

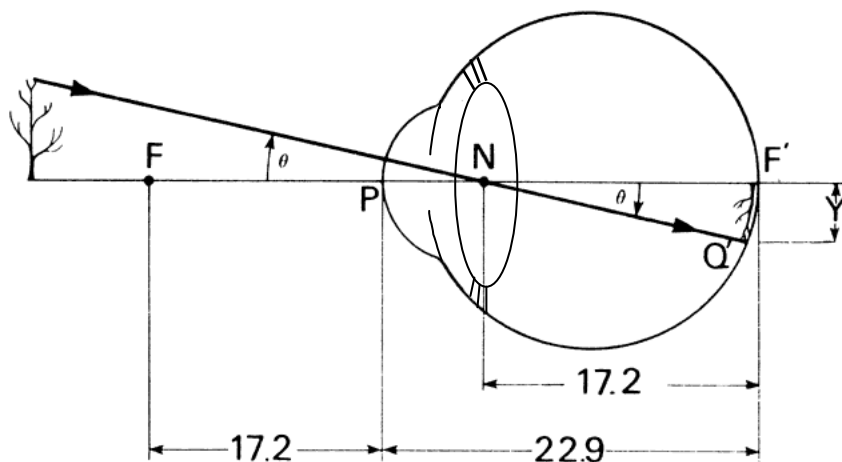
Ochiul uman privit ca sistem optic

Ochiul joaca un rol integral in abilitatea de a analiza si intelege lumea exterioara. Ochiul uman pentru a analiza lumea exterioara are nevoie de a aduce imaginea obiectelor pe retina si deasemenea la o dimensiune convenabila pentru a fi procesata la nivelul retinei si ulterior analizata la nivel cerebral. Intelegem asadar ca ochiul se comporta ca un sistem optic asemanator microscopului sau telescopului in dorinta de a realiza o imagine reala focalizata pe retina si de dimensiuni mici pentru ca acesta sa poata fi preluata si transformata a semnale nervoase de catre retina.

Sistemul de dioptri ai ochiului uman cuprinde 4 suprafete dioptrice principale:

- Fata anterioara a corneei, care este cel mai important dioptru convergent cu o valoare de 48D, datorita curburii $r=7,8\text{mm}$ si a diferentei mare a indicilor de refractie a corneei (1,377) si aerului 1;
 - Fata posterioara a corneei, care este un dioptru divergent slab de -6D. Puterea slaba a acestui dioptru este data de indici aproximativ similari ai corneei si umorii apoase;
 - Fata anterioara a cristalinului care separa cristalinul de umoarea apoasa;
 - Fata posterioara a cristalinului care separa cristalinul de umoarea vitreana.
- Fata anterioara si posterioara a cristalinului formeaza o lentila convexa cu o putere de 20-21 dpt(D).

Valoarea totala a sistemului de dioptri este de 60 D +/- 3D. Punctul nodal al ochiului este la $\approx 17\text{mm}$ de retina.



$$\frac{\text{Marimea imaginii retiniene}}{\text{marimea obiectului}} = \frac{\text{distanța între punctul focal și retina}}{\text{distanța de la obiect până la ochi}}$$

Ex: marimea imaginii retiniene a unei lumanari de 20 cm situate la 5 m de ochi este: $0,02 \times 0,017/5 = 0,000068\text{m} = 68 \text{ microni}$

Statusul refractiv al ochiului

Ca sa definim statusul refractiv al ochiului putem sa folosim 2 metode:

- 1. Determinarea punctului focal. Punctul focal este locul unde se formeaza imaginea unui obiect situat la infinit intr-un ochi non-acomodativ. In cazul unui emetrop punctul focal este pe retina astfel ca imaginea este clara, bine definita. In cazul in care punctul focal este anterior sau posterior imaginea in ochiul nonacomodativ este defocusata, neclara. Rezulta trei statusuri refractive importante in ochiul nonacomodativ care priveste un obiect situa "la infinit":
 - o Punct focal in fata retinei – miopie;
 - o Punct focal pe retina – emetropie;
 - o Punct focal in spatele retine -- hipermetropie .
- 2. Determinarea punctului remonum. Punctul remonum sau punctul indepartat este punctul conjugat cu retina intr-un ochi non-acomodativ.
 - o In cazul ochiului emetrop punctul remonum este situat la infinit
 - o In cazul ochiului miopic punctul remonum este real si situat intre infinit si ochi
 - o In cazul ochiului hipermetropic punctul remonum este virtual.Ex emetrop $1/s_1 + 1/s_2 = 1/f$ daca $f = s_2$ rezulta $1/s_1 = 0$ adia $s_1 = \infty$; miop $s_2 < f$ rezulta $1/s_1 = 1/f - 1/s_2$ adica $s_1 = 1/(1/f - 1/s_2)$ $f = 17$ mm si $s_2 = 6$ mm adica $1/(1/0.017 - 1/0,016) = 0,27$ adica 27 cm

Emetropia

Din cele definite anterior emetropia reprezinta statusul refractiv al unui ochi non-refractiv in care imaginea unui obiect situat la infint se formeaza pe retina. Punctul remonum este la infinit si punctul focal este pe retina. Exista un echilibru ideal intre puterea sistemului de dioptri, corneei (fata anterioara si posterioara) si cristalin (fata anterioara si posterioara) si lungimea globului ocular.

Ametropiile (vicii de refractie)

Reprezinta situatia in care imaginea unui obiect situat la infinit pentru un ochi nonacomodativ nu se formeaza pe retina. Aceste ametropii pot fi de ax cand puterea dioptrilor oculari este normala dar axul ochiului este fie prea scurt in cazul hipermetropilor fie prea lung in cazul miopilor sau poate fi de refractie cand puterea refractiva a dioptrilor fie este prea mare in cazul miopilor fie este prea mica in cazul hipermetropilor.

Miopia

Reprezinta dezechibriul dintre puterea dioptrica si lungimea axului ochiului astfel ca imaginea unui obiect situat la infinit se formeaza inaintea retinei intr-un ochi non-acomodativ. Punctul focal este inaintea retinei iar punctul remonum este intre infinit si ochi.

Exista trei tipuri de miopie:

- miopie de ax cand axul ochiului este mai mare decat normal
- miopie de refractie cand refractia ochiului este mai mare decat normal
- miopie mixta cand refractia si axul sunt mai mari decat normal

Se defineste puterea dioptrica a miopiei prin inversul distantei dintre punctul remountum si ochi.

Ex. Miopia cu punctul remountum la 50 cm de ochi are valoarea de $1/\text{distanta}$ pana la pct remountum adica $1/0,5 = -2D$

Pentru corectie vom folosi lentile care sa scada puterea de refractie a ochiului , lentile concave sau lentile negative corespunzatoare cu viciul de refractie, egale cu inversul distante dintre punctul remountum si ochi.

Hipermetropia

Reprezinta dezechibriul dintre puterea dioptrica si lungimea axului ochiului in care imaginea unui obiect situat la infinit se formeaza inapoiia retinei intr-un ochi non-acomodativ. Punctul focal este inapoiia retinei iar punctul remountul este un punct virtual.

