő-, és egy szórólencséből álló kombinációval korrigálhatjuk a legsikeresebben. Ilyenkor a lencserendszer össztörőereje nagyon könnyen meghatározható. Mivel $e = 0$, ezért a képlet jobb oldalának harmadik tagja kiesik, vagyis:

$$D = D_1 + D_2.$$

A lencserendszerek második speciális esete, amikor az első lencse hátsó fősíkja 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 lesz egyenlő. A megadott speciális adatokkal az össztörőerő értéke:

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

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

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

$$D = D_2.$$

Ez látszólag azt jelenti, mintha az első lencsének nem is lenne szerepe a képalkotásban. Bár az első lencse nem befolyásolja az össztörőerőt, azonban hatással van az eredő fősíkok és ezen keresztül a fókuszpont elhelyezkedésére, így a képalkotást a fősíkok eltolásával módosítja. Vagyis ebben az esetben a lencserendszer képalkotását a második lencse határozza meg, és az első lencse feladata a második lencse fősíkjainak eltolása. Elméletileg így működik a szemüveglencse, amely akkor fejt ki megfelelően az optikai hatását, ha a szem első fókuszpontjában helyezkedik el. Ilyen esetben az eredő törőerő megegyezik a szem törőerejével, és a szemüveglencse nem befolyásolja a szem nagyítási viszonyait, csak a szem fősíkjait tolja el a megfelelő mértékben.

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 speciális adatokkal az össztörőerő értéke:

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

Mivel levegőben a törőerő a fókusz távolság reciproka, ezért $f_1 \cdot D_1 = f_2 \cdot D_2 = 1$, és felbontva a zárójelét:

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

A levezetés eredményeképpen az ilyen rendszer össztörőereje nulla, eredő fókusz távolsága végtelen nagy, ami azt jelenti, hogy a végtelenből jövő párhuzamos fénysugarak a lencserendszeren áthaladva párhuzamosak maradnak. A lencserendszert fókuszmentes, vagy más néven *afokális* lencserendszernek nevezzük. Az afokális lencserendszereket a gyakorlatban a távcsöveknél alkalmazzuk. A leírtaknak megfelelően 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 látszólag nincs sok értelme a lencserendszer alkalmazásának. Figyelembe véve azonban azt, hogy az objektív lencse fókusz távolsága jóval nagyobb, mint az okulár lencse fókusz távolsága, az afokális lencserendszer jelentősen megváltoztatja a látászögeket. Ennek megfelelően a távcsövek feladata a látászögek nagyítása, amelyet a szögnagyítással fejezünk ki:

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

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. Régebbi tankönyvek alapján rekesznek, vagy más néven „blendének” azt tartjuk, ami a lencsék között helyezkedik el, változtatható nagyságú, a közepén lévő nyílás átengedi a fénysugarakat, míg a többi területen elzárja a fény útját. A valóságban, a hagyományos értelemben vett blendék mellett, rekesznek tekintjük a lencsék szélét, a lencserendszer foglalatát és minden olyan az optikai

eszközhöz tartozó tárgyat, mely meghatározza az optikai rendszeren áthaladó fény mennyiségét.

A rekeszeknek 5 fő feladata van: meghatározzák a fényerősséget, befolyásolják a mélységélességet, szabályozzák a felbontóképességet, kijelölik a látóteret, csökkentik a leképzési hibák egy részét. Egy adott lencserendszer esetén mindig aszerint helyezünk el rekeszeket az optikai rendszerben, hogy az 5 fő feladat melyikét és hogyan szeretnénk szabályozni. Jól megtervezett rekeszekkel a lehető legtöbb feladatot elláthatjuk egy időben.

A rekesz egyik legfontosabb feladata a fényerősség szabályozása. Nyilvánvaló, hogy az optikai eszköz fényerejét az határozza meg, hogy mennyi fény halad át a lencserendszeren. A rendszert alkotó lencsék anyaguknak megfelelően a fény egy részét visszaverik és elnyelik, így a külső fény mennyiség már eleve nem haladhat át az eszközön. Elképzelhető, hogy ez a fény mennyiség még mindig túl sok, illetve az eddigiek még nem tesznek lehetővé szabályozást. A fényerősség szabályozásához mindenképpen változtatható nyílású rekeszre van szükség.

A rekeszek közül azt, amelyik a legkevesebb fényt engedi át az optikai eszközön *apertúra rekesznek* nevezzük. Ez annyit jelent, hogy a fényerősséget mindig az apertúra rekesz mérete határozza meg. Logikusan megközelítve elmondható, hogy minél szűkebb a rekesz nyílása, annál kevesebb fény halad át a lencserendszeren. A fényképezőgépet véve alapul a rekesz méretét az ún. blendeszámmal adják meg, ami az objektív fókusz távolságának és a rekesz átmérőjének a hányadosa. Így 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. Abban az esetben, ha a lencserendszert helyettesítjük egy eredő lencsével, akkor már nem olyan egyszerű a lencsék között lévő blende értelmezése. Ezért definiáljuk az apertúra rekesz tárgyoldali képét, melyet *belépő pupillának*, illetve képoldali képét, melyet *kilépő pupillának* nevezünk. Ezek segítségével úgy modellezzük a rendszert, hogy a fényerősséget tárgyoldalról a belépő pupilla, képoldalról pedig a kilépő pupilla határozza meg. A gyakorlat számára ezt úgy fogalmazzuk meg, hogy *az optikai eszköznek akkor megfelelő a fényerőssége, ha az adott optikai eszköz kilépő pupillája nagyobb, mint az emberi szem belépő pupillája*. Ha a feltétel teljesül, akkor az optikai eszközön keresztül ugyanolyan világosnak látjuk a tárgyakat, mint szabad szemmel.

A rekeszek második fő feladata a mélységélesség meghatározása. A lencsék és tükrök képalkotásánál általában azt néztük végig, hogy egy adott tárgyról hol és milyen kép keletkezik. A gyakorlati alkalmazások során az optikai eszközök fókusz távolságát úgy szabályozzuk, hogy egy adott tárgytávolság mellett, az adott távolságban lévő tárgyról hozzák létre az éles képet. Elméletileg csak az itt elhelyezkedő tárgyról jön létre éles kép, vagyis egy adott tárgysík mellett egyetlen éles képsík van.

Az elmélettel szemben a valóságban a tárgyak háromdimenziósak, nem egy síkban fekszenek, így a tárgyak egyes pontjai a tárgysík előtt, míg más pontjai a tárgysík mögött vannak. Ezek éles képe nem a képsíkban keletkezik. Az elméleti megközelítés alapján a tárgysíkban lévő tárgy pontok képe éles lesz, a tárgy többi pontja viszont életlen lesz a képen. Azok a tárgy pontok, melyek nem a tárgysíkban vannak, a képsíkban ún. *szóródási köröket* hoznak létre „képként”. A szóródási kör mérete határozza meg, hogy az adott képet mennyire látjuk élesnek. Ha a szóródási körök mérete egy adott mértéket nem halad meg, akkor annak ellenére élesnek fogjuk látni a képet, hogy az valójában nem is teljesen éles. *Mélységélességnek* nevezzük a tárgy térnek azt a tartományát, amelyen belül elhelyezkedő tárgyról a keletkező képet élesnek látjuk. A mélységélesség tartománya magában foglalja az élesre állított tárgyteret, és az annál távolabbi illetve közelebbi távolságokat, melyekről a keletkező képet élesnek látjuk. A

mélységélesség tartománya távolabbra mindig nagyobb, mint az éles tárgy síknál közelebbre.

Az optikai eszköz mélységélessége annál nagyobb, minél nagyobb a tárgytávolság, minél kisebb a fókusz távolság és minél kisebb az apertúra rekesz mérete, vagyis minél nagyobb a blendeszám. A szóródási kör mérete egyenesen arányos az apertúra rekesz méretével, vagyis minél kisebb a rekesz mérete, annál kisebb a szóródási kör mérete is, vagyis annál élesebbnek látható a kép, és annál nagyobb a mélységélesség.

A rekeszek eddig ismert tulajdonságai mellett az optikai eszköz felbontóképességét is szabályozzák. A felbontóképességet a Fiziológiai optika című fejezetben részletesen megtaláljuk majd, itt most csak annak eredménye következik. Az optikai eszközök felbontóképessége a következő képlettel határozható meg:

$$\sin \alpha = 1.22 \cdot \lambda / d,$$

ahol λ a fény hullámhossza, d pedig az apertúra rekesz nyílásának átmérője. Az α szöget a lencserendszer szögfelbontásának nevezzük, és jól látható a képletből, hogy az értéke a rekesz méretével fordítottan arányos, vagyis minél nagyobb a rekesz mérete, annál kisebb lesz α értéke. Ha logikusan végiggondoljuk, akkor abban az esetben beszélünk jó felbontó képességről, ha az α értéke kicsi. Ennek megfelelően, minél nagyobb a rekesz mérete, annál jobb az optikai rendszer felbontó képessége.

Összegezve a rekeszekről eddig elmondottakat a rekesz méretének növelésével növekszik a fényerő és a felbontóképesség, és romlik a mélységélesség. Ez fordítva is igaz, azaz a rekesz méretének csökkentésével csökken a fényerő és a felbontóképesség, és javul a mélységélesség. Mivel a mélységélesség és a felbontóképesség egy idejű növelése lehetetlen, így mindig ki kell választani, hogy az adott esetben melyik növelése a fontosabb. Ha a felbontóképességet növeljük, akkor az éles kép optikai minősége jobb lesz, viszont a mélységélesség romlik. Ha a mélységélességet növeljük, akkor az éles kép optikai minősége rosszabb lesz, azonban nagyobb távolság tartomány látszódik majd élesen a képen.

Látótérnek nevezzük a tér azon részét, melyet az optikai eszközön keresztül láthatunk. A valóságban a lencserendszeren nem haladhat át minden fénysugár, bizonyos tárgypontról nem keletkezik kép. A rekeszek közül azt, amelyik a legszűkebb látóteret jelöli ki, mely egyben az optikai eszköz látótere is, *mezőrekesznek* nevezzük. A legtöbb optikai eszköz esetén az apertúra rekesz a lencserendszer belsejében helyezkedik el, és kevés befolyással van a látóter nagyságára. A mezőrekesz így soha nem azonos az apertúra rekeszével. Általában a mezőrekesz szerepét a lencsék széle illetve tokja tölti be, míg az emberi szem esetén a látóteret az arc különböző területei (orr, szemöldök, stb.) határozzák meg.

A rekeszek 5. feladata a leképzési hibák csökkentése. Mivel a leképzési hibák a következő pontban kerülnek megtárgyalásra, most csak összefoglalásként elmondható, hogy legeredményesebben a szférikus aberráció, a kóma és a képtorzítás csökkenthető rekesz segítségével. A szférikus aberráció és a kóma korrigálását az teszi lehetővé, hogy a rekesz nem engedi át a lencse szélén áthaladó, és leképzési hibát okozó fénysugarakat. A képtorzítást pedig a rekesz megfelelő elhelyezésével csökkenthetjük.

1.2.9. Leképzési hibák

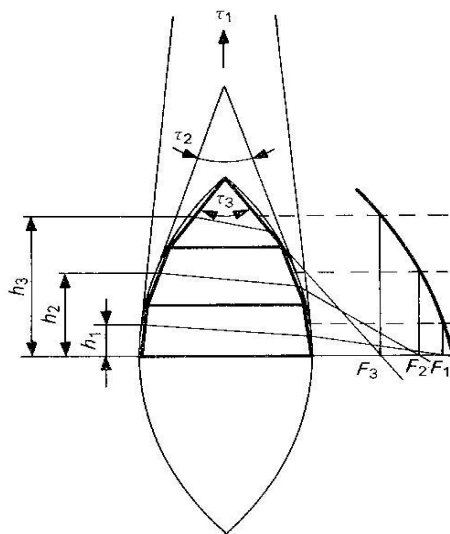
A tükrök és lencsék képalkotását bizonyos egyszerűsítések segítségével tárgyaltuk végig. A bevezetett egyszerűsítések segítségével könnyen kezelhető képleteket kaptunk, melyek viszonylag pontosan írják le a tükrök és lencsék viselkedését. A valóságban azonban azt tapasztaljuk, hogy a levezetett optikai törvények általában nem teljesülnek maradéktalanul, a kép részben életlen, torzult. A képalkotási hibák egy részét a

gyártástechnológiára vezethetjük vissza. Ha a kívánt görbületi sugarat pontatlanul készítik el, a felületet nem megfelelően polírozzák fel, az anyagban zárványok és buborékok keletkeznek, illetve a lencsetagokat rosszul illesztik össze, akkor ezek a hibák kihatnak a kép minőségére.

A képképzési 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*. Azok a leképzési hibák, melyeket az optikai eszköz geometriája illetve tárgy elhelyezkedése hoz létre, nemcsak a lencsére, hanem 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 fénytörést. A leképzési hibák közül egyedül a kromatikus aberráció az, amelyik csak lencsék esetén jön létre.

A tükrök és a lencsék képképzését azzal a megkötéssel tudtuk csak levezetni, hogy feltételeztük, hogy a fényvisszaverő illetve a fénytörő felületre csak paraxiális, optikai tengelyhez közeli fénysugarak esnek. Az optikai tengely közelében haladó fénysugarak optikailag könnyen kezelhetők, általában jó minőségű képet hoznak létre, és a levezetett törvények érvényesülnek rájuk. Gondot azok jelentenek, amikor a fénysugarak az optikai tengelytől távol haladnak, illetve a tárgy az optikai tengelytől távol helyezkedik el.

Szférikus aberrációról akkor beszélünk, ha szférikus felszínre az optikai tengellyel párhuzamosan érkeznek a fénysugarak. Elméletileg a végtelenből érkező párhuzamos fénysugarakat a fókuszpontba gyűjti össze, illetve az optikai tengelyre merőleges állású tárgyról az optikai tengelyre merőleges képet hoz létre a szférikus tükör vagy lencse. A valóságban azonban az optikai tengelytől távolodva már nem teljesülnek maradéktalanul az egyszerűsítéshez használt feltételek, ezért a tükör illetve lencse széle környékén érkező fénysugarak már nem az ideális irányban haladnak tovább az optikai eszköz után.



5. ábra. A szférikus aberráció görbéje.⁵

A szférikus aberráció nagyságának értelmezése a következő: első lépésként megszerkesztjük az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugarak valóságos

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

visszaverődését illetve törését, melyek valahol metszik az optikai tengelyt. Ezután az optikai tengellyel való metszéspontot a tengelyre merőlegesen kivetítünk a beérkező fénysugár távolságába. A kapott metszéspontok egy görbét hoznak létre, mely görbe az adott lencsére jellemző, és a *szférikus aberráció görbéjének* nevezzük. Abban az esetben, ha a görbe a lencse felé hajlik, akkor a lencsét *alulkorrigálnak* nevezzük, és általában ez jellemző a gyűjtőlencsére, illetve a homorú tükrökre. Ha a görbe a lencsétől hajlik, akkor a lencsét *túlkorrigálnak* nevezzük, és általában ez jellemző a szórólencsére, illetve a domború tükrökre.

A szférikus aberrációt legegyszerűbben úgy csökkenthetjük, hogy a problémát okozó, a lencse vagy a tükör szélén haladó fénysugarakat kizárjuk a képalkotásból. Ezt rekeszek alkalmazásával oldhatjuk meg. Abban az esetben is csökkenthetjük a szférikus aberráció mértékét, ha mesterségesen csökkentjük a lencse, illetve a tükör széle felé haladva a törőerő nagyságát. Ezt aszférikus felületekkel érhetjük el. Figyelembe véve, hogy a gyűjtőlencsék alulkorrigáltak, a szórólencsék pedig túlkorrigáltak lencserendszerek esetén a szférikus aberráció jól csökkenthető a lencsetagok átgondolt megválasztásával. 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, és bikonvex lencsét alkalmazunk.

