

UNIVERZITA KARLOVA  
FARMACEUTICKÁ FAKULTA V HRADCI KRÁLOVÉ  
KATEDRA BIOFYZIKY A FYZIKÁLNÍ CHEMIE

# **Biofyzika vidění**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Hradec Králové 2018

Aneta Jelínková

## **Poděkování**

Ráda bych zde poděkovala vedoucí bakalářské práce Mgr. Monice Kuchařové, Ph.D., za její cenné rady a čas, který mi věnovala při řešení dané problematiky.

Dále bych ráda poděkovala mé rodině a přátelům, za podporu během studia.

„Prohlašuji, že tato bakalářská práce je mým původním autorským dílem a veškeré myšlenky, data a jejich zdroje, z nichž jsem pro zpracování čerpala, řádně cituji. Práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.“

V Hradci Králové, 11.5.2018

podpis

# Obsah

1	Úvod.....	6
2	Optika.....	7
2.1	Spektrum elektromagnetického záření.....	7
2.2	Světlo.....	8
2.3	Optické prostředí.....	9
2.4	Šíření světla.....	9
2.4.1	Zákon odrazu světla.....	10
2.4.2	Zákon lomu světla.....	11
2.4.3	Disperze.....	11
2.5	Vlnová optika.....	12
2.5.1	Interference.....	12
2.5.2	Ohyb světla.....	14
2.5.3	Polarizace.....	15
2.6	Kvantová optika.....	15
2.7	Účinek světla na organismy.....	16
2.7.1	Účinek viditelného světla.....	16
2.7.2	Účinek UV záření.....	17
2.7.3	Účinek IR záření.....	18
3	Optika lidského oka.....	19
3.1	Hlavní optické části oka.....	19
3.1.1	Zevní vazivová vrstva.....	19
3.1.2	Střední vrstva.....	20
3.1.3	Vnitřní vrstva.....	22
3.1.4	Zrakové centrum mozku.....	23
3.2	Optická soustava oka.....	23
3.3	Zraková ostrost.....	25
4	Mechanismus vnímání světelných podnětů.....	28
4.1	Struktura sítnice.....	28
4.1.1	Tyčinky.....	29

4.1.2	Čípky .....	29
4.1.3	Části sítnice .....	30
4.2	Citlivost a adaptace oka .....	31
4.3	Biofyzika tyčinek .....	32
4.4	Biofyzika čípků .....	32
4.5	Barevné vidění .....	33
5	Refrakční vady oka .....	35
5.1	Sférické ametropie .....	35
5.1.1	Dalekozrakost.....	35
5.1.2	Krátkozrakost.....	37
5.1.3	Presbyopie.....	40
5.2	Asférické ametropie .....	40
5.3	Barvoslepost.....	41
5.4	Šeroslepost .....	41
5.5	Šedý zákal .....	42
6	Glaukom.....	44
7	Korekce očních vad.....	46
7.1	Brýle.....	46
7.2	Kontaktní čočky .....	47
7.3	Refrakční chirurgie.....	47
8	Závěr .....	50
9	Seznam obrázků .....	51
10	Citovaná literatura .....	53

# 1 Úvod

Jedním z nejdůležitějších lidských smyslů je zrak. Pomocí oka jakožto smyslového orgánu je člověk schopen rozpoznat vizuální podněty z okolí. Vidění již od pradávna chápeme jako schopnost zrakového orgánu vnímat barvy a jas. Celá má bakalářská práce s názvem “Biofyzika vidění” pojednává o základních zákonitostech optiky, předkládá anatomickou stavbu oka, popisuje princip vidění, rozebírá vady oka a nastiňuje možnosti jejich případné korekce a léčby, která je na velmi pokročilé úrovni.

Vidění je velice komplikovaný fyziologický proces, skládající se z velkého množství na sebe navazujících procesů. Při fyziologickém stavu oka pronikají světelné paprsky optickou soustavou do oka tak, aby bylo jejich ohnisko na sítnici, kde se vytvoří obraz pozorovaných předmětů. V místě vzniku sítnicového obrazu dojde k podráždění fotoreceptorů, které chemickým procesem převádějí toto podráždění na elektrický impuls, a vzniklý signál je veden zrakovou dráhou do mozku.

Mnoho lidí trpí optickými vadami, které jsou příčinou znehodnocení obrazu na sítnici, kdy vzniká neostrý obraz. Optické poruchy mohou způsobit zhoršení celkového procesu vidění nebo v horším případě zapříčinit úplnou ztrátu vidění. Bohužel ani nejlepší dostupné technologie nejsou schopny zajistit dokonalou náhradu funkce nervové dráhy.