Exista trei tipuri de hipermetropie:

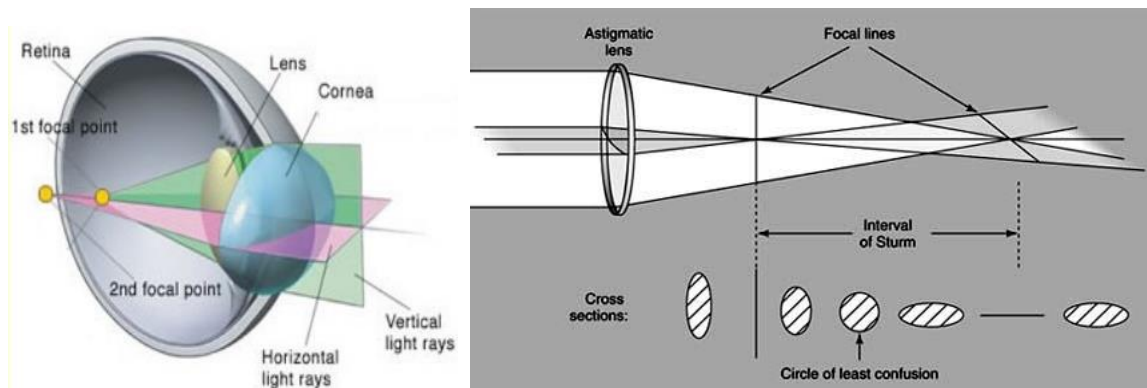
- hipermetropie de ax cand axul ochiului este mai mic decat normal
- hipermetropie de refractie cand refractia ochiului este mai mica decat normal
- hipermetropie mixta cand refractia si axul sunt mai mici decat normal

Se defineste puterea dioptrica a hipermetropiei prin valoarea lentilei convexe (lentila pozitiva) necesara ochiului nonacomodativ care sa aduca punctul remountum la infinit sau sa mute punctul focal pe retina.

Hipermetropul isi poate corecta viciul fie prin purtarea de lentile convexe sau fie prin acomodatie. Totusi, o acomodatie prelungita duce la cefalee, dureri oculare, vedere neclara, ochi rosu, fatigabilitate.

Astigmatismul

Viciu de refractie rezultat dintr-o abatere ordonata din punct de vedere geometric, a dioptriilor, de la forma sferica normala ancoreei la o forma de calota torica. Daca in cazul ametropiilor sferice se forma o imagine stigmata (stigma =pct) anterior sau posterior de retina in cazul pacientilor astigmatic nu se poate forma o imagine stigmata fiecare punct din obiect va forma doua linii focale perpendiculare intre ele si la distant corespunzatoare celui mai puternic si celui mai slab meridian refractive. Intre ele se formeza intervalul Sturm.



NB imagine stigmata- imaginea in care fiecarui pct din obiectul privit ii corespunde un pct in imaginea formata.

Pentru ca meridianul cel mai refractiv sa aibe aceasi valoare cu meridianul cel mai putin refractiv este necesara o corectie cu cilindrii pozitivi/negative. Astfel se obtine o imagine stigmata.

Acuitatea vizuala

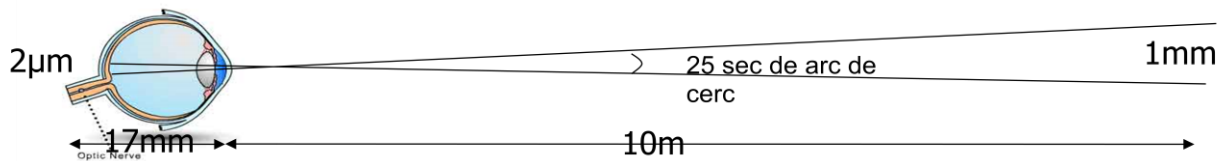
Reprezinta capacitatea ochiului de a distinge forma, dimensiunea si conturul obiectelor. Este puterea de discriminare spatiala pe care ochiul o poate exercita pentru a vedea diferite detalii din spatiu. Exista multiple moduri de a caracteriza acuitatea vizuala cum ar fi:

- Discriminarea vizuala spatiala
 - Minima perceptibila (determinarea dimensiuni minime a unui punct din spatiu care poate fi perceptut)
 - Minima separabila (AV clinica sau acuitatea vizuala Snellen) (determinarea unghiului minim de separare pe care il subintinde doua puncte luminoase din spatiu vazute distinct cu ochiu)
- Discriminarea vizuala luminoasa (1%)sau sensibilitatea la contrast reprezint pragul minim vizibil adica stralucirea minima a unei tinte care sa o faca distinct de fundal.
- Temporala - durata minima intre doua stimulari pentru a putea fi percepute separate (ex cinematografia)

In termini obisnuiti acuitatea vizuala este acuitatea clinica numita si acuitatea Snellen. Reprezinta determinarea unghiului minim de separate a doua puncte separate. Acutatea snellen Este masurata cu ajutorul unor teste construite astfel incat fiecare semn sa subintinda un unghi de 5 minute de arc de cerc, iar fiecare element al semnelui sa subintinda un unghi de 1 minut de arc de cerc.

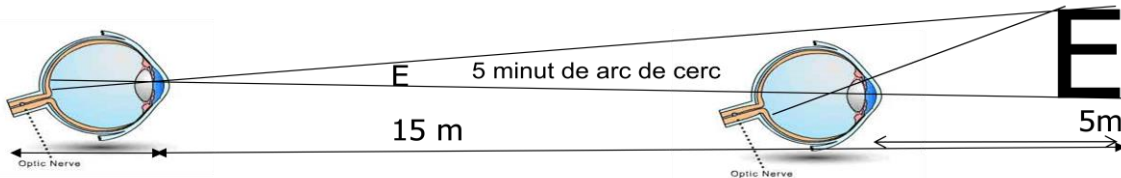
In practica nu se masoara unghiul pe care il subintinde semnul de dimensiunea cea mai mica care il poate vedea pacientul. In mod obisnuit se exprima ca raport intre 1) distant de la care vede pacientul

semnul cel mai mic pe care îl poate vedea pacientul și 2) distanța de la care acest semn este văzut sub un unghi de 5 minute de arc de cerc. Există o diferență între unghiul minim de separare propus de fiziologi și unghiul minim propus de clinicieni. Unghiul minim în termeni fiziologici este de 25 sec de arc de cerc. La acest unghi razele venite de la două puncte luminoase diferite cad pe două celule fotoreceptoare distincte. Acest unghi este măsurat în laborator în sedare completă a persoanei investigate. În realitate ochiul uman datorită musculaturii externe prezintă o mișcare oscilatorie continuă care face ca fiecărui punct din spațiu să îi corespundă o pată focală. Pentru a separa cele două pete focale este necesar ca unghiul minim de separare să fie de un minut de arc de cerc.