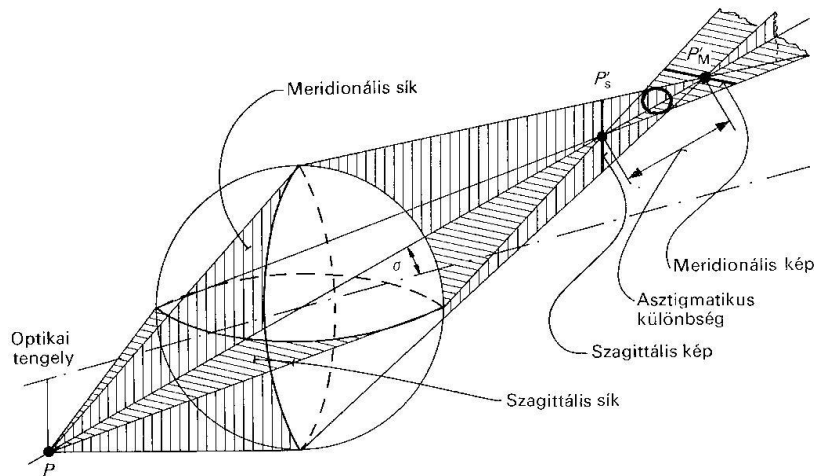
Speciális felhasználási területeken alkalmazhatunk az adott célnak leginkább megfelelő, de máshol nem használt lencseformákat is. A Fresnel-lencse – melyet például az írásvetítőknél használnak – körgyűrű szerűen elhelyezkedő prizmákból áll, melyek törőszöge úgy van meghatározva, hogy a fókuszpontból kiinduló fénysugarakat tökéletesen az optikai tengellyel párhuzamosan törí meg. Optikai rendszerek tervezésénél felismerték azt, hogy amennyiben jól szerkesztik meg a lencserendszert, akkor a tárgyterben lesznek olyan pontok, melyeket nagy átmérő 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. Ez csak olyan rendszerek esetén teljesíthető, ha a lencsetagok nem mozdulhatnak el egymáshoz képest, vagyis nem állíthatunk élességet az össztörőerő változtatásával. 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 szöveget bezárva, akkor a leképzési hibák közül a kómáról beszélhetünk. Kóma esetén a visszavert illetve megtört fénysugarak nem egy pontban metszik a fókuszsíkot. Leglátványosabban egy céltáblaszerű tárggyal mutatható be a torzítás abban az esetben, ha az nem az optikai tengelyre szimmetrikus helyzetű. A tárgyról egy egymáshoz képest elcsúszott és a körszerűséget is eltorzító kép keletkezik, mely egy üstököshöz hasonlít, és ezért üstökös hibának is nevezzük a kómát.

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 aránya 1:6.

Az asztigmatizmus az optikai tengelytől távolabb lévő tárgyponatok esetén valósul meg, és minél messzebb vagyunk az optikai tengelytől, annál nagyobb lesz a mértéke. Az asztigmatizmus az eddigiekhez hasonlóan a lencse és a tükör szférikus alakjából következik. Nem szabad összekeverni a szem asztigmatikus leképezésével, ami a töríkus saruhártya illetve szemlencse felület miatt jön létre. Az optikai tengelytől távollévő

tárgypont esetén a fősugar két egymásra merőleges síkot jelöl ki. Meridionális síknak nevezzük azt a síkot, mely tartalmazza az optikai tengelyt és a fősugarat. (Fősugárnak az adott tárgypontból és a főponton áthaladó fénysugarat nevezzük.) A meridionális sík mindig egyben a rajz síkja is. Szagittális síknak nevezzük azt a síkot, mely tartalmazza a fősugarat, és merőleges a meridionális síkra. A két síkban nem azonos a görbületi sugár. A meridionális görbületi sugár egyenlő a szférikus felület sugarával, azonban a szagittális görbületi sugár ennél kisebb. Minél távolabb van a tárgypont az optikai tengelytől, annál kisebb lesz a szagittális görbületi sugár. Mivel a két síkban eltérőek a görbületi sugarak, ezért eltérőek lesznek a törőerő értékek, és ezen keresztül a képalkotás is. A meridionális és a szagittális kép egy-egy egyenes szakasz lesz, és az egyenesek merőlegesek a saját síkjukra. A meridionális kép egy szagittális síkban fekvő egyenes lesz, illetve a szagittális kép egy meridionális síkban fekvő egyenes lesz. Az eredő kép mindig a meridionális és a szagittális kép között helyezkedik el, és a kép nem körszerűen torzul. Az ellipszishez hasonló képformát *Sturm-féle konoidnak* nevezzük.



6. ábra. Az asztigmatizmus által okozott leképzési hiba.⁶

Az emberi szem a leképzési hibák közül leginkább az asztigmatizmusra érzékeny, mivel a meridionális és a szagittális torzulás egymástól eltérő, egyszerre nem tudja a szem a pupilla segítségével korrigálni azokat. Gyakorlatilag azt mondhatjuk el, hogy egyetlen lencse esetén csak olyan lencseformával korrigálható jól a lencse saját asztigmatizmusa, ahol az egyik lencsefelület konvex, a másik pedig konkáv, és emellett a két felület egymáshoz képesti arányát megfelelően választják meg.

Képzőhajlást az optikai tengelytől távollévő tárgypontok hoznak létre. A leképzési hiba azért jön létre, mert a tárgy egyes pontjai nem ugyanolyan távol vannak a főponttól. Minél távolabb van egy pont, annál kisebb lesz a keletkező képpont távolsága. 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 majd a kép. A leképzési hibát gyűjtőlencsék és szórólencsék kombinálásával lehet megoldani.

⁶ Rózsa Sándor: Fizikai és geometriai optika, 1980, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

A lencsék és tükrök mellett a rekeszek is okozhatnak leképzési hibát, melyet képtorzításnak nevezünk. A képtorzítás alapja az, hogy a rekeszek nem ugyanazon a lencseterületen engedik át az egyes tárgyponatok sugárnyalábját. A rekesz elhelyezkedése befolyásolja az egyes tárgyponatok tényleges tárgytávolságát, illetve a képalkotáson keresztül a képtávolságát. Az eltérő tárgy- és képtávolságok eltérő nagyítási viszonyokat teremtenek az egyes tárgyponatok esetén. Ha a rekesz a lencse előtt található, akkor a kép hordószerűen torzul (az optikai tengelynél a legnagyobb a nagyítás). Ha a rekesz a lencse mögött található, akkor a kép párnaszerűen torzul (az optikai tengelynél a legkisebb a nagyítás). Ha a rekeszt a lencsetagok között helyezzük el, akkor a rekesz előtt, illetve mögött levő lencsék egymásnak ellentétesen torzítják a képet, így végeredményben torzításmentes képet kapunk. Vagyis a leképzési hiba a rekesz megfelelő elhelyezésével automatikusan megoldható.

A kromatikus aberráció a fénytörés során létrejövő színbontás eredménye, ezért a leképzési hibák közül ez az egyetlen, amelyik a tükrökre nem jellemző, csak lencsék esetén valósul meg. A prizmánál ismertetett okok miatt az összetett fény már a legelső lencsefelületen 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 olyan módon, hogy különböző Abbe-számú gyűjtő- és szórólencsék kombinálunk egymással. Legegyszerűbben ez egy koronaüvegből készült gyűjtőlencsével, és egy flintüvegből készült szórólencsével oldható meg. Ha a két lencse színbontása azonos nagyságú, de ellentétes értelmű, akkor ezek kioltathatják egymást. A valóságban az adott feltétel nem teljesíthető maradéktalanul. A két színre korrigált lencserendszert *akromátnak*, míg a három színre korrigált lencserendszert *apokromátnak* nevezzük. Az apokromát lencserendszereket általában a három alapszínre, vagyis a vörösre, a zöldre és a kékre korrigálják ki.

1.3. Fizikai optika

A fizikai optika a fény hullámtermészetével foglalkozik, megpróbál magyarázatot adni a fényjelenségekre. A fényjelenségek egy jelentős része már régóta ismert az emberek számára, és annak ellenére, hogy ezek döntő többsége is a fény hullámtermészetéből adódik, mégis a hagyományoknak megfelelően a geometriai optikában tárgyaltuk meg. Fizikai optika címszó alatt, általában csak olyan jelenségeket szoktunk megemlíteni, melyek a hétköznapi ember számára nem nyilvánvalóak. Ez abból is adódik, hogy a hullámok speciális jellemzőit a hullámhossz nagyságrendjében tudjuk értelmezni, vagyis fény esetén μm alatti méretekben kell gondolkodni. A fizikai optika által tárgyalt jelenségeket a Huygens-Fresnel-elv segítségével lehet bizonyítani. Bár a Huygens-Fresnel-elv a fényjelenségekre megfelelő magyarázatot ad, azonban nem ad pontos képet a fény terjedési sajátosságairól. A fényterjedéssel kapcsolatos kérdéseket Maxwell tisztázta elektromágneses hullám elméletével.

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 megfelel a hullám definíciójában megfogalmazottaknak, hiszen térben és időben terjed, energiát szállít, vagyis hullámjelenség. A hullám térbeli és időbeli terjedése nem teljesen 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 pontosan hullámhossznyi utat tesz meg. Mivel a

sebességet a fizikában mindig a megtett út, és az ezalatt eltelt idő hányadosával értelmezzük, ezért a hullám sebessége:

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

A képletnek megfelelően a fényhullámok esetén elmondható, hogy a terjedési sebesség egyenlő a fény frekvenciájának és hullámhosszának a szorzatával. Az összes elektromágneses hullám transzverzálisan terjed, vagyis a foton rezgése merőleges a hullám terjedési irányára.

1.3.1. Fényinterferencia

A hullámtani megközelítésnek megfelelően az interferencia jelensége hullámok találkozásakor valósul meg. Általánosnak mondható szabály, hogy az interferencia végeredménye egy 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, azonos a hullámhosszúságuk és azonos a kezdő fázisuk. Az ilyen hullámokat *koherens hullámoknak* nevezzük. Koherens hullámok interferenciája során két speciális esettel találkozhatunk, a teljes kioltással és a teljes erősítéssel. Teljes kioltásról akkor beszélhetünk, ha azonos amplitúdójú koherens hullámok találkoznak ellentétes fázisban. Ilyen esetben az eredő sugárzás energiája 0. 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. Az azonos fázis itt elegendő feltétel, ugyanis ha a két amplitúdó nem azonos, attól még a két hullám teljes mértékben erősíti egymást. Teljes erősítésnek azt nevezzük, amikor az eredő kitérés minden időpillanatban a két erősítés összege lesz. Ilyen esetben a sugárzások 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 kerülünk szembe a teljes kioltás és a teljes erősítés jelenségével fényhullámok esetén. Ez annak a következménye, hogy a fény esetén nehezen teljesíthető a koherencia feltétele. Ennek okát a fényforrások fénykibocsátásában kereshetjük. A legtöbb fényforrás gerjesztett atomjai spontán módon bocsátják ki a fényhullámokat. 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.

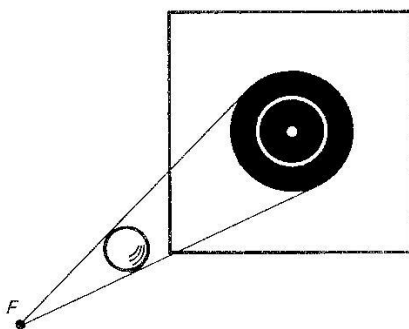
A fény interferenciáját felhasználjuk az szemüvegoptikában is. Ezen az elven működik a reflexiócsökkentő réteg, melyről részletesebben lesz szó az Anyagismeret témakörben. Optikai szempontból, ha egy fénytörő felületre (pl. szemüveglencse) megfelelő vastagságú és alapanyagú ún. vékonyréteget viszünk fel, akkor elérhető, hogy a réteg

felületéről és a lencse-réteg határáról visszaverődő fénycsücsök kioltják egymást, csökkentve ezáltal a lencsefelületről visszaverődő fénycsücsök mennyiségét, és megnövelve ezáltal a lencsén áthaladó fénycsücsök mennyiségét.

1.3.2. A fényelhajlás jelensége

A geometriai optika alaptörvénye a fény egyenes vonalú terjedése. A tudomány fejlődésével azonban kiderült, hogy ha a fénycsücsöket a saját hullámhossz tartományukban vizsgáljuk, akkor már nem teljesen igaz a feltételezés. Fényelhajlásnak nevezzük azt a jelenséget, amikor a fény eltér az egyenes vonalú terjedéstől. Fényelhajlást legegyszerűbben olyan kisméretű tárgyak és rések esetén tudunk létrehozni, melyek mérete a fény hullámhossz tartományába esik, vagyis μm illetve annál kisebb méretűek, illetve pontszerű fényforrást alkalmazunk megvilágításként. A Huygens-Fresnel-elv értelmében a tárgy vagy rés szélső pontjaiból elemi hullámok indulnak ki. Kis méret esetén ezek koherensek maradnak.

A tárgy vagy rés mögött az árnyéktérben az elemi hullámok interferenciája határozza meg az „árnyékképet”. Kisméretű tárgy esetén az árnyéktér közepén – ahol a legsötétebbnek kellene lennie az árnyéknak – egy világos foltot kapunk, amit *Poisson-féle folt*nak nevezzük, és ami körül egymást váltó sötét és világos koncentrikus gyűrűk keletkeznek.



7. ábra. A Poisson-féle folt.⁷

Hasonló a helyzet a kisméretű rések esetén is. Az árnyék közepén, ahol a pontszerű fényforrás fénye akadálytalanul halad át a résen világos foltot kapunk, amit *direkt résképnek* nevezünk. Az árnyéktérben viszont világos és sötét tartományok váltják egymást. Egy adott irányban 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.

⁷ Rózsa Sándor: Fizikai és geometriai optika, 1980, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

1.3.3. A fény polarizációja

A természetes és a legtöbb mesterséges fényforrás rendezetlen hullámokat bocsát ki. A különböző hullámhosszúságok mellett az ilyen hullámnyalábok véletlenszerűen elhelyezkedő rezgési síkokat tartalmaznak. Az emberi szem érzékelését nem befolyásolja a fény rezgési síkja, így ezzel nagyon sokáig nem is foglalkoztak a kutatók. Az olyan sugárnyalábokat, melyekben az egyes fényhullámok rezgési síkja párhuzamos egymással *poláros* sugárnyaláboknak nevezzük. Azt a síkot, amelyik egyben a poláros sugárnyaláb rezgési síkja is, *polarizációs síknak* nevezzük. Gyakorlatilag poláros fény esetén minden egyes fényhullám a polarizációs síkban rezeg. A gyakorlati felhasználások során legtöbbször nem is egy, hanem mindjárt két polarizátort alkalmazunk. Ennek oka az, hogy a második polarizátor (melyet sok helyen analízátornak is neveznek) polarizációs síkjának állásával szabályozni lehet az áthaladó fény mennyiségét. Abban az esetben, ha a két polarizátor polarizációs síkja párhuzamos egymással, akkor a második polarizátor teljes mértékig átérteszti a poláros fényt. Abban az esetben, ha a két polarizátor polarizációs síkja merőleges egymásra, akkor a második polarizátor egyáltalán nem enged át fényt, teljesen kioltja a rá eső poláros fényt.