## 2 Optika

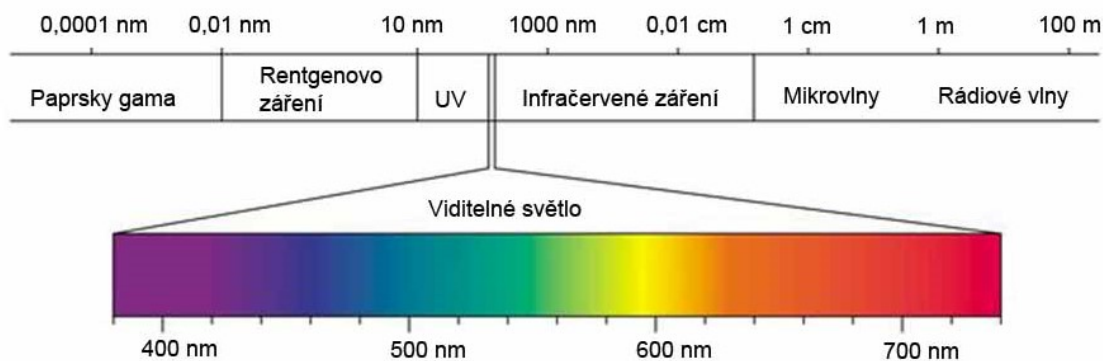
Studiem světla se zabývá obor fyziky zvaný optika, kterou můžeme definovat jako nauku o záření. Optika zkoumá světlo a jiné druhy elektromagnetického záření z mnoha úhlů, na základě různých přístupů, ovšem nezanedbatelnou roli hraje původ, podstata šíření záření, ale také zákonitosti týkající se světelných jevů. Předmětem jejího zájmu je energie záření, následné přeměny energie a interakce, ke kterým dochází mezi energií a látkou. Elektromagnetické vlnění ovlivňuje fotoreceptory oka a následně vyvolává zrakový vjem. <sup>[1, 2]</sup>

### 2.1 Spektrum elektromagnetického záření

Optika studuje spektrum elektromagnetického záření, které můžete vidět na obrázku č.1, ovšem nejdůležitějším předmětem jejího zkoumání je oblast viditelného světla, infračerveného a ultrafialového záření. Každé z těchto záření vyvolává odlišný účinek na organismus.

Optické záření můžeme dělit na infračervené záření o vlnových délkách v rozmezí 760 nm-1 mm, dále viditelné záření neboli světlo o vlnových délkách 380-760 nm a ultrafialové záření s vlnovou délkou v intervalu 100-380 nm.

Oko má rozdílnou citlivost na různé typy záření o různých vlnových délkách. Působením viditelného světla o vlnové délce v rozmezí 380-760 nm dochází k ovlivnění fotoreceptorů lidského oka a následnému vyvolání zrakového vjemu. Jinak je tomu u infračerveného a ultrafialového záření, neboť tyto dva druhy záření zrakový vjem nevyvolávají. Každá vlnová délka světla je zodpovědná za specifickou barvu světla, jinak řečeno, vyvolá rozdílný zrakový vjem. Viditelné záření se vyznačuje v oblasti nejkratších vlnových délek barvou fialovou, naopak nejdelší vlnové délky odpovídají barvě červené. Pokud světlo obsahuje pouze jednu konstantní vlnovou délku, jedná se o světlo monochromatické. Jako zdroj monochromatického světla slouží například laser. <sup>[1, 3]</sup>



*Obrázek 1: Spektrum elektromagnetického záření<sup>[1]</sup>*

## 2.2 Světlo

Světlo hraje v životě lidí velice důležitou roli. Jeho nedostatek může vést k narušení fyziologických funkcí organismu, ale také k rozvoji psychických problémů. Pro světlo je charakteristický duální charakter, může se projevovat jako vlna i částice. Světlo lze definovat jako elektromagnetické vlnění o vlnových délkách v rozmezí 380-760 nm, jedná se o viditelnou část elektromagnetického záření. Elektromagnetické vlnění je řazeno mezi příčné vlnění, je tvořeno magnetickým a elektrickým polem. Vektor intenzity elektrického pole popisuje elektrickou složku a je značen písmenem  $E$ , vektor magnetické indukce je značen  $B$  a charakterizuje složku magnetickou. Vektory  $B$  a  $E$  jsou kolmé navzájem, ale také na směr šíření. Rychlost světla ve vakuu je  $2,9979 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Světlo se šíří ze světelného zdroje jako vlnění, které je charakterizováno určitou frekvencí a vlnovou délkou. S rostoucí frekvencí se zkracuje vlnová délka a naopak. Platí vztah: <sup>[1, 2, 4, 5]</sup>