1 minut de arc de cerc -- 1.4 mm ? 25 de secunde de arc de cerc -- 1mm

Ex un pacient vede maxim un semn care subintinde 15 minute de arc de cerc de la 5 metri. Acest semn este văzut sub unghi de 5 minute de arc de cerc de la o distanță de 15 metri. Rezultă că acuitatea vizuală care este egală cu raportul distanță de la care se află pacientul/distanță la care subintinde 5 minute de arc de cerc, este $AV=5/15$.

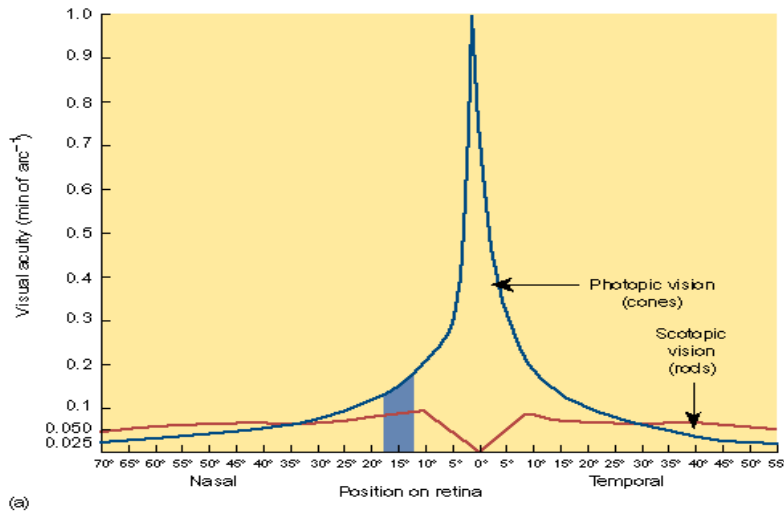


Capacitatea de discriminare nu este egală în orice punct al retinei și depinde de intensitatea luminoasă a punctelor luminoase. Retina periferică are o acuitate vizuală mai mică decât a maculei datorită diferențelor histologice pe care le întâlnim între macula (retina sitiată în polul posterior al ochiului) și retina periferică.

Macula prezintă o grosime mai mică central față de retina periferică astfel ca lumina suferă un fenomen de dispersie mai mic. Conexiunile celulare care se realizează în macula sunt de 1 la 1 adică un singur fotoreceptor-o singură celulă bipolară- o singură celulă ganglionară față de retina periferică cu o convergență mare a stimulilor 10-100 celule fotoreceptoare- nr variabil de celule

bipolare dar mai mic de 10 - nr mic de celule amacrine dar mai mic de 10 - o singura celula ganglionara.

Un aspect important este distributia celulelor fotoreceptoare cu prezenta numai a celulelor cu conuri in macula. In retina periferica exista un amestec de celule cu conuri si bastonase, densitatea celulelor cu conuri scazand cu indepartarea de macula. Dispozitia celulelor cu bastonase este relativ uniforma in retina cu exceptia maculei unde sunt absente. Prin dispozitie inegala a celulelor fotoreceptoare avem diferente intre fotopic si scotic a acuitati vizuale. In fotopic acuitatea vizuala este maxima in macula si scade abrupt cu trecerea spre periferie(5/50). In scotic acuitatea vizuala a retinei este relativ omogena in retina periferica (5/50) si absenta in macula.



Presiunea intraoculara

Presiunea intraoculara are o valoare normala cuprinsa intre 11-21 mmhg .Valoarea normala este data de echilibrul dintre cantitatea de umoare apoasa produsa de corpul ciliar si cantitatea eliminata producerea umorii apoase. Cantitatea de umoarea apoasa produsa de epiteliul non-pigmentar din procesele ciliare ale corpului ciliar este de 2.0 to 2.5 $\mu\text{l} \times \text{min}^{-1}$. Secretia variaza putin atat diurn cat si de-a lungul vietii.

Eliminarea umorii apoase se realizeaza in principal (90%) prin trabecul in canalul Schlemm si mai departe prin venele apoase spre venele episclerale. Acesta cale este numita si calea trabeculocanaliculara. Anatomic, trabeculul situat in unghiul format de iris cu corneea, este format din puncti in sulcusul scleral (o retea de colagen acoperita de endoteliu) situata anterior de o vena circulara numita canal Schlem. O cale secundara este calea uveo sclerala (10%) umoarea traversand succesiv fibrele longitudinale ale muschiului ciliara, spatiu supracoroidian, vene transclerale, vene episclerale.

Eliminarea umorii apoase are variabilitate atat diurna cat si de a lungul vietii. Presiune in venele episclerale variaza cu pozitia corpului. In ortostatism presiunea in venele episclerale creste si in clinostatism presiunea scade. Valoarea presiunii in venele episclerale influenteaza rezistenta la

scurgere a umorii apoase. Astfel in timpul noptii si in prima parte a zilei presiunea intraoculara este crescuta iar in partea a doua a zilei presiunea este minima. De-a lungul vietii datorita detritusurilor celulare, a pigmentului irian, a unor celule inflamatorii, retea se poate bloca. Suplimentar se pot produce modificari morfologice ale retelei , cu micșorarea diametrului porilor trabeculari. Cand filtrarea umorii apoase scade foarte mult poate crește presiunea intraoculara cu consecințe negative asupra nervului optic.

Funcția vizuală

Pentru a înțelege modul în care retina transformă energia luminoasă în semnal nervos trebuie explicate câteva noțiuni de morfologie ale retinei.

Retina senzorială și epiteliul pigmentar au origine neuroectodermală provenind din veziculele optice care se formează în stadiul embrionar de viață.

Neuroretina numită și tunica nervoasă este organizată dinspre umorul vitros situat la interior spre coroidă (tunica vasculară) situată la exterior în mai multe straturi:

1. Membrana limitantă internă (prelungirea celulelor Müller)
2. Stratul fibrelor nervoase (prelungirile celulelor ganglionare)
3. Stratul celulelor ganglionare (al treilea neuron din circuitul neuronal al retinei)
4. Stratul plexiform intern (sunt localizate sinapsele dintre celulele ganglionare și celulele bipolare)
5. Stratul nuclear intern (format în cea mai mare parte din celulele bipolare)
6. Stratul plexiform extern (sunt localizate sinapsele dintre fotoreceptori și celulele bipolare)
7. Stratul nuclear extern (format din segmental central al fotoreceptorilor)
8. Membrana limitantă externă (prelungirea celulelor Müller)
9. Stratul conurilor și bastonșelor (segmental extern al fotoreceptorilor)
10. Stratul pigmentar (format din epiteliul pigmentar retinian)

Organizarea retinei se face atât în coloane verticale cât și prin conexiuni între aceste coloane.

Fotoreceptori sunt situați spre exterior astfel ca lumina traversează toate straturile retinei senzoriale pentru a ajunge la nivelul segmentelor externe, bastonșe și conuri. La nivelul fotoreceptorilor are loc fototransducția semnalului luminos în semnal nervos. Fotoreceptori fac sinapsă cu celulele bipolare și acestea din urmă fac sinapsă cu celulele ganglionare. Celule ganglionare transmit semnalele nervoase prin prelungirile axonale care formează nervul optic spre creier pentru a fi analizate și interpretate ca imagine .