Polárszűrőt leggyakrabban polivinil-alkohol molekulákat megnyújtásával lehet készíteni, úgy hogy a hosszú láncmolekulák kifeszüljenek, és ilyenkor a molekulákkal párhuzamos rezgési síkú fényhullámokat eresztik csak át. Egyik felhasználási területe a polarizált szemüveglencse. Mivel a vízszintes felületekről leginkább vízszintesen polarizált fényhullámok verődnek vissza, ezért függőleges polarizációs síkú szemüveglencsékkel ezek a felületi visszaverődések, csillogások kiszűrhetők, zavaró csillogó hatásuk megszüntethető. A poláros fény gyakorlati felhasználása emellett számos lehetőséget biztosít például a kvarcóra működésétől kezdve egészen a folyadékok sűrűségének a méréséig. A látszerészeti gyakorlatban alkalmazható még a polarizáció a szemüvegtészítés során keletkező káros hő- és mechanikai feszültségek kiszűrésére. A feszültségek polarizálóká teszik a lencsék anyagát a feszültség helyén, melyet egy polárszűrőn keresztül láthatóvá tehetünk.

További fontos lehetősége a poláros fény alkalmazásának a binokuláris látásvizsgálatok területén van. A polarizált fény tökéletesen alkalmas arra, hogy a szemvizsgálatok során mesterségesen elkülöníthessük egymástól a vizsgáló jelek bizonyos részeit. 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 is merőlegesek legyenek egymásra. Ha a páciens szemei elé olyan polárszűrőket teszünk, melyek polarizációs síkja egymásra szintén merőleges és ugyanabba a síkokba 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 (binokuláris zavarok) 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 színérzékenységét. A megvilágítási viszonyok befolyásolják az emberi szem színérzékenységét. Nappali, természetes fényviszonyok között az 555 nm-es zöldes-sárga fényre vagyunk a legérzékenyebbek, itt adja le 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 legnagyobb 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 és egyszerűbb definíciót fogadtak el, mely szerint *1 kandela annak a fényforrásnak a fényerőssége, amely 540·10¹² hertz frekvenciájú monokromatikus sugárzást bocsát 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 fényáram 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 fényárammal: 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 felületesség miatt: 1 stilb = 10 000 nit.

2. Szemészeti alapismeretek és fiziológiai optika

2.1. Szemészeti alapismeretek

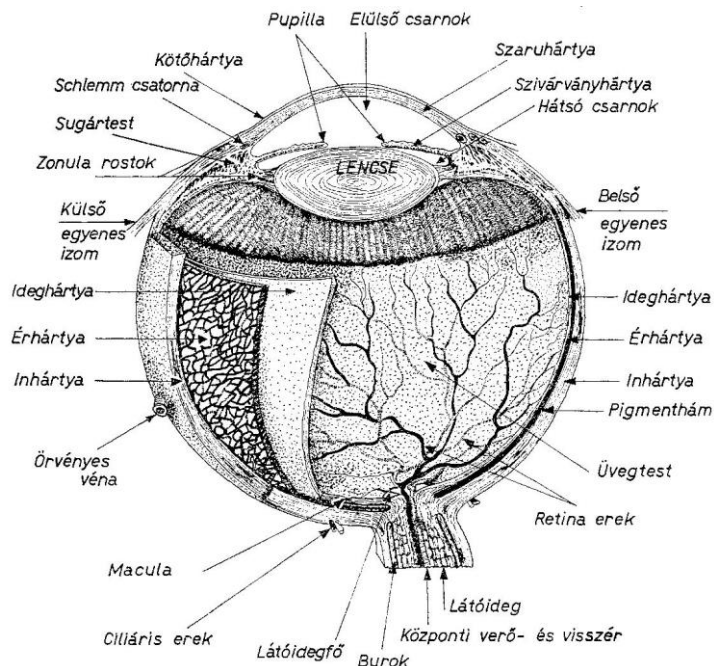
2.1.1. Az emberi szem egyes részeinek felépítése és működése

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 átfúrt 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)



8. ábra. A szemgolyó felépítése.⁸

A szemgolyó átlagosan 24 mm átmérőjű, gömb alakú, 3 rétegből álló szervünk. Külső

⁸ Dr. Vörösmarthy Dániel: A látszerészek könyve, 1981, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

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 érhártya (chorioidea). A belső burkot az ideghártya alkotja (retina). A szem belsejében található a szemlencse (lens crystallina) és az üvegtest (corpus vitreum).

A szaruhártya (cornea)

Átlátszó, az ínhártyába óraüvegszerűen illeszkedő 5 rétegből álló töröközege. 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 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 idegvégződéseiben (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 szemgolyó középső síkjában. Nagy része összefügg a látóideg hüvelyével. Feladata a szemgolyó belső rétegeinek összetartása, a szemgolyó 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 irisgyöknél van hozzá felfüggesztve.

4 rétegből áll:

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

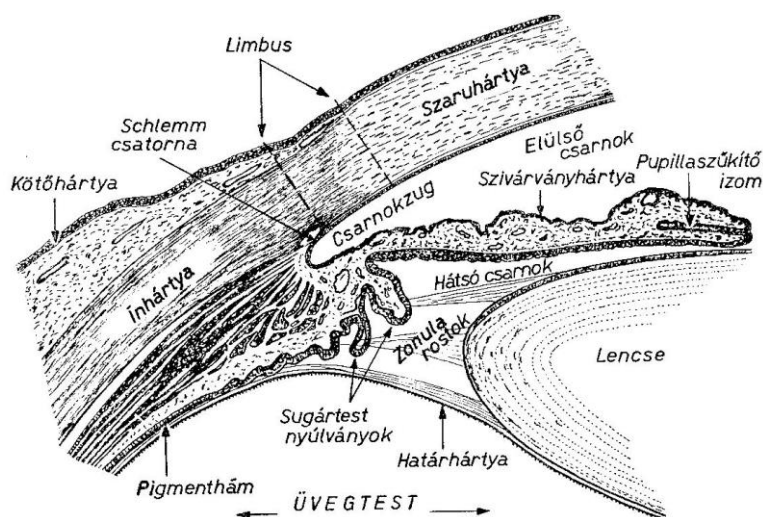
Az iris vázában található pigment mennyisége határozza meg a szem színét, minél több pigment van benne, annál sötétebb a szem. A pupilláris szélén található a körkörös

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 szegolyó belseje felé eső részét az irishez hasonlóan kétrétegű pigmenthám fedi.

Csarnokzognak 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 vezeti el a vénás rendszerbe.



9. ábra. A középső burok részei és a csarnokzug.⁹

Az érhártya (chorioidea)

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

⁹ Dr. Vörösmarthy Dániel: A látszerészek könyve, 1981, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

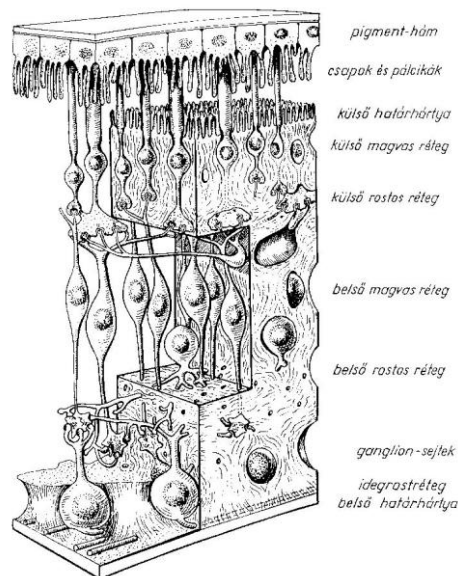
3 rétegből áll:

- 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 kifeszítve, 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.



10. ábra. A retina rétegei.¹⁰

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

¹⁰ Radnót Magda: A szemészet alapvonalai, 1975, Budapest, Medicina Könyvkiadó

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 fotoreceptorjaiban, 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 támasztősejtek 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 szemtükörrel 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 szemgödört a szemgödör hátsó pólusán levő résen.

A szemlencse (lens crystallina)

A szem harmadik töröközege. Kristálytisza, átlátszó, 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. Törőereje kb.

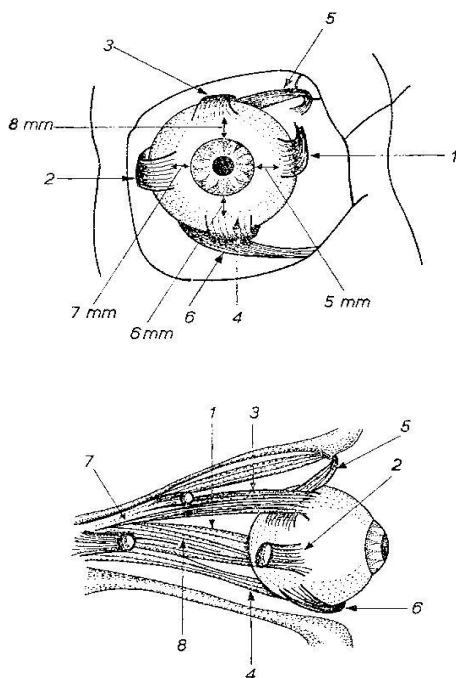
20 D. Újszülötteknél majdnem gömb alakú, később laposabbá válik. Három részét különíthetjük el. A *lencsetok*, ami kívülről körbeveszi a többi részt. A *lencse hámla*, amely soros köbsejtekből áll. A *lencse állománya*, mely szalagszerűen megnyúlt és átalakult rostokból áll. Gyerekkorban egyenletesen lágy, 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 szemlencse 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 szemgolyó nagy részét kitöltő, kb. 98 %-ban vizet tartalmazó közeg, amelyben fehérjésalak 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 szemgolyót 4 egyenes és 2 ferde szemizom mozgatja, amelyek az inhártyán 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 szemgolyóhoz 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 szemgolyó külső-felső-hátsó részét. Az alsó ferde izom a felső állcsont szemüregi részén ered. Kissé hátrafelé és oldalfelé haladva áthidalja az alsó egyenes szemizmot, majd felfelé haladva a szemgolyó külső-alsó-hátsó részén tapad. A külső és belső egyenes izmok a szemgolyónak csak egy irányú mozgását (jobbra, balra), valamint a konvergenciát teszik lehetővé. A felső és alsó egyenes izmok mozgásának fő iránya a szemgolyó süllyesztése, emelése, közelítése és részben a forgatása is. A ferde szemizmok fő hatása a forgatás, de ugyanakkor képesek a szemgolyót 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 középgagyban 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 szemgolyó, mint ízvápában mozog, és forgástengelye a szemgolyó belsejében, a saruhártya elülső pólusa mögött kb. 14 mm-re az optikai tengelyen van. A szemgolyók optikai tengelyének irányát nézővonalnak nevezzük, amit a szemmozgató izmok nyugalmi állapota és feszítettsége határoz meg. Távolra a nézővonalak, és így a szemek párhuzamosak, közelre nézőskor a nézővonalak a nézett pontban metszik egymást, a tekintet a nézett pontra irányul.



11. ábra. A szemmozgató izmok elhelyezkedése és tapadási helye a szemgolyón.¹¹

A szemhéjak (palpebrae)

A szemhéjak feladata a szemgolyó 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, szorosan 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 faggyúserű váladéka a szemhéj szélét vonja be. A pillaszőrök között módosult verejtékmirigyeket találunk (Moll-mirigyek). A pillaszőrök valódi faggyúmirigyeket Zeis-féle mirigyeknek nevezünk. 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 könnyhúsocska. A szemhéj belső oldalán szorosan a tarsushoz tapadva a kötőhártya (conjunctiva) helyezkedik el. A felső és az alsó áthajlásban a szemgolyót fedi és a szaruhártya körül a limbuson tapad. Így 3 részét különböztetjük meg: a szemhéjít, az áthajlásokat bélelőt, és a szemgolyót 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

¹¹ Dr. Vörösmarthy Dániel: A látszerészek könyve, 1981, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

sclerán vörösnek látszanak.

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-orrvetetőken keresztül az orrüregbe ürülnek.

2.1.2. A látás fiziológiája

A szembe érkező fénysugár (elektromágneses hullám) az átlátszó töröközegeken és a retina belső 9 rétegén áthaladva a csapok és pálcikák rétegében elnyelődik, és a fotoreceptorok kütagijában 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 többszörösen 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 keresztveződést alkot (chiasma opticum), majd újra szétválak, és a koponyaüreg 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 féltékéje 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 emlékek előhívásával és raktározásával, a tárgyak felismerésével, valamint egyéb látási funkciókkal kapcsolatosak. A rostok 20%-a, amelyik nem kapcsolódik át az ikertesteken megkerülő 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:

A retina sérülése az adott ponthoz tartozó látótér kiesését okozza (A).

A látóideg egyoldali teljes sérülése az adott szem teljes vakságát okozza (B).

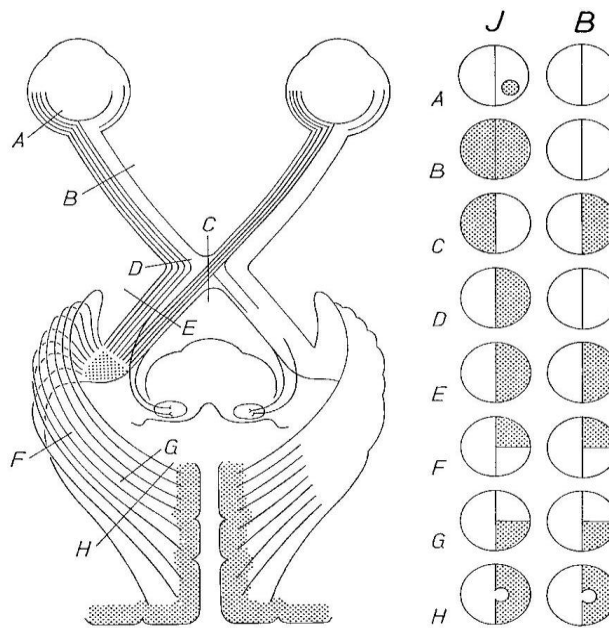
A chiasma opticum belső rostjainak sérülése mindkét szem halánték felőli látóterének kiesését okozza, mert a belső rostok a halánték felőli látótér impulzusait továbbítják (C).

A chiasma opticum külső rostjainak sérülése az érintett szem orr felőli látóterének kiesését okozza (D).

A chiasma opticum feletti egy oldali sérülés már mindkét szemet érinti a rostok korábbi kereszteződése miatt, de az egyik szem orr felőli, a másik szem halánték felőli látótérkiesés jelentkezik (E). Ha a sérülés még a 20 % leválása előtti területet érint, akkor az érintett szemben a pupillareakció sem váltható ki.

A látókisugárzás rostjai szétterjednek, ezért általában csak részlegesen sérülnek. Ilyenkor a sérülés helyétől függően az előzőhöz hasonló látótérkiesés jelentkezik, de csak a negyed látóteret érintve. (F, G).

A látókéregnél bekövetkező teljes mértékű sérülés hasonló látótérkiesés okoz, mint a chiasma opticum feletti teljes sérülés, azzal a különbséggel, hogy ilyenkor a pupillaműködés megtartott, illetve a centrális látás is ép, mivel az éleslátás helye a látókéregben kétoldali képvisellel rendelkezik. (H).