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

kde  $\lambda$  je vlnová délka,  $c$  značí rychlost světla a  $f$  vyjadřuje frekvenci světelného vlnění



## 2.3 Optické prostředí

Světlo se šíří různými optickými prostředími, která můžeme dle vlastností dělit na průhledná, průsvitná a neprůhledná. V průhledném prostředí nedochází k rozptylu světla, jedná se například o vakuum, číré sklo nebo čistou vodu. Druhým typem optického prostředí je prostředí průsvitné, pro něj je typický částečný rozptyl i průnik světla, sem můžeme zařadit například tenký papír. V případě neprůhledného prostředí dochází na rozhraní prostředí k odrazu světla nebo pohlcení světla, jako typický příklad slouží zrcadla a zdi.

Optické prostředí můžeme dělit dle jiných vlastností na prostředí homogenní se stejnými optickými vlastnostmi v každém bodě a prostředí nehomogenní, které má v různých místech rozdílné vlastnosti, příkladem mohou být částice prachu ve vzduchu.

V izotropním prostředí je rychlost šíření světla ve všech směrech stejná (vakuum, vzduch), opačným případem je prostředí anizotropní, kde rychlost šíření světla není ve všech směrech stejná, závisí na směru šíření. Jako příklad můžeme uvést anizotropní krystaly. <sup>[3]</sup>

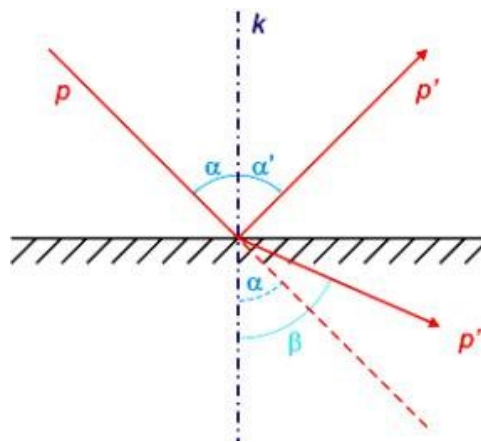
## 2.4 Šíření světla

V průběhu 18. století došlo k vytvoření odlišných teorií týkajících se podstaty světla a objasnění jeho interakcí s hmotou. Jednou z nejstarších teorií je Newtonova korpuskulární teorie, která považuje světlo za proud částic. Přibližně ze stejné doby pochází vlnová teorie nizozemského fyzika Christiaana Huygense. Z Huygensova principu vyplývá skutečnost, že se světlo šíří ve vlnoplochách a zdrojem elementárního vlnění jsou všechny body určité vlnoplochy, jinak řečeno z této teorie vyplývá skutečnost, že se vlnění šíří stejnou rychlostí všemi směry. V izotropním prostředí blízko zdroje jsou tyto vlnoplochy kulové, ovšem v případě, kdy je zdroj vzdálený, považujeme části těchto vlnoploch za roviny.

Studiem dopadu světelných paprsků na optická rozhraní se zabývá optika geometrická, též nazývaná paprsková optika, která pracuje s paprskem jako s modelem světla. Tento druh optiky popisuje šíření světla v prostředích, jejichž rozměry jsou velké ve srovnání s vlnovou délkou světla. Paprsková optika se zabývá především šířením, odrazem a lomem světla. Na základě těchto vlastností můžeme definovat 3 důležité zákony charakterizující dopad světla na rozhraní optických prostředí. Tyto zákony tvoří základ geometrické optiky a vycházejí z Fermatova principu. Dle Fermatova principu se

šíří světlo mezi dvěma body v prostoru nejkratší možnou dobu, po nejkratší možné dráze. Ovšem v případě, kdy dopadá světlo na rozhraní dvou prostředí, dochází k lomu a odrazu světla.