Coloane verticale (fotoreceptori- celule bipolare-celule ganglionare) sunt interconectate prin celulele orizontale și amacrine pentru o corectă procesare a semnalului la nivelul retinei.

Retina având origine neuroectodermala prezintă o barieră hemato-retiniană pentru a proteja celulele nervoase retiniene. Această barieră este formată la exteriorul retinei de către epiteliul pigmentar și la interior de celulele endoteliale prin jonctiuni strânse și absența fenestrărilor endoteliale ale capilarelor vaselor proprii retiniene.

Epiteliul pigmentar retinian

Este format dintr-un singur strat de celule epiteliale între care există jonctiuni strânse care împiedică comunicarea directă între tunica vasculară și retina. Epiteliul pigmentar îndeplinește mai multe roluri:

- Prin prezența granulelor de melanină absoarbe lumina în exces și reduce reflexia creând o cameră obscură
- Formează bariera hemato-retiniană externă
- Fagocitează discurile degradate ale segmentelor externe ale fotoreceptorilor
- Asigură nutriția celulelor retiniene din 2/3 externe
- Îndepărtează produși de catabolism din retina
- Rol de depozit al vitaminei A

Fotoreceptori (Celulele cu conuri și bastonase)

Celulele cu conuri și bastonase sunt celulele retiniene specializate în fototransducția semnalului luminos în semnal nervos. Raportul dintre celule cu bastonase și celulele cu conuri este de 20:1. Celulele fotoreceptoare prezintă trei segmente:

- un segment extern care are forma de baston sau de con. Deoarece proteina implicată în fototransducție este o proteină transmembranară, membrana fotoreceptorului se plicaturează formând până la 1000 de discuri. Prin plicaturarea membranei la nivelul discurilor se obține o suprafață membranară foarte mare. Vom avea o cantitate mare din această proteină la nivelul fiecărui segment extern al celulelor fotoreceptoare. Această organizare a membranei explică sensibilitatea mare a fotoreceptorilor, fiind necesare doar 50-70 de cuante de lumină (fotoni) pentru a obține un răspuns. Discurile se produc în continuu de-a lungul vieții. Discurile noi împing discurile vechi spre periferie. Cele mai periferice discuri se degradează și vor fi fagocitate de epiteliul pigmentar.
- segmentul intermediar sau central, nu se deosebește de al altor celule. La acest nivel se găsește nucleul, organellele celulare.
- segmentul intern și segmentul sinaptic realizează conexiuni cu celulele bipolare în organizarea pe verticală (coloane retiniene) și cu celulele orizontale în organizarea pe orizontală.

Celulele cu bastonase.

Denumirea este dată după forma segmentului extern care are forma binenteles de baston. Aceste segmente externe sunt formate din discuri suprapuse de până la 100, care se formează prin veziculare și apoi internalizarea membranei externe celulare. Conțin o singură substanță fotosensibilă numită rodopsină formată din opsină și cis-retinal. Fotoreceptori au o sensibilitate crescută la lumină și sunt responsabili de vederea scotopică, monocromatică. Celulele cu baston

sunt situate la periferie si absente in fovee. Pentru a creste sensibilitatea la lumina a retina exista o convergenta de 100:1 (bastonase: celule ganglionare) in periferie si mai mica 10:1 spre macula.

Celulele cu conuri

Fotoreceptori implicati in vederea diurna (fotopica), cromatica au forma segmentelor externe in forma de con de aceea acestia se mai numesc si celule cu conuri. Aceste segmente contin discuri care sunt formate din plicaturarea membranei celulare externe Sunt de trei tipuri fiecare tip avand un pigment fotosensibil pentru cele trei culori fundamentale verde, rosu, albastru. Distributia in retina este neomogena. In fovee (zona centrala a maculei) intalnim numai celule cu conuri, ca apoi in retina periferica densitatea acestora sa scada cu indepartarea de macula. Convergenta este mai mica decat pentru celulele cu bastonase pentru ca in fovee raportul sa fie de 1:1 (conuri: celule ganglionare).

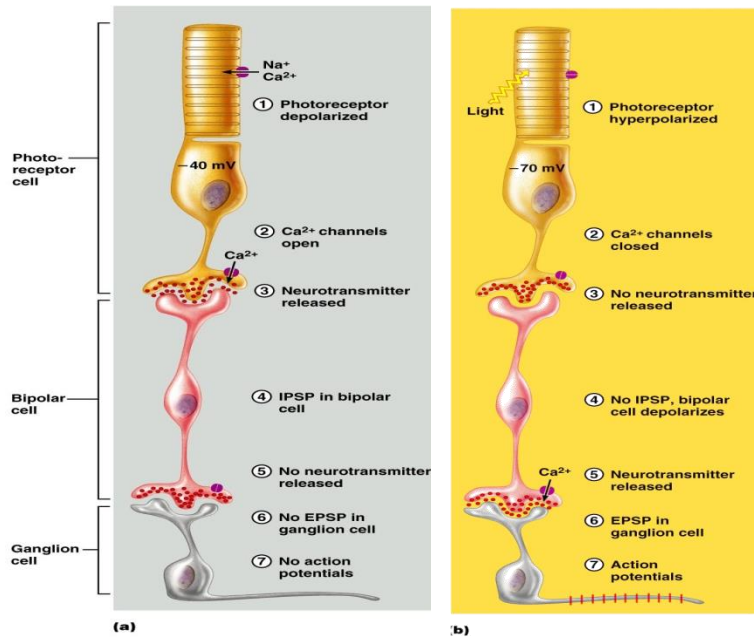
Fototrasductia

Se realizeaza in segmentul extern al fotoreceptorilor. Proteina centrala este in celulele cu bastonase rodopsina. Aceasta face parte din G-protein-coupled receptor (GPCR) family (familia proteinelor G cuplate cu un receptor). Rodopsina are o forma inactiva si o forma activa. Forma activa (rodopsina activata) declanseaza o cascada cu rol in amplificarea semnalului generand o hiperpolarizare a celulei.

Rodopsina este formata din opsina si cis-retinal. Atunci cand o cuanta de lumina ajunge la nivelul rodopsinei aceasta trece prin forme instabile de scurta durata pana ajunge in stadiul de metarodopsina II sau rodopsina activata. Durata de viata a acaestei forme este de sub o secunda timp in care initiaza cascada celulara de amplificare a raspunsului. Rodopsina activata se desface in trans-retinal si opsina. Trans-retinalul cu ajutorul unei izomeraze trece din nou in forma cis si recompune cu opsina rodopsina.

In cazul in care trans retinalul este in exces acesta poate fi convertit in tran-retinol (vitamina A) si depozitat ulterior in celulele epiteliale pigmentar.