12. ábra. A látópálya és jellegzetes sérüléseinek helye és látótérkiesése.¹²

¹² Dr. Vörösmarthy Dániel: A látszerészek könyve, 1981, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

2.1.3 A legfontosabb szembetegségek

A szaruhártya betegségei

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 belenővesztésével próbálja kompenzálni a csökkent működést. Felszínes és mély ereződés különböztethető meg. Felszínes ereződés esetén a kötőhártya erei nőnek bele a szaruhártyába, ezek mindig követhetők a kötőhártya felől, és faágszerűen elágaznak. Mély ereződés esetén az erek a limbustól indulnak, egymással párhuzamosan futnak, és a szaruhártya mélyebb rétegeiben vörös területként látszanak. A szaruhártya gyulladásaira jellemző a fénykerülés, a könnyezés, valamint a fájdalom. Beszűrődéssel, 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 szemrészárazás, 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. Végső 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. Gyulladásá 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 szemben 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. Értújdonképződések 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 borúsága, 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 végső 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 szemben 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 érelváltozásokat, bevézéseket, 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 koponyaűri 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

Hályogról beszélünk, amikor az egyébként átlátszó szemlencse elveszti átlátszóságát és elsűrűköl. Ez jelentkezhet a kéregben, a magban, vagy a tokban. Lehet veleszületett, vagy szerzett. Lehet állandó vagy progrediáló. 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 elsűrűkölt lencsét eltávolítják, és a helyére egy műanyag szemlencsét 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 áttérjedő betegségek. A fejlődési rendellenességek esetén membránok és fehérje szerkezetek rontják a látást. A korrall az üvegtest helyenként elfolyósodik, és összecsapódott fehérjészálak 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 éréjdonképződést 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 koponyaalapú törés, gyulladás, vagy agyúri vérzés, gyermekbénulás, 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 kisgyermeki betegségekre, 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, koponyaalapú 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 szerzetek, 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 belszervi 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. A könnytömlő daganatos megbetegedése nagyon ritka.

A szemgödör betegségei

A szemgödör betegségei az agy közelsége miatt igen súlyosnak tekinthetők. A szemüreg tartalmát megnövelheti gyulladás, pangás, vér, genny, idegentest, levegő, daganat, és endokrin betegség. A szemgolyó egyik esetben sem a megszokott módon helyezkedik el a szemüregben (kidülled, besüpped, elfordul), illetve jellemző tünet még a mozgáskorlátozottság. A szemgolyó a betegséget kiváltó göccel ellentétes irányba tolik el. Elváltozást okozhat a szemgödörben futó vénák tágulata, amely szintén nyomja a szemgolyót, és kidülledést okoz. Exophthalmus látható még különböző fejlődési zavarok esetén, illetve orrmelléküregi gyulladás kapcsán. A szemgödör betegségét okozhatja még sérülés, általánosan fertőző betegség is. Daganatai lehetnek jó- és rosszindulatú daganatok. Szemkidülledést okoz még a pajzsmirigy túlműködés (Basedow-kór) is. A szemgödör betegségeire jellemző a szemgolyó eltolása valamely irányba, amely a konvergenciát nehezíti, és akár kettős képet is okozhat. A szemgolyó előre dülledése akadályozhatja a szemrés zárását, ami a szaruhártya kiszáradásához vezethet. A szemgödör csontjainak és csonthártyájának gyulladása ritka betegség. A szemgödör 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 optika

Az emberi látás folyamatában két szorosan egymáshoz kapcsolódó anatómiai egység vesz részt. Az optikai képalkotás 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 képalkotó eszközzel foglalkozik, és az optikai törvényszerűségek felhasználásával határozza meg annak jellemzőit, és a képalkotásra 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 fénysugár a levegőből érkezve egymás után áthalad a könnyfilmen, a szaruhártyán, a csarnokvízen, a szemlencsén, az üvegtesten és a retina belső 8 rétegén, és ezután éri el a fényérző idegvégződéseket, a csapokat és pálcikákat. A képalkotás meghatározása szempontjából a szaruhártya, a csarnokvíz, a szemlencse, az üvegtest tekinthető töröközegnek, 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 kéttagú lencserendszer, melyet a szaruhártya és a szemlencse alkot. Mivel a szemlencse egyik fontos feladata az alakváltoztatásán keresztül a különböző tárgyávolságokhoz 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 kéttagú lencserendszer optikai hatását.

2.2.1. Az emberi szem optikai jellemzői

A szaruhártya optikai jellemzői

A szaruhártya az ínhártyából kiindulva domborodik előre, és a szem hátsó, külső burkához képest egy erősebb görbülettel, azaz kisebb görbületi sugárral rendelkezik, és ez az erős görbület adja jelentős optikai hatását. Elülső felszíne a levegővel, hátsó felszíne pedig a csarnokvízzel érintkezik, amely jelentősen csökkenti a hátsó felszín optikai hatását. A szaruhártya átlátszóságát felépítése adja. Sejtjei szabályos szerkezetűek, belsejüket főleg folyadékfázis 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, mind pedig a hátsó felszínen. Ennek megfelelően a szaruhártyát szférikus lencsének tekintjük, melynek elülső felülete domború, míg hátsó felülete homorú. Geometriailag egy konvex-konkáv lencséhez hasonlít, amely levegőben szóró hatású lenne, azonban a csarnokvíz törésmutatója miatt a hátsó felület optikai hatása jelentősen lecsökken, és végeredményben erős gyűjtő hatásúvá válik a szaruhártya. Annak ellenére, hogy a következő jelenség nem befolyásolja jelentős mértékben a szaruhártya optikai hatását, fontos megjegyezni, hogy a valóságban a szaruhártya nem teljesen gömb formájú. Függőleges síkban főleg a szemhéjak szorító hatása miatt a szaruhártya erősebben görbült, ezért törőereje is erősebb. Összességében a szaruhártya alakja tórikus, így a leképzése is asztigmatikus. A vízszintes és a függőleges síkok között 0,5 – 0,75 dioptria nagyságú törőerő különbség jön létre, melyet fiziológiás asztigmatiának nevezünk. Most nézzük a vízszintes síkban alkalmazott adatokat.

| 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 |

2.1. táblázat. A szaruhártya adatai vízszintes síkban.

A megadott adatokkal kiszámítható a szaruhártya optikai hatása. A felületi dioptriák és az össztörőerő nagysága (ne felejtsük el, hogy a törőerő számításához méterben kell behelyettesíteni az adatokat):

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

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

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

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 mindig is a szemlencse okozta 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. A legnagyobb optikai bizonytalanságot az anyagszerkezete jelenti. A felnőttkori szemlencse szerkezetét vizsgálva hat diszkontinuitási zóna különböztethető meg, melyek nemcsak anatómiailag, hanem optikailag is eltérőek. Ráadásul az első öt zónán a centrális rész után még egyszer áthalad a fény, ezáltal összesen 11 különböző zónán törik meg a fénysugár. Az egyszerűsítés érdekében össze szoktuk vonni a diszkontinuitási zónákat, és három részre bontjuk fel a szemlencsét: lencsetokra, kéregállományra és lencsemagra. Optikai szempontból a lencsemag a sűrűbb közeg, a kéregállomány valamivel ritkább, azonban mindkettő sűrűbb a szem összes többi alkotójánál. A számítások megkönnyítése érdekében egy átlagos törésmutató értékkel számolunk majd, mely a kerekítés miatt kisebb számítási hibát okozhat.

A szemlencse mindkét felülete domború, vagyis egy bikonvex lencsével állunk szemben. Alkalmazkodásmentes esetben a szemlencse első felszínének görbülete kisebb, mint a hátsó felületé, vagyis a görbületi sugara hosszabb. Ennek következtében aszimmetrikus módon vesznek részt a képalkotásban, hátsó felületük nagyobb törőerővel rendelkezik, mint az első.

| Megnevezés | Jelölés | Érték |
|------------------------------------|----------|--------|
| Első felszín görbületi sugara | r_{1l} | 10 mm |
| Hátsó felszín görbületi sugara | r_{2l} | 6 mm |
| Optikai tengelyen mért vastagság | e_l | 3,6 mm |
| A szemlencse átlagos törésmutatója | n_l | 1,415 |
| A csarnokvíz törésmutatója | n_{cs} | 1,336 |
| Az üvegtest törésmutatója | $n_{ü}$ | 1,338 |

2.2. táblázat. A szemlencse adatai alkalmazkodásmentes esetben.

A megadott adatokkal a felületi dioptriák és az össztörőerő nagysága:

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

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

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

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 erősebb fénytörést biztosít, mivel erősebben görbült. Fősíkjai a lencsén belül helyezkednek el, és a hátsó felület erősebb törőereje miatt aszimmetrikusan, a hátsó felülethez közelebb helyezkednek el.

A szemlencse optikai jellemzői maximális alkalmazkodás esetén

Az alkalmazkodás anatómiai folyamata jelentősen befolyásolja a szemlencse optikai hatását, de végeredményben ez a célja, mert ezen keresztül növeli meg a szem törőerejét alkalmazkodva a közeli tárgy távolságokhoz. A zonula rostok meglazulásakor összeugrik a szemlencse a rugalmasságának következtében, és egy erősebben görbült formát vesz fel. Ez csökkenti a görbületi sugarak nagyságát, azonban megnöveli az optikai tengelyen mért vastagságot, illetve a szemlencse eltérő sűrűségű zónáinak aránya megváltozik, amin keresztül az átlagos törésmutató értéke is változni fog.

| 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 | $n_{\bar{u}}$ | 1,338 |

2.3. táblázat. A szemlencse adatai maximális alkalmazkodás esetén.

A megadott adatokkal a felületi dioptriák és az össztörőerő nagysága:

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

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

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

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. Fontos megjegyezni, hogy a szemlencse törőerejének növekedése nem teljes mértékben érvényesül a kéttagú lencserendszer törőerő változása esetén, mert a szaruhártya arányaiban lényegesen nagyobb törőereje nem változik meg az alkalmazkodás folyamán.

A szem együttes optikai hatása alkalmazkodásmentes esetben

A lencserendszereknél ismertetett 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 6,28 mm. Az adat ismeretében a szem össztörőereje alkalmazkodásmentes esetben:

$$\begin{aligned} D &= D_{sz} + D_1 - e/n_{cs} \cdot D_{sz} \cdot D_1 = \\ &= 43,05 + 20,53 - 0,00628 \text{ m} / 1,336 \cdot 43,05 \cdot 20,53 = + \mathbf{59,43} \approx + \mathbf{60} \end{aligned}$$

Összefoglalásképpen az alkalmazkodásmentes szem össztörőereje kb. 60 dioptria, fősíkjai az elülső csarnokban helyezkednek el a pupilla környezetében. A két fősík között 0,1 mm távolság van, és a szaruhártya első felszínétől 1,57 mm illetve 1,67 mm távolságra helyezkednek el. Az említett adatokon kívül 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):

$$f_1 = -n_0 / D = -1 / 59,43 = -\mathbf{16,83} \text{ mm}$$

$$f_2 = n_u / D = 1,338 / 59,43 = \mathbf{22,51} \text{ mm}$$

Figyelembe véve a fősíkok helyét a fókuszpontokról elmondható, hogy 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 együttes optikai hatása maximális alkalmazkodás esetén

Mivel a maximális alkalmazkodás állapotának felvételekor a szemlencse vastagsága növekszik, azáltal a csarnok mélysége csökkenni fog (3,2 mm-re). A szemlencse fősíkjainak megváltozik az elhelyezkedése, ezért a két lencsetag távolsága 5,65 mm-re változik. A szem össztörőereje:

$$\begin{aligned} D &= D_{sz} + D_1 - e/n_{cs} \cdot D_{sz} \cdot D_1 = \\ &= 43,05 + 33 - 0,00565 \text{ m} / 1,336 \cdot 43,05 \cdot 33 = + \mathbf{70,05} \approx + \mathbf{70} \end{aligned}$$

Összefoglalásképpen a maximálisan alkalmazkodott szem össztörőereje kb. 70 dioptria, fősíkjai az elülső csarnokban helyezkednek el a pupilla környezetében. A két fősík között 0,18 mm távolság van, és a szaruhártya első felszínétől 1,94 mm illetve 2,12 mm távolságra helyezkednek el. Az alkalmazkodás következtében nem csak a törőerő változik meg, hanem a fősíkok helyzete is, melyek hátrafelé, a szem belseje felé tolnak el. A szem első és hátsó fókuszpontjának az elhelyezkedése:

$$f_1 = -n_0 / D = -1 / 70,05 = -\mathbf{14,28} \text{ mm}$$

$$f_2 = n_u / D = 1,338 / 70,05 = \mathbf{19,10} \text{ mm}$$

A fókuszpontokkal kapcsolatban elmondható, hogy figyelembe véve a fősíkok helyét a

szem elülső fókuszpontja most 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 segítségével a retina elé került, vagyis a szem fénnytörése a miópia irányába tolódott el. Ez a törvényszerűség általánosan is kimondható: **az alkalmazkodás a miópia irányába tolja el a szem fénnytörését**. Ez nem okoz problémát, ugyanis az alkalmazkodás célja a közeli tárgyak éles leképzése, és a miópia pontosan ezt teszi lehetővé, vagyis a miópiázalódás egyben a megoldás is a közeli tárgyak éles leképzésére.

2.2.2. A szem alkalmazkodóképessége és konvergenciája

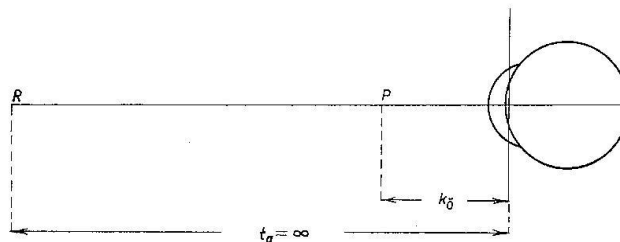
Az emberi szem különböző távolságokhoz történő alkalmazkodása, vagy más néven akkomodálása a sugárizom működésén keresztül valósul meg. Nyugalmi állapotban, vagyis amikor a sugárizom nem fejt ki izommunkát, azaz ernyedtt állapotban van, a zonula rostok megfeszülnek. A teljesen kifeszített zonula rostok a szemlencsét feszes állapotban tartják, és ebben az esetben 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, és ilyenkor a szem a „távolba” tekint. Ezt neveztük az előbbi fejezetben alkalmazkodásmentes állapotnak.

Amikor a sugárizom megfeszül, akkor a zonula rostok elernyednek, és a szemlencse a rugalmassága következtében összeegrik, és egy görbültebb alakot vesz fel. A görbültebb alak a szemlencse törőerejének növekedését okozza, ami miatt a szem össztörőereje is növekszik. Ilyen esetben a szem a „közelbe” tekint, a közelebbi tárgyakat képzi 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. Az érték megegyezik a legnagyobb össztörőerő érték és a legkisebb össztörőerő érték különbségével. Az akkomodációs szélességet dioptriában adjuk meg. Képletszerűen megadva:

$$D_{acc} = D_{max} - D_{min} = D_{max. alk.} - D_{alk. mentes}$$

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.



13. ábra. A távolpont és a közelpont elhelyezkedése emmetrópiás szem esetén.¹³

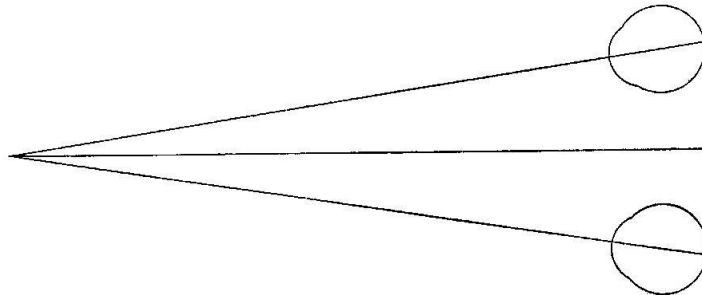
A 13. ábrán a távolpont jele „R”, ami a Punctum remotum, illetve a közelpont jele „P”, ami a Punctum proximum latin kifejezésekből adódik. Emellett t_a -val jelöli a távolpont

¹³ Dr. Vörösmarthy Dániel: A szem optikája, 1974, Budapest, Medicina Könyvkiadó

szem fókuszjától mért távolságát, és k_0 -vel a közelpont távolságát. Az emberi szem a távolpontja és a közelpontja között képes alkalmazkodni, ezek között képes csak a tárgyakat élesen látni.