Přímku kolmou k rovině rozhraní a zároveň procházející bodem dopadu paprsku, nazýváme kolmicí dopadu. Tato kolmice určuje spolu s dopadajícím paprskem  $p$  rovinu dopadu. Dopadající paprsek svírá s kolmicí dopadu úhel dopadu  $\alpha$ . Odražený paprsek  $p'$  svírá s kolmicí dopadu úhel odrazu  $\alpha'$ . Jako lomený paprsek označujeme paprsek, který prošel z prvního prostředí do druhého prostředí ( $p''$ ) a s kolmicí dopadu svírá úhel lomu  $\beta$ . Již zmíněné přímky, kolmice a úhly vznikající při dopadu světla na rozhraní prostředí jsou zobrazeny na následujícím obrázku č.2. [1, 3, 5]



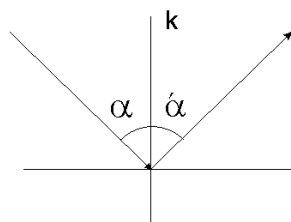
**Obrázek 2: Světlo dopadající na rozhraní optických prostředí** [2]

### 2.4.1 Zákon odrazu světla

Při odrazu světla se paprsek navrací zpátky do prostředí, ze kterého přišel. Zákon odrazu zní – „Úhel odrazu je roven úhlu dopadu a odražený paprsek zůstává v rovině dopadu.“ Zákon odrazu má stejné znění pro světla všech vlnových délek, jelikož úhel  $\alpha'$  nezávisí na frekvenci, respektive vlnové délce dopadajícího světla. Úhel dopadu a odrazu světla je znázorněn na obrázku č.3. [3]

$$\alpha = \alpha' \quad (2)$$

kde  $\alpha$  značí úhel dopadu,  $\alpha'$  úhel odrazu



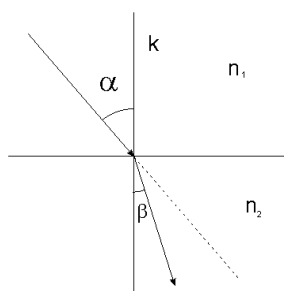
**Obrázek 3: Úhel dopadu a odrazu** <sup>[3]</sup>

### 2.4.2 Zákon lomu světla

Dalším zákonem je zákon lomu světla, nazýván též jako Snellův zákon – „Poměr sinů úhlu dopadu  $\alpha$  a úhlu lomu  $\beta$  je roven poměru rychlostí  $v_1$  a  $v_2$  světla v obou prostředích.“

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (3)$$

Zákon lomu popisuje situace, kdy dochází k šíření světla z jednoho prostředí do druhého, s jinými vlastnostmi, avšak je nutné, aby obě prostředí byly průsvitné nebo průhledné. Na základě těchto skutečností dochází k lomu od kolmice a lomu ke kolmici. Při přechodu světla z opticky řidšího do opticky hustšího prostředí nastává lom ke kolmici, kdy úhel  $\beta > \alpha$ . Opačným případem je lom od kolmice, který můžeme sledovat na obrázku č.4, kdy dochází k průchodu světla z opticky hustšího prostředí do opticky řidšího a úhel  $\beta < \alpha$ . <sup>[2, 3, 4, 5]</sup>

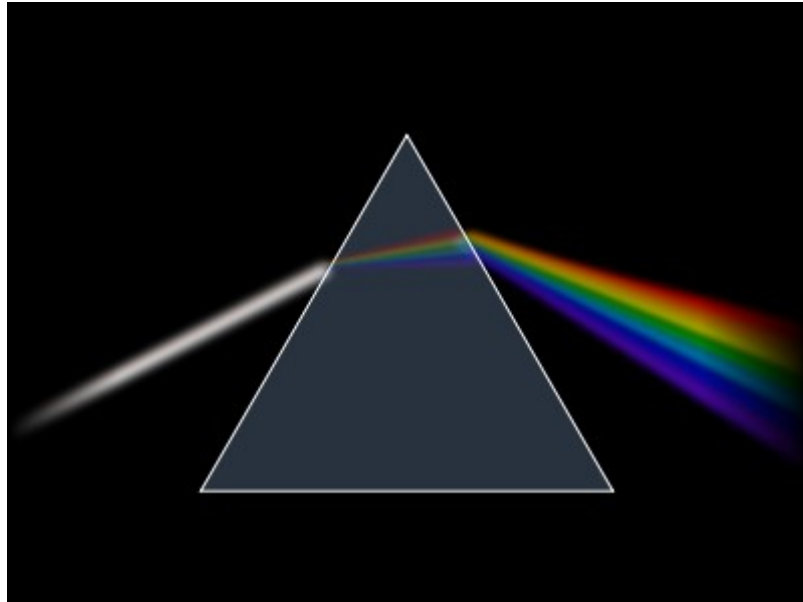


**Obrázek 4: Lom od kolmice** <sup>[4]</sup>

### 2.4.3 Disperze

Dalším neopomenutelným jevem v paprskové optice je disperze neboli rozklad světla. Vhodnou pomůckou k rozkladu bílého světla je optický hranol, jak je vidět na obrázku č.5. Při lomu dochází k rozkladu světla na jednotlivé barevné složky a vzniká hranolové spektrum. Barva fialová se vyznačuje vlnovou délkou nejkratší, barva červená