In lipsa stimulării fotoreceptorilor sunt depolarizati datorita unui flux continuu de Na care are loc prin canalele de Na cuplate cu GMPc. Acesta depolarizare persistenta este insotita de eliberarea permanenta de neurotransmitator (glutamat). Stimularea fotoreceptorilor cu cuante de lumina determina activarea rodopsinei care activeaza mai multe molecule de transducina. Transducina activeaza mai multe molecule de fosfodiesteraza care la randul lor transforma GMPc in GMP. Prin scaderea GMPc canalele de Na se inchid se intrerupe influxul de ioni pozitivi si celula se hiperpolarizeaza si eliberarea de glutamat inceteaza.



Transmiterea semnalului nervos.

În lipsa stimulării luminoase, fotoreceptorii sunt depolarizați și eliberează în mod continuu neurotransmiter. Acesta este eliberat în fanta sinaptică formată de fotoreceptor și celula bipolară. Prin cuplarea cu receptori postsinaptici se obține un potențial postsinaptic inhibitor. Prin inhibarea continuă a celulelor bipolare de către fotoreceptori, acestea nu descarcă neurotransmiter, celulele ganglionare nu sunt stimulate și în concluzie nu vor transmite potențiale de acțiune spre creier.

Stimularea fotoreceptorilor produce o hiperpolarizare puternică care blochează eliberarea de neurotransmiter. Celulele bipolare ies de sub potențialul postsinaptic inhibitor și vor descărca neurotransmiteri (glutamat) în fanta sinaptică care o formează cu celulele ganglionare. Stimularea celulelor ganglionare produce potențiale de acțiune conduse prin terminațiile axonale care formează nervul optic spre creier. În celulele fotoreceptoare și celulele bipolare curenții formați sunt de tip electronic, decrementar, iar în celulele ganglionare sunt de tip potențial de acțiune.

Circuitele neuronale ale retinei

Există două tipuri mari de circuite neuronale la nivelul retinian:

1. unul nou la nivelul maculei (conuri – celule bipolare - celule ganglionare), și
2. unul vechi la nivelul periferiei (bastonase – celule bipolare - amacrine – celule ganglionare)

Circuitul care pornește de la celulele cu conuri conduce de 2-5 ori mai rapid semnalele vizuale

Fotoreceptorii la nivelul sinapsei cu celulele bipolare și celulele orizontale descarcă glutamat, un neurotransmiter excitator.

Celulele orizontale și amacrine

Inhibitia laterala – rolul celulelor orizontale. O data ce un fotoreceptor este stimulat determina in celule bipolare stimulare (prin scaderea inhibitei) si in celulele ganglionare o descarcare de potentiale de actiune. Totodata fotoreceptorii prin intermediul celulelor orizontale inhiba puternic celulele bipolare din coloanele laterale cu incetarea descarcarii de catre celulele ganglionare de potentiale de actiune.

- Este importanta in toate sistemele vizuale
- Asigura cresterea contrastului vizual
- Conexiunea laterala prin intermediul celulelor orizontale sustine inhibitia laterala (GABA)
 - inhibitie laterala suplimentara este asigurata de celulele amacrine

Celulele ganglionare retiniene

Celulele ganglionare fac convergenta semnalului si de asemenea transmit semnalul nervos sub forma de potentiale de actiune spre creier. Avem in jur de 1.600.000 celule ganglionare care preiau informatia de la aproximativ 100.000.000 bastonase si 3.000.000 conuri. Prelungirile axonale ale celulelor ganglionare au o prima parte nemielinizata la nivelul retinei (stratul fibrelor nervoase) si o parte mielinizata formand nervul optic, chiasma si tracturile optice.

Exista trei tipuri de celule ganglionare

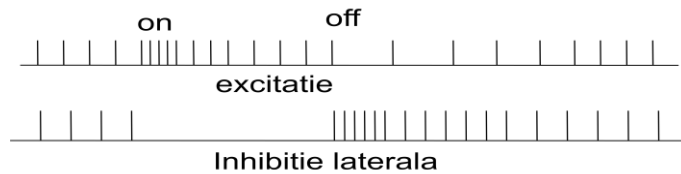
- Celule W constituie 40% din celulele ganglionare, transmit semnalul vizual de la celulele cu bastonase si sunt implicate in vederea scotopica
- Celulele X reprezinta 55% din total, transmit semnalul vizual de la celulele cu conuri si asigura vederea fotopica, colorata.
- Celule Y reprezinta 5% din total dendritele se raspandesc pe campuri foarte largi si raspund la miscari rapide sau schimbari rapide ale intensitatii luminii avand functie de avertizare si determina miscarea ochilor spre stimulul luminos.

Excitatie celulelor ganglionare

In mod didactic in prima parte am aratat ca celulele ganglionare fie descarca potentiale de actiune fie nu. In realitate celulele ganglionare descarca spontan cu o frecventa constanta potentiale de actiune cuprinsa intre 5 – 40 /sec. Stimularea celulelor ganglionare creste rata de descarcare iar inhibitia scade aceasta rata.

Modificarile de intensitate a luminii determina modificarea ratei impulsurilor la deschidere (on) sau inchiderea(off) unui spot luminos:

- Deschiderea luminii: raspuns on-off
- Inchiderea luminii: raspuns off-on



Conducerea semnalului nervos

Semnalele nervoase sunt conduse pe calea nervilor optic spre creier. La nivelul chiasmei optice fibrele nazale din nervi optici decuseaza trecand pe partea contralaterala si formand cu fibrele temporale ipsilaterale tracturile optice. Din aceste tracturi optice se desprind fibre care fac sinapsa cu neuroni din nucleii pretectali. Majoritatea fibrelor din tracturilor optice fac sinapsa cu neuronii de releu din corpi geniculati laterali. De aici pornesc fibre nervoase numite radiatii optice care se proiecteaza in polul posterior occipital pe marginea fisuri calcarine.

Cortexul vizual

1. Cortexul vizual primar

- Ocupa aria fisurii calcarine si se extinde catre polul occipital
- Semnalele din macula au proiectie in apropierea polului occipital
- Semnalele din retina periferica se proiecteaza in cercuri concentrice anterior de pol
- Structura: coloane neuronale cu diametru de 30-50 nm continand fiecare peste 1000 de neuroni, semnalele vizuale ajungand in stratul 4 si de aici urca spre straturile 1, 2, 3 curaspandire laterala pe distante scurte, fie coboara in straturile 5, 6 cu raspandire laterala pe distante mari
- Picaturile de culoare = zone aflate intre coloanele primare, primesc semnale laterale si raspund specific la semnalele de culoare

2. Aarii corticale secundare

- Situate anterior superior si inferior de cortexul primar vizual
- Analiza si interpretarea imaginilor:

Miscarile globilor oculari

Miscarile voluntare sunt asigurate de aarii din lobul frontal prin tracturile frontotectale. Miscarile involuntare de fixatie sunt controlate de aarii secundare din lobul occipital prin tracturile occipitotectal si occipitocolicular. De la nucleii pretectali si coliculari sup pornesc semnale prin fasciculul longitudinal median spre nucleii nervilor 3, 4, 6. Interconexiunile dintre cei trei nucle de origine ai nervilor 3, 4, 6 se realizeaza prin intermediul fasciculului longitudinal medial. Inervatia musculaturii extrinseci a globului ocular este asigurata de nv 3, 4, 6 astfel:

- nv III: mm drept intern, mm drept superior, mm drept inferio si mm oblic inferior;
- nv IV: mm oblic superior.
- nv VI: mm drept extern.