Az életkor előrehaladtával a szemlencse rugalmassága folyamatosan csökken, melynek következtében egyre kevésbé képes az alakváltozásra. A jelenség oka a lencse mag egyre nagyobbá válása, mely rugalmatlan szerkezetűvé válik, és nem képes az alakváltoztatásra. A folyamat következtében a maximális össztörőerő nagysága az életkor előrehaladtával fokozatosan csökken, ami miatt csökken az egyén akkomodációs szélessége, és távolodik a szemtől a közelpont helye. Ez egy fiziológiás folyamat, amely minden embernél lejátszódik. A közelpont távolodása 40-45 éves kor körül kezd észrevehetővé válni, amikor is a közelpontunk meghaladja azt a távolságot, amelyet például olvasáskor megszoktunk. Ettől a pillanattól kezdve válik érzékelhetővé az alkalmazkodási képesség csökkenése. Ezt az állapotot *presbiópiának* nevezzük.

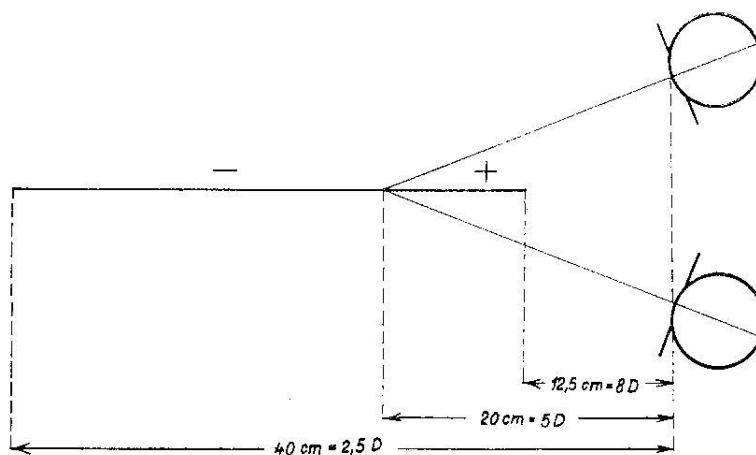
Amennyiben mindkét szem egészségesen működik, akkor az alkalmazkodás folyamata egymással párhuzamosan játszódik le a két szemben. Abban az esetben, ha két szem a távolba néz, akkor a két nézési iránynak egymással párhuzamosnak kell lennie. Közeleli tárgyak nézésekor azonban a két szem nézővonala már nem lehet egymással párhuzamos, hanem az adott tárgy távolságának megfelelően össze kell térnie. Ezt a folyamatot idegen szóval *konvergenciának* nevezzük. A konvergencia szó a két szem nézővonalának összetartását jelenti. Az alkalmazkodás és a konvergencia egymáshoz kötött folyamat. A konvergencia meghatározásánál az akkomodációs szintre jellemző kifejezést kapunk, ami alapján kimondható az a szabály, hogy *ahány dioptriát alkalmazkodunk, annyi méterszöget konvergálunk*.



14. ábra. A szem konvergenciája közeli tárgypontra esetén.¹⁴

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. Abban az esetben, ha a tárgyat közelítjük a szemhez, vagyis növeljük az alkalmazkodás mértékét, de ezzel párhuzamosan még nem növekszik a konvergencia szöge, akkor az össztörőerő változás előjele miatt pozitív relatív alkalmazkodásról beszélünk, és ennek maximális értékét *pozitív relatív akkomodációs szélességnek* nevezzük. Abban az esetben, ha a tárgyat távolítjuk a szemtől, vagyis csökkentjük az alkalmazkodás mértékét, de ezzel párhuzamosan még nem csökken a konvergencia szöge, akkor a változás előjele miatt negatív relatív alkalmazkodásról beszélünk, és ennek maximális értékét *negatív relatív akkomodációs szélességnek* nevezzük.

¹⁴ Dr. Vörösmarthy Dániel: A látszerészek könyve, 1981, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó



15. ábra. A relatív akkomodációs szélesség.¹⁵

A 15. ábrán látható kép magyarázata a következő. Az adott esetben a páciens 20 cm-re fixál, ami a végtelenhez képes 5 dioptria akkomodációs igényt jelent. Ha egy tárgy ennél közelebb van (pozitív relatív irány), akkor egészen 12,5 cm-ig, azaz 8 dioptriás akkomodációs igényig nem vonja magával az akkomodáció növekedése a konvergenciát. A pozitív relatív akkomodációs szélesség a két érték közötti 3 dioptria. Ha egy tárgy ennél távolabb van (negatív relatív irány), akkor egészen 40 cm-ig, azaz 2,5 dioptriás akkomodációs igényig nem vonja magával az akkomodáció csökkenése a konvergenciát. A negatív relatív akkomodációs szélesség a két érték közötti 2,5 dioptria.

2.2.3. Az emberi szem felbontóképessége, és a látóélesség fogalma

A felbontóképesség egy fizikai fogalom, mely megmutatja, hogy egy optikai eszköz milyen minőségű képet képes élesen leképezni. A felbontóképesség nagyságát két tényező befolyásolja: egyrészt a képalkotó optikai rendszer képalkotó képessége, másrészt pedig a képet felfogó „ernyő” viszonya a keletkező képpontokhoz. Az optikai eszköz akkor megfelelő, ha a két tényező összhangban van egymással. Az emberi szem esetén ezt a szem optikai rendszere és a retina anatómiája határozza meg.

A geometriai optikában egy tárgy pont képe egyetlen képpont. A valóságban a fény hullámtermészete miatt ez nem áll fent. Minden képalkotás során hullámtani okok miatt megvalósul a fényelhajlás jelensége, ami miatt a kép nem egy pont lesz, hanem egy ún. *elhajlási korong*. Ugyanez a helyzet két tárgy pont esetén is, vagyis ilyenkor két elhajlási korong keletkezik. A tárgy pontokat különállónak látjuk, amennyiben az elhajlási korongok nem érnek össze. Az optikai rendszer *felbontóképességének* nevezzük azt a határértéket, amikor is a keletkező elhajlási korongok még éppen nem érnek össze, és a tárgy pontokat még éppen elkülönülten látjuk. Az emberi szem esetén a felbontóképességet látószögben adjuk meg, képlettel kifejezve:

$$\sin \alpha = 1,22 \cdot \lambda / d$$

ahol „ α ” a még éppen különállónak látszó tárgy pontok látószöge, „ λ ” a szembe jutó fény hullámhossza, „ d ” a pupilla átmérője. Az átlagos felbontóképesség meghatározásához a

¹⁵ 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 távolságot jelent.

A szem leképzése szempontjából nemcsak az optikai felbontóképesség a mérvadó, hanem az is, hogy ehhez milyen anatómiai háttér társul. Anatómiailag a retina centrumában történik az éles kép felfogása és feldolgoása. A retina centrumában átlagosan 150.000 csap található mm^2 -ként, vagyis a csapok átmérője kb. $2,5 \mu\text{m}$. Válasszuk ki képpont távolságként két csap átmérőjét a felbontóképesség meghatározásához, ami azt jelenti, hogy a két szomszédos képpont 1-1 csap közepére esik, és a két ingerelt csap között található egy kevésbé ingerelt csap. Ebben az esetben az elhajlási korong átmérője $5 \mu\text{m}$. Fontos feltétel még, hogy a centrális terület minden egyes csapja külön-külön kapcsolódik az idegrendszerhez, nincs összekapcsolódás az egyes csapok között. Az elhajlási korong méretéből visszafelé haladva:

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

amiből visszakereshető a keresett látószög értéke:

$$\alpha = 1'.$$

A kapott érték megfelel az optikailag meghatározott felbontóképesség szempontjából 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 viszonyyszámmal határozzuk meg. A viszonyszám azt mutatja meg, hogy egy adott egyén felbontóképessége hogyan aránylik az ép szem felbontóképességéhez, illetve 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 %. Abban az esetben, ha az említett látószög minimális értéke $1'$ -nél nagyobb, akkor az illető látóélessége 1,0-nél illetve 100 %-nál kisebb. Abban az esetben, ha az említett látószög minimális értéke $1'$ -nél kisebb, akkor az illető vízusa 1,0-nél illetve 100 %-nál nagyobb.

Mivel a látás minősége a csapok méretétől és sűrűségétől függ, ezért az emberi szem csak a centrális tartományban képes a jó minőségű kép leképzésére, csak itt megfelelő a látóélesség a tárgylátáshoz. A perifériás területeken (egyre kevesebb a csap és egyre több a pálcika, illetve több idegvégződés kapcsolódik egymáshoz az idegrendszer felé vezető úton) a romló képmínőség csökkenti a tárgylátás képességét, és perifériás látásunk leginkább 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. 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 Kettessy-féle vízustábla.

2.2.4. A binokuláris látás

A binokuláris látás, vagy térlátás, mint fogalom, azt jelenti, hogy nemcsak látjuk 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. A különböző irányú nézéshez már két szemre van szükség, azaz jobb szemmel a tárgyat kicsit jobbról, míg bal szemmel kicsit balról tekintjük meg. 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 távolságát. Ez egy tanult folyamat, azaz az embernek a tapasztalatai alapján fel kell tudni dolgozni az apró eltéréseket, és értelmezni kell tudni az érzékelt különbségeket.

A térérzékelés alapja a két megfelelően működő szem megléte. Ennek anatómiai és működési feltételei: mindkét szemben az ép és átlátszó törőközegek 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 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 aniseikónia akadályozza a térérzékelés helyes működését.

A két szemfenéken kialakuló kép által létrejövő ingerek az idegrendszer megfelelő helyein váltják ki a tényleges érzékelést. A térérzékelés feltételeinek vizsgálatát most már a magasabb idegi szinteken kell meghatároznunk. A térlátásnak három szintje van: a szimultán percepció, a fúzió, és a sztereo látás, amely végső soron a térérzékelést jelenti. *Szimultán percepciónak* nevezzük a két szem egyidejű érzékelését. Ehhez szükség van arra, hogy a két szemben kiváltott inger mindkét oldalról eljusson az agy megfelelő területeire, és ott egy időben kiváltsák a megfelelő érzetet. Ennek anatómiai feltétele a látópályák sértetlensége, míg funkcionális feltétele a látópályák megfelelő működése. Ebben az esetben a két szemből jövő képi információ a megfelelő agyi területeken egyesülhet majd egymással.

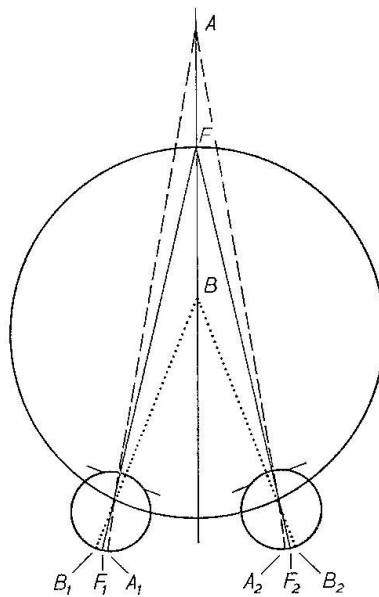
*Fúzió*nak nevezzük azt a folyamatot, amikor az egy időben érzékelt két képet összeolvasztjuk egyetlen képpé az idegrendszerben. A fúzió folyamatának érdekessége, hogy az emberi agy kétféle képpárt képes összeolvasztani: egyrészt azokat, amelyek csak egészen minimális különbségekkel rendelkeznek, másrészt 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 ilyen minimális eltéréseket az agy fuzionálja, és végső soron a tárgyat a maga térbeli valóságában érzékeljük. Az egymástól teljesen eltérő tárgyak fuzionálásának képességét a binokuláris látásvizsgálatok során használhatjuk ki, amikor is mesterségesen megbontott tárgyak képével teszteljük a páciens binokuláris látását.

Sztereo látásnak, vagy *térérzékelésnek* nevezzük azt a folyamatot, amikor a fuzionált

képek hatására agyunkban 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 távolságát, 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. Az identikus pontokra eső képpontok egymásnak megfelelő ingert váltanak ki az agyban. 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* nevezzük. Az idegrendszer bizonyos határok között képes a diszparát helyeken képződő képpontok egybeolvasztására is. Az agynak azt a területét, amelyen belül elhelyezkedő diszparát helyek ingereinek vetületét még egybe tudja olvasztani az idegrendszer *Panum-mezőnek* nevezzük. A Panum-mező azon csapok agyi vetületének összessége, melyek egyidejű ingerlése esetén is kialakulhat a megfelelő binokuláris látás.

Egy adott fixált ponthoz képest az identikus pontok tárgyteri vetülete egy körhöz közelítő íven helyezkedik el, amelyet *horopternek* nevezzük. Összefoglalva a horopter működését: az F tárgyponthoz fixálása mellett figyeljük a többi tárgyponthoz képest eltolódását a fixált pont retinális képéhez képest. Ha a másik tárgyponthoz (B) kiinduló fénysugarak bitemporális irányban (mindkettő halánték felé) tolnak el a retinán, akkor a tárgyponthoz a horopteren belül van, azaz B pont közelebb van hozzánk, mint F. Ha a másik tárgyponthoz (A) kiinduló fénysugarak binazális irányban (mindkettő orr irányába) tolnak el a retinán, akkor a tárgyponthoz a horopteren kívül van, azaz A pont messzebb van tőlünk, mint F.



16. ábra. A horopteren lévő, illetve az annál messzebb és az annál közelebb lévő tárgyponthoz leképzése.¹⁶

¹⁶ Dr. Vörösmarthy Dániel: A látszerészek könyve, 1981, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

2.2.5. 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 káprázunk, majd szép lassan hozzászokunk ehhez. Fordítva is igaz ez a folyamat, amikor világos helyről sötétebb helyre lépünk be, akkor egy darabig semmit sem látunk, majd idővel alkalmazkodunk a kevesebb fényhez. Gyenge fényviszonyok között a pálcikák érzékelik a szembe érkező fényt, természetes nappali fény esetén a csapok működése kerül előtérbe, míg átmeneti fényviszonyok esetén a csapok és pálcikák együttes működése határozza meg a látási folyamatot.

Gyenge fényviszonyok között ún. skotópikus 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 enzimatis 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 ún. 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.

2.2.6. 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. Az optikai rendszer leírásakor 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 szem korrekciója szempontjából is. Az *ametropia foka* 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 fókuszjának távolságából számítható az üvegtest törésmutatójának figyelembevételével. A képlet matematikailag írja 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 azonos abszolút értékű, vagyis azonos nagyságú. 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, mely itt következnek egymás után felsorolva.

1. Emmetrópiásnak nevezük az olyan fénytörésű szemet, amelynél alkalmazkodásmentes esetben az ametrópia 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.

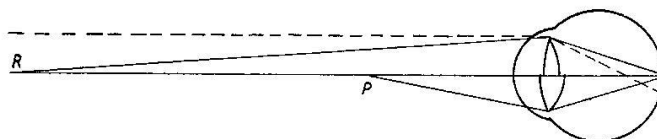
A 13. ábrának megfelelően az emmetrópiás szem távolpontja a végtelenben van, mivel alkalmazkodásmentes esetben ez a távolság képződik le élesen a retinára. Közelpontja pedig az akkomodációs szélességnek megfelelő véges távolságban. Abban az esetben, ha a távolpont a végtelenben van, akkor a közelpont 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.

A miópiás szem

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

$$A = D - B > 0$$

A miópia 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, és az ametrópia növekedésével párhuzamosan egyre közelebb kerül a szemhez. Ezért nevezik „közellátásnak” is. Közelpontja is közelebb van a szemhez, mint az emmetrópiás szemé. 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 rosszul lát, látóélessége távolra gyenge.



17. ábra. A miópiás szem távolpontja és közelpontja.¹⁷

Oka lehet a törőerő túlzott nagysága (törési miópia), vagy pedig a szem túlzott mérete (tengelyi miópia). 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

¹⁷ Dr. Vörösmarthy Dániel: A szem optikája, 1974, Budapest, Medicina Könyvkiadó

miópia). Fontos megjegyezni, hogy az akkomodatív miópia nem valódi miópia, 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 (progresszív miópia).

A hipermetrópiás szem

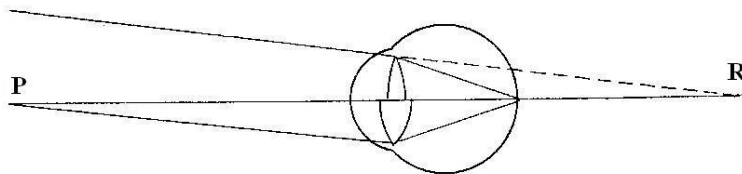
Hipermetrópiásnak nevezzük azt a fénytörést, amikor alkalmazkodásmentes esetben a szem össztörőereje kisebb, mint ami a szem méretéből következne ($D < B$). Vagyis:

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

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 megfelelő fókuszálására, ezért a szem elméletileg csak összetartó fénysugarakat tud a retinára „összegyűjteni”. Ezért a hipermetrópiás szemnek virtuális távolpontja van a szem mögött. Azonban az akkomodáció igénybevételével növelheti a szem törőerejét, így korrigálhatja saját hibáját is. Ennek megfelelően, ha az alkalmazkodása lehetővé teszi, akkor akkomodatív állapotban jól láthat távolra, a távoli látóessége azonos lehet az emmetrópiás szemmel. Ezért nevezik „távollátásnak” is.

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 gyermekkorban kell definiálni, amikor még az akkomodációs szélesség jelentős. Az igénybevett távoli akkomodáció és az ehhez társuló – vagy nem társuló távoli konvergencia alapján három csoportot különböztetünk meg.

Fakultatív hipermetrópiáról beszélünk, ha az ametrópia fokának abszolút értéke kisebb, mint a pozitív relatív akkomodációs szélesség. Ebben az esetben távolba nézéskor akkomodálni fog a gyerek, de ehhez nem társul még a konvergencia, ezért távolra megfelelően lát, és képes a jó binokuláris látásra. Közelpontja valódi lesz, mivel gyermekkorban még elegendő alkalmazkodással rendelkezik, azonban ez távolabb lesz a szentől, mint az emmetrópiás szemé. 25-30 éves koráig távolra és közelre is jól lát, először közeli látászavarai lesznek majd.

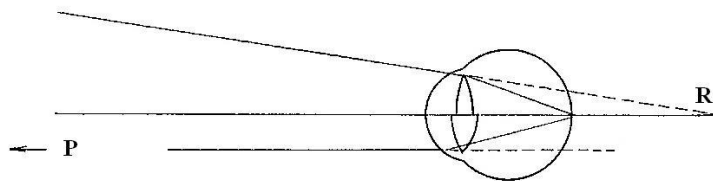


18. ábra. A fakultatív hipermetrópiás szem távolpontja és közelpontja.¹⁸

Relatív hipermetrópiáról beszélünk, ha az ametrópia fokának abszolút értéke nagyobb, mint a pozitív relatív akkomodációs szélesség, azonban kisebb, mint a teljes

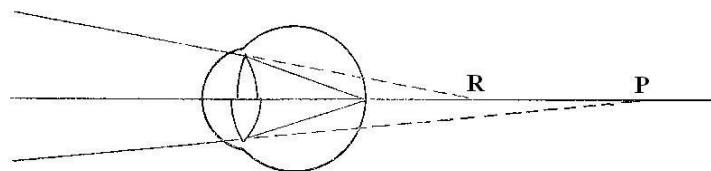
¹⁸ Dr. Vörösmarthy Dániel: A szem optikája, 1974, Budapest, Medicina Könyvkiadó

akkomodációs szélesség. A pozitív relatív akkomodációs szélesség általában 3 dioptria, az 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. Ez 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, *ambliopiássá* válik. Ez a folyamat a gyerekkor elején lejátsszódik, így korrigálását a lehető leghamarabb meg kell oldani. Mivel a helyes binokuláris látásnak általában 3-4 éves korra ki kell alakulnia, ezért már előtte célszerű megkezdeni a korrigálást. A relatív hipermetrópiás páciens távolpontja virtuális, közelpontja valódi, azonban az ametrópia nagyságával párhuzamosan egyre messzebb kerül a szemtől, így sokkal hamarabb, akár már gyerekkorban is a közeli látás akadályoztatva lesz.



19. ábra. A relatív hipermetrópiás szem távolpontja és közelpontja.¹⁹

Abszolút hipermetrópiáról beszélünk, ha az ametrópia fokának abszolút értéke nagyobb, mint az akkomodációs szélesség. Az akkomodációs szélesség 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. Távolpontja és közelpontja is virtuális.



20. ábra. Az abszolút hipermetrópiás szem távolpontja és közelpontja.²⁰

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

Az asztigmias szem

Az asztigmia, vagy más néven asztigmatizmus az Optikai alapismeretek című fejezetben

¹⁹ Dr. Vörösmarthy Dániel: A szem optikája, 1974, Budapest, Medicina Könyvkiadó

²⁰ Dr. Vörösmarthy Dániel: A szem optikája, 1974, Budapest, Medicina Könyvkiadó

tárgyalt módon kétféle jelentést hordoz magában. Egyrésztől egy az optikai tengelytől távol lévő tárgy pont képalkotása során valósul meg, míg másrésztől olyan optikai testek esetén történik meg, amikor az egyes síkokban eltérő nagyságú görbületi sugarak vannak. Mint láttuk a szaruhártya a legtöbb ember esetén fiziológiásan sem gömb alakú, hanem a függőleges síkban enyhén összenyomott formát vesz fel, a felülete tórikus. Jelen fejezetben a szemnek ezt az állapotát értjük majd az asztigmia alatt.

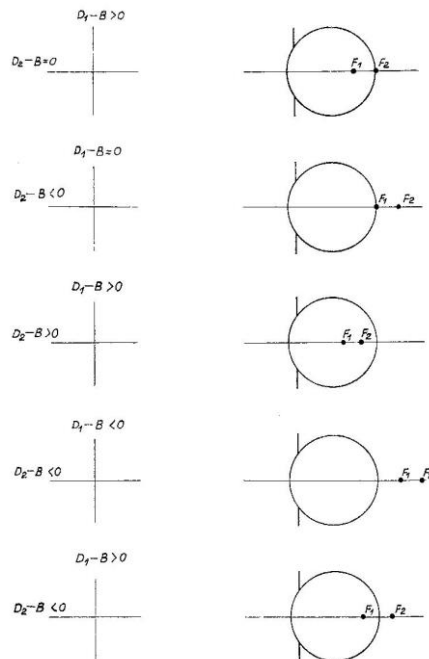
A legnagyobb görbületi sugarat tartalmazó síkot meridionális síknak nevezzük a leképzési hibáknál említett definíciónak megfelelően, míg a legrövidebb a görbületi sugarat tartalmazó síkot szagittális síknak nevezzük. A két síkban az eltérő görbületi sugarak eltérő törőerő értéket eredményeznek, így a képalkotásuk is eltérő lesz. Mivel a görbületi sugár 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 tórikus felület, vagyis az asztigmias szem által létrehozott kép formája a leképzési hibáknál tárgyaltaknak megfelelően a *Sturm-féle konoid*.

Az asztigmatizmust két alapsoportba osztjuk fel a meridionális és a szagittális síkok száma és helyzet alapján. Ha 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 asztigmia általában nem természetes úton keletkezik, kialakulása valamilyen szembetegséghez, illetve valamilyen szemsérüléshez köthető, és nem korrigálható szemüveglencsével.

A reguláris asztigmian belül egy másik fajta csoportosítás a tengelyállás szerinti. Ha az asztigmia irányai megfelelnek a fiziológiás asztigmia irányának, vagyis az asztigmia tengelyei vízszintesen és függőlegesen állnak, és emellett a függőleges síkban erősebb a törőerő, akkor az ilyen típusú asztigmatizmat *direkt asztigmatizmnak* nevezzük. Amennyiben a vízszintes síkban az erősebb a törőerő, akkor *indirekt asztigmatizmról* beszélünk. Ha a tengelyek nem a vízszintes és a függőleges 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 esetben (emmetrópia, miópia, vagy hipermetrópia) kell visszavezetni. Korrigálását is – mely a látszerészek esetén a reguláris asztigmia eseteire vonatkozik – a két fő meridiánnak megfelelően kell

elvégezni tórikus lencsével.



21. ábra. Az asztigmia különböző típusai a fókuszpontok elhelyezkedése szerint.²¹

A presbiópiás szem

A presbiópia, vagy régebbi nevén „öregszeműség” alapvetően nem tartozik az ametrópiák közé, mert az akkomodációs képesség csökkenése okozza, melynek nincs hatása a páciens távoli látására. Az életkor előrehaladtával a szemlencse rugalmassága csökken, és egyre kevésbé tudja az alakját változtatni a sugárizom megfeszülésekor. Ez már gyerekkorban elkezdődik, azonban általában csak 40-45 éves korban válik észrevehetővé. Az akkomodációs szélesség csökkenése miatt a közelpont egyre távolabb kerül a szemtől. Akkor tekintjük a pácienset presbiópiásnak, ha a megszokott munka-, vagy olvasótávolságát meghaladja a közelpont. Kezdetben a tárgy távolabb tartásával védekezik a páciensek legnagyobb része, azonban ez is kevés lesz idővel. Ilyenkor a páciens közeli korrekcióra szorul. A közeli korrekció megoldható külön olvasószemüveggel, bifokális lencsével, progresszív lencsével, 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 40 éves kor előtt jelentkeznek már a közeli problémák, azonban ez nem jelent presbiópiát, mert a panasz a távoli korrekcióval időlegesen megszűnik. Korrigálatlan miópia esetén pedig sokkal később jelentkezhet, mivel a páciens jól lát közelre, és korrigálatlan esetben a közelpontja 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.

²¹ Dr. Vörösmarthy Dániel: A szem optikája, 1974, Budapest, Medicina Könyvkiadó

3. Optikai és finommechanikai 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 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 esetén a leképzés 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 figyelembe vétele, 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” leképzés az asztigmatizmustól mentes, pontszerű 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 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 a legolcsóbb 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 figyelembe vételével a mostani rész főleg az egyes fogalmak tisztázására és a legfontosabb eltérések kiemelésére szorítkozik.

Az üveg alapanyagok jellemzően SiO_2 -ből készülnek, mely minden üvegtermék legfontosabb alapanyaga. Az alapanyag gyártása során alkalmazott segédanyagok mellett

különböző adalékanyagokkal (főleg fémekkel és fémoxidokkal) 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 fémoxidokról van szó – megnövelik az alapanyag *anyagsűrűségét*, és ezen keresztül a lencse súlyát is.

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 molekulaszúlyától 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 szemüveglencsét 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 törik 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. 1,6; 1,67; 1,74 alapanyagok), vagy pedig egyes speciális tulajdonságai emelik az alapanyagok közé (pl. a törésekkel szembeni jó ellenállás, mint a polikarbonát vagy a Trivex esetén). 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 molekulaszúly 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 betű 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 miopia 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 „törhetetlennek” 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 látszerészeti 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 hőlégfűvőt alkalmazni, mellyel egyrésztől könnyebben lehet szabályozni a hőmérsékletet, másrészt pedig irányítani is lehet a levegő irányát pl. szűkítővel.

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 $sph. \pm 6,00$ cyl. 2,00-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 készítik el, de a további gyártási folyamatokat, mint például a színezés, vagy rétegzés, már egyszerre végzik el az egyformaság érdekében.

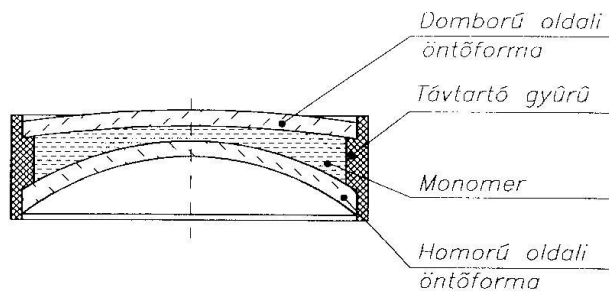
Üveglencsék esetén mindkét technológia alapja egy félkész termék, mely egy üveg korong. Az üveg félkész lencsének már tartalmaznia kell minden olyan adalékanyagot, mely a lencse optikai viselkedését meghatározza, utólag már csak rétegzéssel módosíthatóak a jellemzők, ami korlátozott (pl. reflexiócsökkentő 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 üvegbe. 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 lencsegyártó cégeknél történik, a lencsegyárakba már az összes összetevőt tartalmazó félkész üvegtermékek 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 kötéseket 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 százánál 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 termékként, 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. Egyrésztől 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 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 beruházási igénye magas, azonban megfelelő kapacitáskihasználás (elegendő megrendelés van) esetén a legolcsóbb receptúragyártó technológia.



22. ábra. Az összeszerelt mold.²²

Most nézzük végig az egyes lencsetípusok jellemzőit és azok gyártási lehetőségeit. A **szférikus lencsék** mindkét felülete gömbszeletből származik. Az optikai tengely a két gömbközpontot 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.

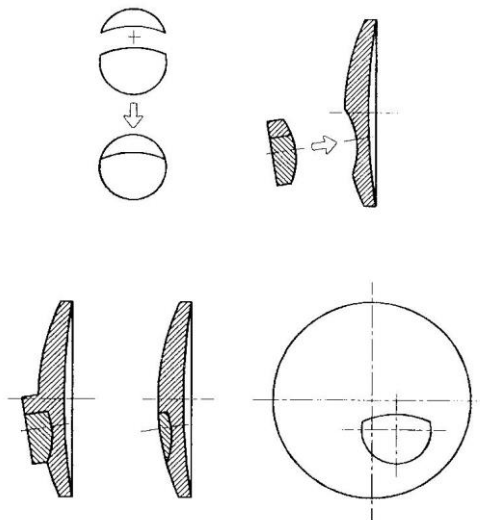
Tórikus lencsével a szabályos asztigmia korrigálható. A lencse gyártása során két egymásra pontosan merőleges síkban eltérő görbületi sugarú gömbfelületeket csiszolnak a lencse egyik felületén, míg a másik (általában a bázis) szférikus marad. A lencse három értékkel jellemezhető: a *szférikus érték* (sph.) a *cylinder 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 lencsék 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 lencsék – 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 lencsék **atórikus lencsének** nevezzük. A Free-form gyártástechnológia megjelenése lehetővé teszi ma

²² Dr. Rózsa Sándor: A szemüveglencsék anyag- és gyártmányismerete, 1995, Budapest, Haynal Imre Egészségtudományi Egyetem egészségügyi Főiskolai Kar

már, hogy az aszférikus lencsék esetén már ne forgásszimmetrikus felületkialakítást alkalmazzunk, hanem pontról-pontra készítsük el a lencsüket. Ennek segítségével korrigálható 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 cilindres 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.