Reflexul pupilar fotomotor

Cand cantitatea de lumina care patrunde in ochi este prea mare, pupila se micsoareaza ajustand astfel cantitatea de lumina care patrunde in ochi obtinandu-se astfel o vedere clara atat in mediu luminat cat si intunecat. Este un reflex rapid care modifica diametrul pupilar de la 1,5 mm in lumina puternica pana la 8 mm in intuneric. Deasemenea determina cresterea profunzimii campului vizual in lumina puternica prin ingustarea fasciculului de lumina care ajunge la retina.

Exista un raspuns parasimpatic si un raspuns simpatic. Raspunsul parasimpatic este cel mai important.

Lumina patrunde in ochi si stimuleaza retina determinand impulsuri care ajung prin fibre nervoase nazale care decuseaza in nucleii pretectali de parte opusa si prin fibrele nervoase temporale in nucleii pretectali de aceeasi parte. Neuroni pretectali de ambele parti stimuleaza neuronii din ambii nucleii Edinger-Westfal, astfel ca o stimulare unilaterala produce un contractie pupilara simetrica. Neuronii preganglionari din nucleul Edinger-Westfal transmit fibre pe calea nervului III pana la ganglionul ciliar. Fibrele postganglionare din ganglionul ciliar inerveaza sfincterul pupilar.

Raspunsul simpatic determina contractia muschiului dilatator al irisului si implica mai multi neuroni:

- Primul neuron este situat in hipotalamus
- Al doilea neuron se afla in coarnele intermediolat ale maduvei spinarii la nivel C8-T2
- Al treilea neuron se afla in ggl cervical superior

Acomodatia

Este mecanismul in care ochiul isi modifica puterea de refractie prin modificarea curburilor cristalinului. Prin modificarea curburilor cristalinului (cristalin mai bombat-raze de curbura mai mici) se modifica punctul conjugat al retinei. Daca intr-un ochi emetrop nonacomodativ punctul conjugat (punctul remotum) al retinei este la infinit, in cazul in care ochiul acomodeaza punctul conjugat se apropie de globul ocular. Cu cat acomodatie este mai mare cu atat puterea refractiva a cristalinului si a intregului ansamblu de dioptri creste astfel ca punctul conjugat este mai apropiat de ochi.

Cristalinul isi modifica curburile datorita reflexului de acomodare. Acest reflex **nu** este inascut, el este un reflex conditionat de prins dupa varsta de 6 luni o data cu dezvoltarea functiei maculare.

Efortul acomodativ implica trei structuri:

- Muschiul ciliar (fibre circulare in principal)
- Ligamentele zonulare
- Cristalinul.

Prin contractia muschiului ciliar se produce micsoarea aperturi descrise de acesta , urmata de relaxarea zonulelor si bombarea (accentuarea curburilor sau cresterea convexitati) cristalinului datorita elasticitati

proprii. Acest efort acomodativ este cu atât mai important cu cât obiectele privite sunt mai apropiate de ochi.

Acomodatia (reflexul acomodativ)

Aferentele sunt asigurate de nervul optic, tracturile optice și apoi radițiile optice. Dacă imaginea proiectată la nivel cerebral este neclară (defocusată), impulsuri plecate prin tracturile occipito-tectale și occipito-colicurare determină stimularea nucleilor Edinger-Westphal. Asemănător căi eferente reflexului pupilar fibre preganglionare intră în componenta nervului II și fac sinapsă cu neuronul 2 al căii în ganglionul ciliar. De la acești neuroni pornesc fibre scurte care inervează componenta circulară a mușchiului ciliar. Sistemul vegetativ simpatic implică la fel ca și în reflexul pupilar trei neuroni:

- Primul neuron este situat în hipotalamus
- Al doilea neuron se află în coarnele intermediare ale măduvei spinării la nivel C8-T2
- Al treilea neuron se află în ggl cervical superior

NB. Un mecanism care se explică reglarea fină a acomodatiei provine din faptul că punctul focal pentru lumina verde este anterior punctului focal pentru roșu la același grad de acomodatie. Dacă imaginea recepționată de celulele cu conuri pentru verde este mai clară decât imaginea recepționată de celulele cu conuri pentru roșu înseamnă că întreaga imagine se formează în spatele retinei și reflexul va întârzi acomodatia. Invers dacă imaginea furnizată de celulele cu conuri pentru roșu este mai clară decât pentru verde înseamnă că întreaga imagine se formează în fața retinei și reflexul va scădea efortul acomodativ. În situația în care imaginea furnizată de conurile pentru roșu și pentru verde este similară atunci punctul focal este pe retina și nu trebuie făcute ajustări ale acomodatiei.

Notiuni de optica

Elemente de optica:

Lumina are natură duală corpusculară și ondulatorie, reprezentată de fotoni, cuante de energie electromagnetică. Energia unei cuante de lumina, foton, se poate calcula prin produsul dintre h (constanta universală Planck) și frecvența ($E=h \times \text{frecv}$).

viteza de propagare a luminii în vid este de 300000 km/s. Aceste unde se propagă drept priunt-un mediu omogen și transparent. Razele luminoase având proprietăți ondulatorii pot fi focalizate, reflectate, refractate, absorbite și/sau transmise. Toate aceste fenomene au importanță în mecanismul vederii.

Optica este știința care studiază lumina și interacțiunea acesteia cu materia. Optica studiază lumina sub diferite fenomene. Optica ondulatorie studiază fenomenele legate de caracterul de undă al lumini cum ar fi difracția, interferența sau propagarea. Optica corpusculară studiază fenomenele legate de natura corpusculară emisia și absorția undei, efectul fotoelectric. Totuși, în această parte de curs vom studia doar optica geometrică care operează cu razele de lumina fără a lua în considerare natura duală undă-corpusul al lumini.

Reflexia si refractia lumini

Reflexia lumini consta in intoarcerea partiala in mediu din care a venit a unei luminoase atunci cand intalneste o suprafata de separare. Unda incidenta numita si raza incidenta, normala la suprafata in punctul de incidenta si raza reflectata se gasesc in acelasi plan. Unghiul de reflexie (intre raza reflectata si normala la suprafata) este egal cu unghiul de incidenta (intre raza incidenta si normala la suprafata).

Refractia lumini reprezinta in schimbarea directie de propagare a lumini la trecerea prin suprafata de separare a doua medii transparente. Raza incidenta , normala in punctul de incidenta la suprafata de separare si raza refractata sunt in acelasi plan, exista o relatie intre unghiul de incidenta (i) si unghiul de refractie (r) astfel: $n_1 \sin i = n_2 \sin r$; $\sin i / \sin r = n_2 / n_1$. Indicele absolut este diferit pentru fiecare mediu: n apa 1,333; n corneea 1,337, n sticla 1,5.