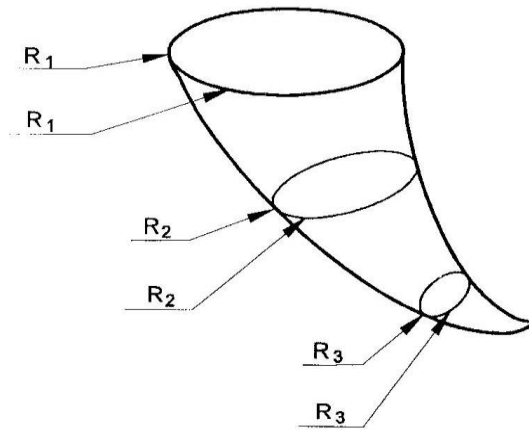
23. ábra. A forrasztott bifokális lencse gyártásának lépései.²³

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

²³ Dr. Rózsa Sándor: A szemüveglencsék anyag- és gyártmányismerete, 1995, Budapest, Haynal Imre Egészségtudományi Egyetem egészségügyi Főiskolai Kar

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 alapanyagánál 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 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 kialakítás eredményez.



24. ábra. Az elefántagyar felület geometriája.²⁴

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 részeken a lencsének saját asztigmatiája 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

²⁴ Dr. Rózsa Sándor: A szemüveglencsék anyag- és gyártmányismerete, 1995, Budapest, Haynal Imre Egészségtudományi Egyetem egészségügyi Főiskolai Kar

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 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.

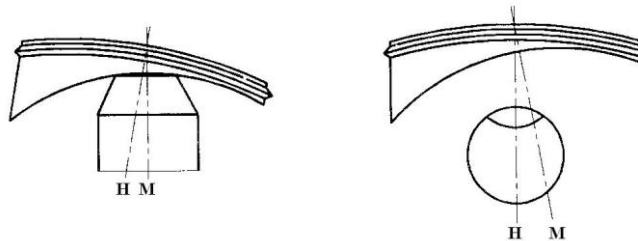
A multifokális lencsék bázisának kiválasztásában számos fejlesztési koncepció terjedt el, melyek közül az egyes gyártók a saját elképzeléseik, tervezési filozófiájuk alapján választják ki a számukra megfelelőt. Az egyes fejlesztések sikeressége, vagy kudarca mindig csak a későbbi felhasználás során dől 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.

A multifokális lencsék egy speciális csoportját képezik az ún. **munkaszemüveg lencsék**. Gyártástechnológiai szempontból a progresszív lencsék közé tartoznak, inkább látszerészeti és felhasználási okokból alkotnak külön csoportot. A progresszív lencsék kiindulási pontja 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.

Külön pontban célszerű tárgyalni a **prizmatikus** lencsekialakítást, mivel az előbb említett típusok legtöbbször megrendelhető prizmatikusan is. Az Optikai alapismeretek című fejezetben leírtak alapján a prizma feladata a fénysugár elforgatása, 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 lencsét 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.



25. ábra. Prizmatikus szemüveglencsék használati (H) és mérési (M) értéke közötti különbség.²⁵

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

²⁵ Dr. Rózsa Sándor: A szemüveglencsék anyag- és gyártmányismerete, 1995, Budapest, Haynal Imre Egészségtudományi Egyetem egészségügyi Főiskolai Kar

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.

3.1.3. Felületkezelések

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. 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. Érdekes 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 közegetárra:

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

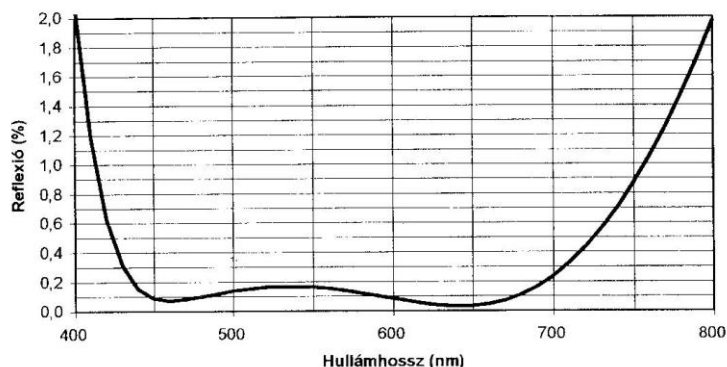
ahol R a visszaverődő fény mennyisége, n_0 a felület előtti közeg törésmutatója, és n_1 a felület utáni közeg – vagyis a lencse anyagának – törésmutatója. A normál üveg alapanyag esetén, melynek 1,525 a törésmutatója, egyetlen üvegfelület a rá merőlegesen érkező fényenergia 4,3 %-át veri vissza, és a fénynek 95,7 %-a engedi be az anyagba. Természetesen több lencse levegő határfelület esetén minden egyes közegetáron 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 fémréteget gőzölnek 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 hullámhosszúsággal 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 valósítható 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.



26. ábra. Többrétegű reflexiócsökkentő réteg hatásfoka.²⁶

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.

²⁶ Dr. Rózsa Sándor: A szemüveglencsék anyag- és gyártmányismerete, 1995, Budapest, Haynal Imre Egészségtudományi Egyetem egészségügyi Főiskolai Kar

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 karcosodik, és már kisebb behatások (pl. száraz tisztítás) is marandó 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 mosásnak vetik alá, mely megtisztítja minden a gyártás során ráakódott szennyeződéstől, portól és az esetlegesen kézzel 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 másikkhoz 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 színezhessen 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.

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

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 sötéttségét. 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 fényhullám visszaverődését, ugyanúgy – természetesen más rétegvastagsággal – meg is lehet növelni a mennyiségét. A réteg vastagságának megváltoztatásával elő lehet idézni, hogy a lencsefelület nemhogy 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”.

3.1.4. Színezések

Üveglencsék a már említett vákuumgőzöléses technológia mellett színezhetőek az anyagukban is, azonban ennek meg kell történnie a félkész lencsék olvasztásakor. Színező adalékokat a megolvadt alapanyagba kell egyenletesen keverni, és a félkész lencse már tartalmazni fogja a végső színt. A technológia hátránya, hogy minden egyes színből félkészraktárt 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 speciális, ám egyre divatosabb formája a fényenergiához alkalmazkodó színezés. Az ilyen típusú lencséket *fotokromatikus* 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 kitudál 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. Az ezt követő hőkezelés megszilárdítja a fényre sötétedő anyagot, és szoros kapcsolatot hoz létre az alaplencsével. Ezután következhet a keménylakkozás és a rétegzés.

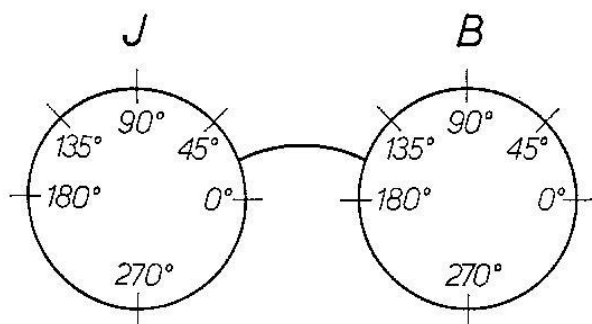
A technológia nagy előnye, hogy nem kell külön félkészraktárt felépíteni fotokromatikus alapanyagokból, illetve tetszőleges lencsefelületre felvihető utólag a fényre sötétedő alapanyag. Emellett elméletileg tetszőleges színek kialakíthatóak, amennyiben a gyártók ebbe az irányba kívánják vinni fejlesztéseiket. 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.

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, cilinder 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 elhelyezhetők a vényen, ha a szakorvos úgy ítéli meg. A jegyzet nem fogalalkozik 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 mérőeszközök 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 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.



27. ábra. A TABO-skála.²⁷

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 Ax_1 és Ax_2). Nyilvánvaló módon a törőerő érték összetartozik a neki megfelelő tengelyállással. A cylinderes korrekció megadásának 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:

²⁷ Dr. Vörösmarthy Dániel: A látszerészek könyve, 1981, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

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

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

Látszólag az ismertetett szabály ellentmond a mechanikus dioptriámérőknél megszokott mérési módszernek, de csak látszólag. Az asztigmatizmusnál ismertetett 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 értékénél 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 mínusból 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 mérés technikából 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 prizmákat. Ez azt jelenti, hogy a két oldalra azonos nagyságú vízszintes és azonos nagyságú függőleges prizmanak kell kerülnie. Ha a látásvizsgálat során egyik oldalra vízszintesen, a másik oldalra pedig függőlegesen írtak fel prizmát, 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-koordináta-rendszerben 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 visszazámításából 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 | $180^\circ - \alpha_{\text{eredő}}$ | $\alpha_{\text{eredő}}$ |

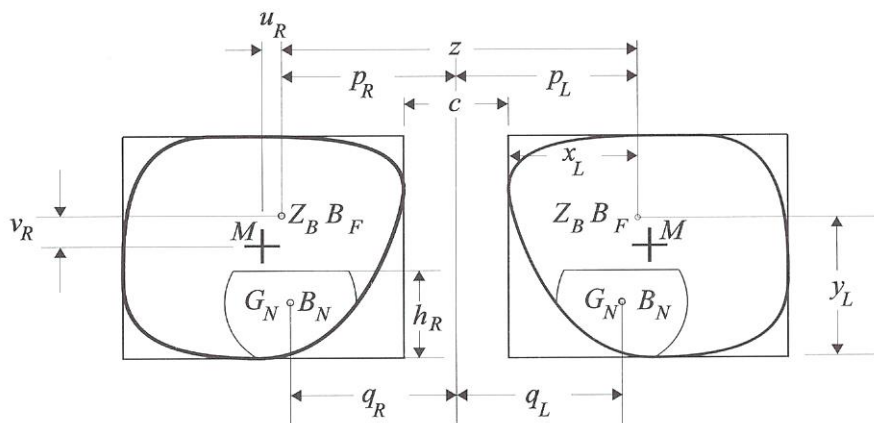
3.1. táblázat. Az eredő prizmatikus hatás tengelyállása az egyes irányok függvényében

Legvégül ejtsünk néhány szót a szemüveglencsék centrálásáról. A szemüvegvényen egyetlen adat található ezzel kapcsolatban a két pupilla közepének távolsága, melyet *PD*-nek (pupillaris 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 arcfele 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 vénnyel érkezik a vásárló, és nem tudunk konzultálni a vényt felíró szakorvossal, akkor a látszerésznek 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 történt.

A szemüveglencsék becsiszolásához, vagyis keretbe helyezéséhez szabványos módon kell a szükséges adatokat meghatározni. Akár a demó-lencse, akár pedig a keretforma letapogatása alapján határozzuk meg a tájékoztató pontokat, általában egy görbe

felületen belül kell egységes mérési rendszert kialakítani. A görbe felületeket célszerű a görbék érintőjével helyettesíteni. A demólcse 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.



28. ábra. Szemüveglencsék centrálási adatai.²⁸

Az ábra legfontosabb jelölései: „c” a hídméret, „z” a 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 lencséket – 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

²⁸ Dr. Roland Enders: Die Optik des Auges und der Sehhilfen, 1995, Heidelberg, Optische Fachveröffentlichung GmbH

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 *Imre-döntésnek* is nevezünk –, és a 12 mm-es ún. *LC-távolság*, mely a szemüveglencse homorú felületének és a szaruhártya 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 lencsákat a pupillaközéphez 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 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 keresztel könnyítik meg a becsiszolást, 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 lencsákat 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 dőlésszöget 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 becsiszolásakor, hogy első lépésként a lencsetípusnak megfelelően meghatározzuk a centrálási adatokat, majd a kapott értékeket módosítjuk a prizma miatt olyan formában, hogy prizmioptriánként 0,25 mm-t decentrálunk a prizma alapjával

ellentétesen, vagyis a prizma élének irányába. A prizmatikus hatás miatti decentrációt el kell végezni mind vízszintesen, mind pedig függőlegesen is. Az említett decentrációs 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. Szemüveggeretek anyag- és áruismerete

3.2.1. A szemüveggeretek alapanyagai és azok jellemzői

A szemüveggeretek 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 ezek ötvözeit.

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 fröccsenhető. 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 vegyületi 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 alpakát, 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, ródiumboz, lakkozás). Bronznak nevezzük a réz és az ón ötvözetét. Alpakának nevezzük a réz a nikkellel és a cink ötvözetét. Általában 12-26 % nikkelt, 50-66 % rézet, 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 nikkellel, vagy ónbronzzal alapanyagot, amelyre nagy nyomáson, melegen 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. Rugalmasság 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 gyártásnál ródiumot általában felületi védőanyagként, mivel az alpaka nem érintkezhet közvetlenül a bőrrel.

3.2.2. A szemüvegkeretek jellemzői és gyártástechnológiájuk

Műanyag keretek gyártása általában fröccsöntéssel vagy forgácsolással történik. A **fröccsöntés** a leggyakoribb szemüvegkeret előállítás módja. A 60-as évekig a jobb minőségű kereteket celluloidból, az olcsóbbakat cellulóz-acetátból készítették. Jelenleg cellulóz-acetát-butírat 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 beleprésselik 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 préselvény kivethető,
- 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 szárukba sajtolt fémbetét elkészítése, és a szárukba sajtolása,
- majd a középrészbe sajtolt fémbetét elkészítése, és a középrészbe sajtolása,
- végső összeszerelése, majd beteszik a demólencsét, a szárukba 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 színkombináció 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-szárukba. Régebben készítettek úgy szárukat, hogy kettévágták a szárukat, 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 szárukat szögben lemarják, hogy megfelelően illeszkedhessenek a középrészhez. A szárukat ideiglenesen felrakják és megívelik. A szárukat csavarozzák, beállítják a keretet, majd rongykoronggal

félpolírozzák. Végül a szárukba 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 kitégultak volna, így ma már ezt az eljárást nem használják.

Fém szemüvegkeretek gyártása

Fémkeretek gyártásánál a kiindulási anyag mindig fémhuzal. Ebből készítik a középrészt, a szárukat, és a pipát is. A huzalok vastagsága 1-3 mm. A karika készítésénél profilra húzzák (hengerelik), amennyiben szükséges, közben melegítik is. Hengerelés 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 szárukat 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 (forrasztóanyaggal) lágy cinezéssel 500 °C alatt, vagy keményforrasztással állítják össze ezüstötvözetrel 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 száruk belső oldalára. Végző műveletként a papucsokat felszerelik, felhúzzák a műanyag szárvégeket, majd a keretet beállítják, és végül megtisztítják.

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 papuccsal 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 papucsokon, a száruk szorosságán és dőlésszögén. Amennyiben minden megfelelően be van állítva, úgy az illető hosszú ideig elégedetten, panaszmentesen tudja viselni a szemüvegét.

3.3. Finommechanikai termékek anyagismerete

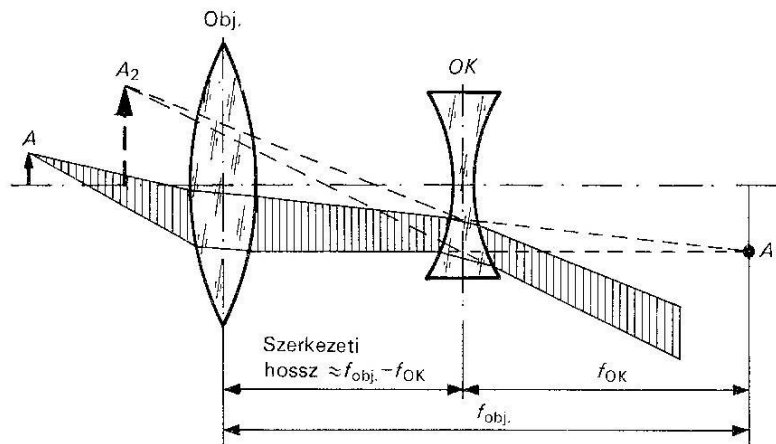
3.3.1. Távcsovek

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 távcsobe 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 távcso típus a *Galilei* típusú és a *Kepler* típusú.

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



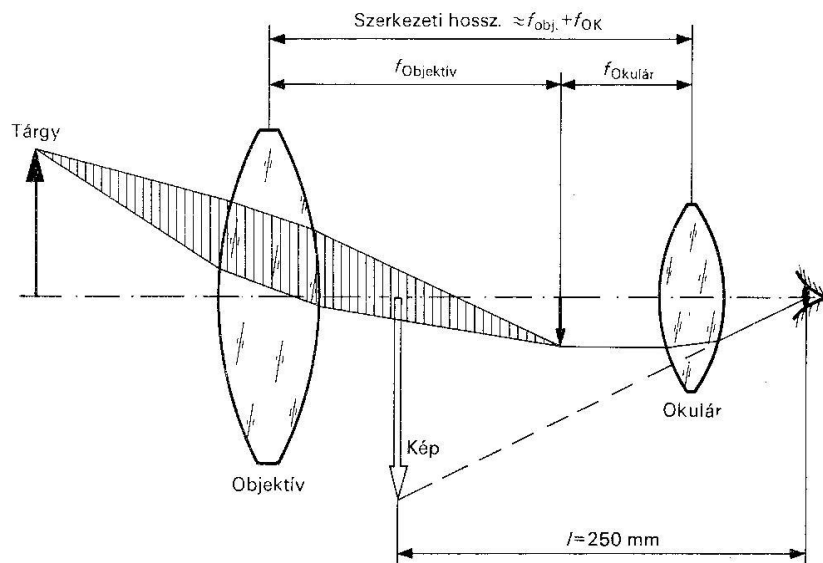
29. ábra. A Galilei-távcső képalkotása.²⁹

A látszerészeti 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 szőgnagyítás 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 lenszéje is gyűjtőlencse. Ennek megfelelően a lencserendszer közös fókuszpontja a távcsővön belül található. A Kepler típusú távcső *latszólagos, fordított állású és szőgnagyítás szempontjából nagyított* képet hoz létre. A Kepler rendszerű távcsővek legnagyobb előnye, hogy nagyon nagy szőgnagyítás 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 távcsőveket. Tapasztalati határnak azt tartják, hogy a távcső szőgnagyítása 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 távcsőveknél, a látszerészeti gyakorlatban pedig a távcsőszemüvegeknél alkalmazzuk. Távcsőszemüvegeknél 8° és 12° közötti látószög mellett kb. 4-szeres szőgnagyítás érhető el távolra. Közeleli használatra előtétlencse segítségével, monokuláris kivitelben ez a nagyítás érték kb. 20-szorosra növelhető. A Kepler típusú távcsőszemüveg közelre is elkészíthető binokulárisan, és szőgnagyítása kb. 10-szeresig fokozható.

²⁹ Rózsa Sándor: Fizikai és geometriai optika, 1980, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó



30. ábra. A Kepler-távcső képalkotása.³⁰

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. fegyvertávcsöveknél), a képfordítás megoldható az optikai rendszer bővítésével. Azonban a kereső távcsöveknél, 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 szinbontása. Az említett problémákat úgy lehet kiküszöbölni, hogy az objektív lencse helyett homorú tükröt alkalmaznak, melyet *Newton* típusú távcsőnek nevezünk.

3.3.2. Meteorológiai eszközök

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

³⁰ Rózsa Sándor: Fizikai és geometriai optika, 1980, Budapest, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó

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 higannyal – telt csövet a nyitott végével egy higannyal töltött edénybe állítunk, akkor a lezárt részben lévő higanyoszlop magassága a higannyal 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 határozunk 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

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 asztigmat fűjt üvegből készített, közvetlenül a szemre helyezett sclerális kagylóval tudta korrigálni. Megállapította, hogy a kagyló együtt tud mozogni a szemmel, és az alatta levő folyadék nem folyik el, így az adhéziós erő rögzíti az üveget a szemhez. A kagylók készítéséhez halottak szeméről vett nyomatot. Ez a lencse még nem tartalmazott dioptria-korrekción.

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

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.

A *sclerális kagyló* olyan lencse, amely valóban csak a sclerára fekszik fel. 3 részből áll, a sclerára felfekvő haptikai zónából, a szaruhártya előtti optikai zónából, és a kettő közötti átmeneti zónából.

Az 1920-as évek végén már optikailag tökéletes kontaktkagylókat tudtak előállítani nagy mennyiségben is, így lehetővé vált széles körű felhasználásuk is.

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).

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.

Egyes esetekben ma is alkalmaznak sclerális kagylókat, például vízilabdázók, illetve a szem mézszerűsége esetén.

1948. M. Tuohy amerikai optikus szabadalmaztatta az első kemény cornea lencsét. Ettől kezdve főleg ezt használták. A sclerális kagylóval szembeni előnyei, hogy egyszerűen helyezhető fel, és vehető le, jó a könnycserélődése, így alig lép fel Sattler-fátyol, valamint a lencse pontosan fekszik a szaruhártyára, viselete kényelmesebb. Ettől az időtől kezdve megindult a corneális lencsék fejlődése.

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.

Még ebben az évben bevezetésre kerül a 9 mm átmérő alatti, ún. mikrolencse (Dickinson, Neill, Söhnge).

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. 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.

Közben a lágy alapanyagok is folyamatos fejlődésen mentek át. Még ebben az évben a Ciba Vision bevezette a halványkék színű (tinted) lágy lencsét a jobb kezelhetőség érdekében.

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 negyed éves, 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 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 párosodás megakadályozására. A ma használatos kontaktlencsék olyan műanyagok, amelyeket polimerizációval állítanak elő. A polimerek 3 csoportba oszthatók. Az első csoportba a nem formázható, nyomás- és meleg tűrő, 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 kontaktlencsét. 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 felszín 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 lencséket. 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 óras 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.

4.3. A kontaktlencsék típusai

A kontaktlencséket 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 korrigál. A könnyűfilmen úszik, így ereződést nem okoz, annak ellenére, hogy az oxigént nem engedi át. Könnyű tisztítani, de hosszú hordásideje 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 lencséhez, ha nem illeszkedik tökéletesen könnyen kiveshető, elcsúszhat. Sportoláshoz emiatt kevésbé ajánlott. Általában nincs belőle tartalék lencse. Alapanyaga vizet nem tartalmaz, így terápiás lencseként sem használható.

A **lágylencse** legelőnyösebb tulajdonsága, hogy könnyen megszokható, kényelmes. 38-70 % vizet tartalmaz, magasabb az oxigénáteresztő képessége, így hordásideje hosszabb lehet, mint a kemény lencséé. 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 csereritmusban 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. 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 asztigmatiát csak bizonyos tartományon belül tud korrigálni, így szükségessé vált a tórikus lágylencse kifejlesztése. Hátránya, hogy minden pislogásnál elfordul, emiatt a cylinder tengelye nem stabil, valamint a ferde tengelyű asztigmatia korrigálására sem tökéletes (30°-60° és 120°-150°). Kezelésénél jobban kell figyelni, mivel kifordulhat és könnyen szakad. Gyárthatósága szűkebb paraméterű, egyéni adatokra történő gyártása nem mindig lehetséges. Magasabb víztartalma miatt a higiéniai szabályokat fokozottabban kell betartani. Könnyebben okoz allergiát. Többször okoz éreződést.

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.

4.4. A kontaktlencsék élettartama és viselési szabályai

A kemény és gázáteresztő kontaktlencsék élettartama gyártótól és típustól függően 6, 12 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 műkönnny 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. Két hetes 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 két hetes 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 úgyszólván 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, 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 lencsénél általában a víztartalom, vagy az oxigénáteresztés bír rosszabb paraméterekkel.

4.5. 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 küvettaiban (kalotta) felmelegítve a plexit, fém segítségével préselték. A küvetta 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 szélképzés. 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.

Gyorsabb, pontosabb, és szélesebb paraméterválasztékú gyártást tesz lehetővé az esztergálás. Ekkor számítógépvezérelt eszterga forgó tengelyére helyezik az anyagot, ami egy kicsi korong (blank). 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 segítségével polírozzák. Ezután egy másik szerszámra ragasztják, és a másik felületén is elvégzik az esztergálást, majd következik a szélképzés. A végén ezt az oldalt is felpolírozzák. Mindkét oldal több felületből 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 lencsákat 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 lencsákat készítettek ezzel a módszerrel.

Esztergálás során a kemény blank-ből kivájják a megfelelő sugarú ívet, majd polírozzák. Az ívet előre kiszámolják, mert a polírozás után a lencsákat 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.

4.6. 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. Minden esetben elengedhetetlen, hogy a lencsákat csak tiszta kézzel érintsék meg elkerülve a felesleges fertőzésveszélyt. Célszerű a kivétel és a felhelyezés idejére egy nyugodt helyet biztosítani, lehetőleg leülni. Kerülendő a mosdó fölötti lencsekezelés. 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 lencsüket 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, de tisztább felületet biztosít, ezért javasolható. A szemből való kivétel után a lencsét érdemes a tenyérben ápoló folyadékkal finoman átdörzsölni, majd leöblíteni, és a tároló tok megfelelő oldalába helyezni. Ügyelni kell arra, hogy a lencse ne lógjon túl a peremen, mivel a kupak rácsavarása során a menet elvághatja a lencsét. Legalább annyi friss tároló-fertőtlenítő folyadék betöltése szükséges, amennyi a lencsét teljesen ellepi. Ezután célszerű a megfelelő kupakot

rácsvarni. A másik oldal kezelése hasonló módon történik. 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 feleserélését. Hidrogén peroxidos rendszer használata esetén a lencsék egy közös folyadékba kerülnek, és a folyamatot nem lehet megszakítani. (A kezdők figyelmét erre a tényre nyomatékosan fel kell hívni!). Ügyelni kell arra is, hogy a tok ne boruljon fel, mivel a kupakon levő nyíláson kifolyhat a folyadék. A lencséknek a folyadékban minimum 6 órát el kell tölteniük ahhoz, hogy felhelyezéskor a folyadék ne csípje a szemet. A tároló-tisztító folyadékokat minden este frissre kell cserélni. 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 illetző javaslatára havonta egyszer, vagy kétszer szükséges elvégezni. A fehérjeoldó tablettá feloldásához általában fiziológiás sóoldatot használnak. A lencsék felhelyezése esetén a higiénias 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 kivételt 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 műkönny 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. Célszerű a lencse megrendelése előtt tisztázni, hogy képes-e a szeméhez érni anélkül, hogy azt kényszeresen becsukná, esetleg érdemes ezt előre begyakoroltatni vele. Amennyiben a szaruhártya reflex nem okoz problémát, és a páciens képes nyitva tartani a szemét elkezdődhet a betanítás. 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 szempilláját 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 rögzítése, lehetőleg a szempillák leszorításával. Többféle módszer létezik. A

hosszú távon leginkább célra vezető, ha a limbuson túlfogva kicsippenti 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 fél éves adag megrendelése előtt érdemes kontrollvizsgálatot végezni úgy, hogy a lencse a szemén van.

Addicionális termékek

A kontaktlencse viselők legfontosabb kiegészítő termékei a kontaktlencse ápolásához szükséges folyadékok, színes tokok. Manapság két nagy folyadék-rendszer van forgalomban, a hidrogén-peroxidos rendszer és az ún. all-in-one folyadékok. A hidrogén-peroxidos rendszert nagyon régóta használják. Előnye, hogy a tisztító hatása kiváló, bármelyik lencséhez használható. Hátránya, hogy a kémiai folyamatot nem lehet megszakítani, így ha a lencse egyszer a folyadékba került, és a folyamat beindult legközelebb csak 6 óra múlva tehető a szemre. Az all-in-one folyadékokat lágy lencsékhez használják, a tisztítási idő általában 4 óra. Gyakori csereritmusú lencsék tisztításához megfelelőek. Előnye, hogy a lencsét bármikor ki lehet venni a folyadékból, és nem csípi a szemet. Kemény vagy RGP lencsék esetén használható még 2 lépcsős folyadék, ahol külön van a tisztító és a tároló folyadék. Ebben az esetben ügyelni kell arra, hogy a tisztító folyadék nem kerülhet a szembe, azt alaposan le kell öblíteni a tároló folyadékkal. Ezekhez a lencsékhez szükség lehet a kivételt megkönnyítő szívókára is. A külön fehérjeoldó tablettát vagy a tároló folyadékkal, vagy fiziológiás sóoldattal lehet feloldani.

Ezen kívül ajánlhatóak még például a kontaktlencse mellett is használható különféle műkönyvek. Ezekre általában akkor van szükség, ha valaki úgy érzi, hogy száraz a szeme, főleg, ha meleg helyen vagy klimatizált helyiségben dolgozik. Szárazabb lehet a szeme annak is, aki monitorral dolgozik, ugyanis gyakran lényegesen kevesebbet pislog, mint általában, és emiatt a könnyfilm nem tudja a szemet optimálisan bevonni. 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 prizmas 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 mindenkor ÁNTSZ 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, lágy lencsék 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 lágy tórikus lencse, 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 lágy kontaktlencsével is, ez azonban a multifokális lágy lencsék 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. érződés, kevés könny, allergia). Amennyiben nincs a viselés kizárására utaló jel, következő lépésként a szaruhártya görbületét és átmérőjét kell megmérni. Ezután a korrigálatlan 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 próbalencse illesztése. A távoli és a közeli visust is ellenőrizni kell a próbalencsével, 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, lágy lencse, illetve színes lágy kontaktlencse 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, ügyletlenség, 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.

Lágy lencsék kontraindikációi: irreguláris asztigmia, keratoconus, keratoglobus, szűk szemrés, szemhéj széli betegségek, elváltozások esetén. A szemhéj mirigyének 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 ügyletlenség 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 mülencse 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 eróziója, perforáló cornea sérülés, elégtelenül záródó szemrés esetén, méhsejézés 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.

Psichikai indikációk: a szemüvegviseelés okozta gátlások feloldása céljából.

Egyéb indikációk: hallókészülék viselése, orrsövényferdülés, szemüveggeret allergia.

Kemény, illetve RGP lencsék indikációi: asztigmia, irreguláris asztigmia, szűk szemrés, keratoconus, keratoglobus, cornea ereződés, pinguecula, anyajegy, bányászatban 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 lágypaléjából készül, ez biztosítja a lencse stabilitását. Optikai zónája RGP alapanyagból készül, ezáltal lesz a korrekció a legmegfelelőbb. Az RGP rész a lágypaléj optikai középpontjába van beültetve oly módon, hogy az RGP lencse hátsó bázisgömbületének megfelelő ív van kialakítva az alatta levő lágypalé 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 lágypalé kontaktlencsét is, amelynek átmérője nagyobb, mint a hagyományos lágypalé lencséé, víztartalma pedig közepes, vagy magas. A fejlesztés oka a komfortérzet növelése volt. A hibrid kontaktlencsék nagy átmérőjű lágypalé lencsék, centrális RGP zónával egészséges szeműk számára. A lágypalé rész készülhet szilikon-hidrogél alapanyagból is. Kifejlesztését az indokolta, hogy tisztább és élesebb látást biztosítsanak, mint ami lágypalé lencsével elérhető, de megtartsák a lágypalé lencsékre 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 körgyűrűnek 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 nehezebb feladat, mint a lágypalé verzióé. 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. hármas tükör, vitrektómiás lencse, elektródákat tartalmazó kontaktlencsét. Ismert még a röntgensugárvédő kagylót és a szemhéjplasztikánál

használatos védőkagylót is.

Irodalomjegyzék

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

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

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.