Refractia totala

Daca indicele mediului razei incidente este mai mare decat indicele mediului unde refractate atunci conform ecuatiei $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ ($\sin i = n_2 / n_1 \sin r$; $\sin i > \sin r$; $i > r$) unda refractata se apropie de normala. Daca in schimb mediul razei incidente este mai mic decat mediul unde refractate conform rationamentului descris anterior unghiul unde refractate este mai mare ($r > i$). Exista o valoare a unghiului de incidenta (numit unghi limita) de la care refractia nu se mai produce, $\sin r = 1$ sau $r = 90^\circ$. Unghiul de incidenta este egal cu $\sin i = n_2 / n_1 \sin r$; $\sin i = n_2 / n_1$. Un exemplu in acest sens este trecerea lumini din apa in aer. Daca unghiul razei refractate este unghiul limita (adica 90°) atunci $\sin i = 1 / 1,333$ ($i = 48^\circ$) astfel ca orice raza care cade sub un unghi mai mare decat acesta va suferi un fenomen de reflexie totala

Corneea se poate compara grosier cu un dioptru sferic. Interfata acestui dioptru este intre aer si filmul lacrimal. Se aproximeaza ca indicele de refractie al corneei este 1,337. In realitate se poate discuta de doi dioptri respectiv dioptrul prezentat anterior (fata anterioara a corneei cu aer) si un dioptru posterior reprezentat de fata posterioara a corneei cu umoarea apoasa. Datorita indicilor apropiati ai corneei si umorii apoase, dioptru posterior al corneei are valoare mica si majoritatea masuratorilor oftalmologice neglijeaza acest dioptru.

Dioptru sferic:

Dioptru este suprafata care separa doua medii optice transparente, omogene cu indici de refractie diferiti. Putem clasifica dioptru in : dioptru plan, dioptru sferic, dioptru cilindric, dioptru neregulat. In cazul dioptrului sferic suprafata de separare intr cele doua medii are forma unei calote sferice.

Se definesc dioptrului sferic mai multe elemente:

- centrul dioptrului
- varful dioptrului

- axa optica principala
- axa optica secundara
- raza dioptrului

Luand in considerare legile refractie si aproximatia Gaussiana se enunta prima relatie fundamentala a dioptrului:

$$\frac{n_2}{x_2} - \frac{n_1}{x_1} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

Legenda: R=raza de curbura, x_1 distanta la care se afla obiectul, x_2 =distanta la care se formeaza imaginea. Denumim focar locul unde se formeaza imaginea unui obiect aflat la infinit. Pentru un dioptru sferic exista doua focare: f_1 si f_2 de o parte si de alta a dioptrului. Distanta pe axa optica principala intre focar si varful dioptrului se numeste distanta focala.

Daca obiectul se afla la infinit pe partea convexa ($x_1 = \infty$, $n_2/x_2 = (n_2 - n_1)/R$; $x_2 = R * n_2 / (n_2 - n_1)$ adica $f_1 = R * n_2 / (n_2 - n_1)$). Cand obiectul se afla la infinit dar pe partea opusa dioptrului conform ecuatie anterior descrisa ($x_2 = \infty$, $n_1/x_1 = (n_2 - n_1)/R$; $x_1 = R * n_1 / (n_2 - n_1)$), distanta focala

Numim puterea unui dioptru sferic inversul distantei focale (P (dpt)= $1/f$). Astfel un dioptru sferic va avea o putere dioptrica mai mare cu cat distanta focala este mai mare. Deoarece distanta focala se afla intr-o relatie direct proportionala cu raza de curbura a dioptrului rezulta ca puterea dioptrului sferic este mai mare cu cat raza de curbura este mai mica.

Asadar pentru un dioptru cu raza de curbura mica, distanta focala este deasemenea mica ($f = R * n_1 / (n_2 - n_1)$), dar puterea in dioptri este mare $P = 1/f$. Similar pentru un dioptru cu raza mare, distanta focala este mare si puterea este mica.

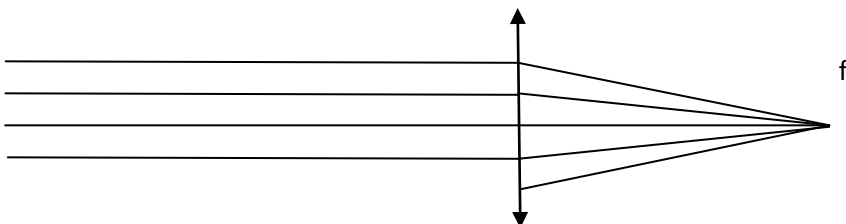
In cazul corneei r de curbura este aproximativ 7,5 mm ($7,5 * 10^{-3}$ mm), distanta focala $f = 7,5 * 10^{-3} \text{ mm} * 1 / (1,337 - 1) = 7,5 * 10^{-3} / 0,337 = 22,25 * 10^{-3} = 0,02225$.

P corneei = $1/f = 1/0,02225 = 44,93 \text{ dpt}$

Lentilele optice

Lentilele optice sunt medi transparente, omogene delimitate de doi dioptri. Lentilele sunt pozitive sau convergente si negative sau divergente.

Lentilele convergenta se numesc si pozitive deoarece au focarul pozitiv, avand razele de curbura convexe.



Relatia punctelor conjugate sau prima relatie fundamentala

O lentila putem sa o privim ca pe un ansamblu de doi dioptri. Imaginea obiectului primului dioptru devine obiect pentru al doilea dioptru.

Pornim de la prima lege fundamentala a dioptrului sferic putem calcula relatia punctelor conjugate:

Ecuatia pentru primul dioptru este: $\frac{n_2}{x'_2} - \frac{n_1}{x_1} = \frac{n_2 - n_1}{R_1}$. Deasemenea al doilea dioptru $\frac{n_1}{x_2} - \frac{n_2}{x'_1} = \frac{n_1 - n_2}{R_2}$.

Avan in vedere ca lentilele sunt foarte subtiri (grosimea lentilei este foarte mica), putem rationa ca x'_2 si x'_1 sunt aproximativ egale cu d' rezulta

$$\frac{n_2}{x'_2} - \frac{n_1}{x_1} - \frac{n_2}{x'_1} + \frac{n_1}{x_2} = \frac{n_2 - n_1}{R_1} + \frac{n_1 - n_2}{R_2}, \frac{n_2}{d'} - \frac{n_1}{x_1} - \frac{n_2}{d'} + \frac{n_1}{x_2} = (n_2 - n_1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right);$$

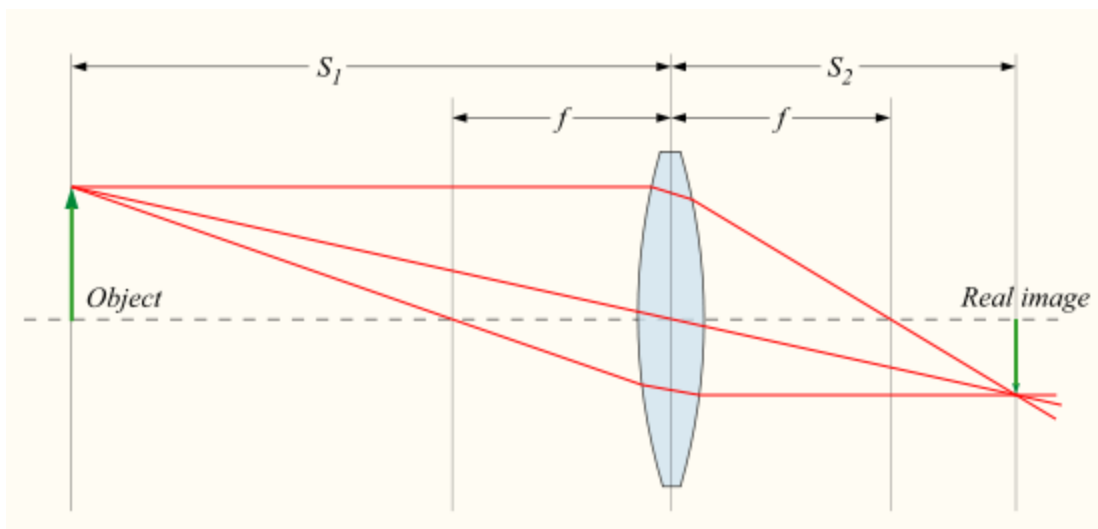
$$\frac{n_1}{x_2} - \frac{n_1}{x_1} = (n_2 - n_1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

$$n_1 \left(\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} \right) = (n_2 - n_1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) = 1/f$$

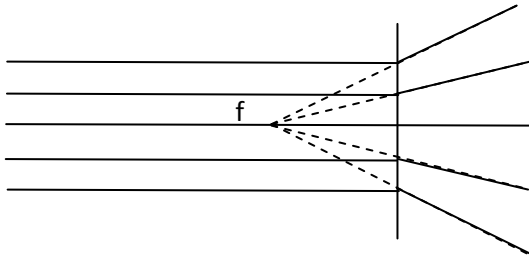
Marirea liniara transversala a lentilei subtiri este: $y_2/y_1 = x_2/x_1$ sau $y_2/x_2 = y_1/x_1$. Cu cat imaginea se formeaza mai aproape de lentila cu atat va fi mai mica.



Puterea focala a lentilei subtiri este data de formula: $P = 1/f$

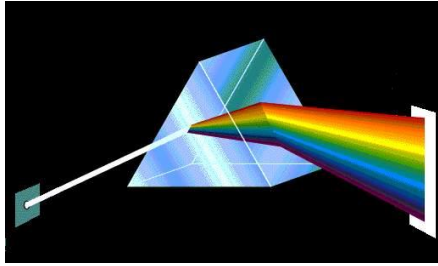
Lentila divergenta

Lentila divergenta are una sau ambele suprafete concave, astfel ca acestea se mai numesc si lentile concave. Proprietatea fundamentala a acestor lentile este de a dispersa razele de lumina paralele. Focarul acestei lentile este virtual si este situat de parte opusa, razelor care se imprastie:



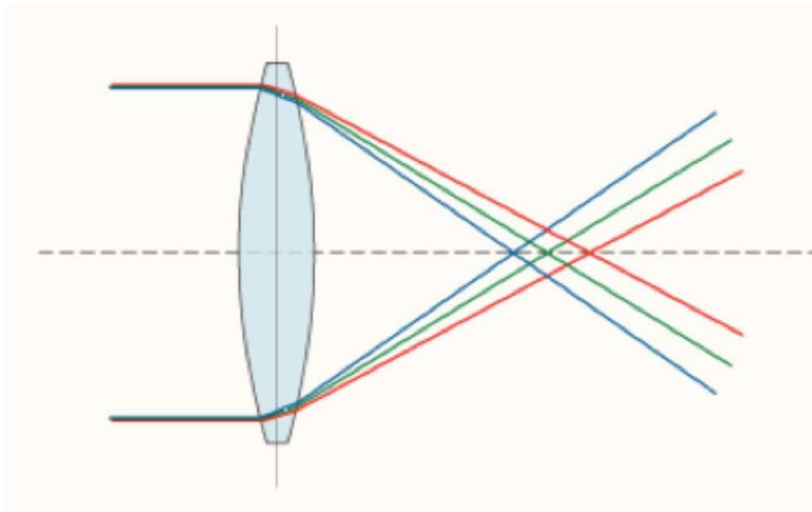
Un alt aspect al refractie este ca indicele de refractie (n) al unui mediu asa cum s-a prezentat in prima partea a cursului are o valoare specifica. Totusi acest indice variaza si cu frecventa sau lungimea de unda a lumini care traverseaza mediul. Lumina este un amestec de unde din spectru vizibil cu lungimi diferite (rosu, portocaliu, galben, verde albastru, indigo). In mod obisnuit acestea se propaga impreuna creand efectul de lumina alba). Cand lumina traverseaza o suprafata de separare optica (doua medii transparente omogene cu indici diferiti), lumina sufera se separa in culorile care o compun datorita indicelui de refractie care variaza si cu lungimea de unda, acest fenomen de separare numit si fenomene de dispersie sau imprastiere.

Exemplul clasic care pune in evidenta fenomenul de dispersie este trecerea lumini prin prisma optica:



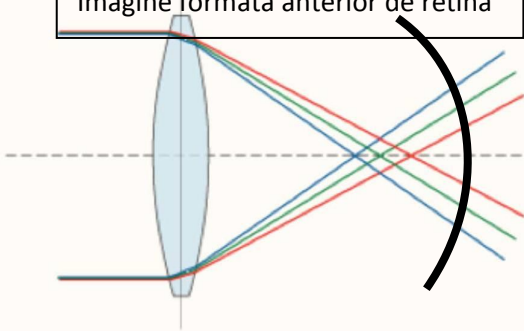
Deasemenea si lentilele sferice determina dispersia lumini astfel ca pentru o lentila convergenta punctul focal pentru albastru este in fata punctului focal pentru verde si acesta in fata punctului focal pentru rosu.

Deoarece distantele intre punctele focale este mica in mod obisnuit ochiul uman observa dificil fenomenul de dispersie. Cand fenomenul de dispersie determina distante mari intre aceste puncte cum este cazul curcubeului acest fenomen este usor observabil.



Acest fenomen explica de ce in anumite situatii vedem mai clar imaginea obiectelor de o anumita culoare fata de alta. Astfel, Cand imaginea formata de sistemul de dioptri (corneea, cristalin), este defocusata anterior, adica se formeaza anterior de retina imaginea obiectelor in rosu este mai clara decat a celor in verde pentru ca imaginea in rosu este mult mai apropiata de retina decat cea in verde. Invers, cand imaginea obiectelor in verde este mai clara decat imaginea obiectelor in rosu rezulta ca imaginea obiectelor se formeaza in spatele retinei.

Imagine formata anterior de retina



Imagine formata posterior de retina