naopak nejdelší. Podstatou rozkladu světla je rozdílná rychlost  $v$  šíření jednotlivých barevných světél hranolem. Lze říci, že se jedná o důsledek závislosti velikosti rychlosti světla na jeho frekvenci. <sup>[1,4]</sup>



*Obrázek 5: Rozklad bílého světla optickým hranolem* <sup>[5]</sup>

## 2.5 Vlnová optika

Vlnová optika se zabývá vlnovými vlastnostmi světla, difrakčními jevy na mřížkách nebo předmětech, dále interferencí, ohybem světla či polarizací. Typickými jevy pro všechny druhy vlnění jsou interference a difrakce. <sup>[4]</sup>

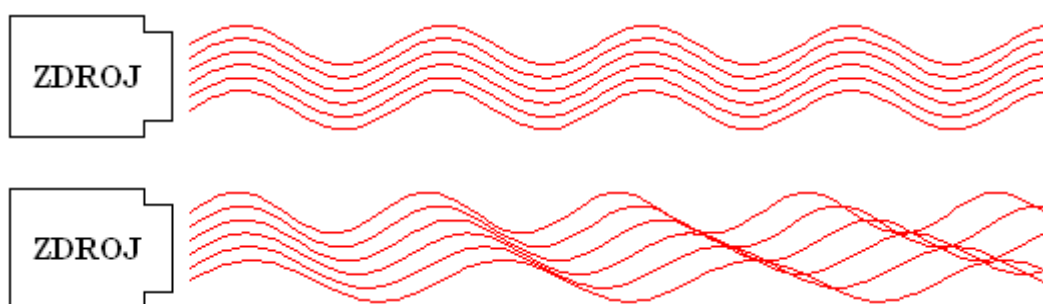
### 2.5.1 Interference

Interference neboli skládání vlnění je zásadním projevem vlnových vlastností světla. Tento jev spočívá ve skutečnosti, že vlnění, která přicházejí do určitého bodu z různých zdrojů, se v daném bodě skládají. Interferencí se dokazuje vlnová povaha zkoumaného fyzikálního jevu. Dojde-li k interferenci, je potvrzena vlnová povaha, avšak aby došlo k interferenci, musí být splněny určité podmínky. Nezbytnou podmínkou nutnou k interferenci vlnění, je existence dvou a více vlnění, která jsou koherentní. Koherentní světelné vlny jsou charakteristické totožnou frekvencí, vlnovou délkou, jsou polarizovány v jedné rovině a jejich fázový rozdíl je stejný, tudíž se v čase nemění. Klasické zdroje světla běžně vysílají nekoherentní záření. Typickým zdrojem

koherentního záření je laser nebo bodový zdroj světla, který může představovat například malá dírka ve stínítku.

Skládání vlnění se zajímalo vědce již od 17. století, ovšem první pokusy byly provedeny až v 19. století anglickým fyzikem Thomasem Youngem. Ten předvedl svůj pokus, kdy do zatemněné místnosti nechal úzkou štěrbinou procházet sluneční světlo. Těmito světelnými paprsky osvětlil dvojici štěrbin, které byly umístěny blízko sebe. Při dopadu světla ze štěrbin na stínítko pozoroval barevné proužky, došlo ke vzniku interferenčního obrazce. Použijeme-li laser jakožto monofrekvenční zdroj světla, dojde k vytvoření pravidelně se střídajících rovnoběžných tmavých a světlých proužků, které jsou rovnoběžné také se štěrbinami. Thomas Young označil vznik proužků za průkaz interference světla a dokázal vlnovou povahu světla.

Základními projevy interference jsou například duhové barvy na mýdlové bublině či olejové skvrny ve vodě. Jak můžete vidět na obrázku 6, koherentní vlny se nijak nedeformují a je mezi nimi stejná vzdálenost, kdežto vlny nekoherentní se navzájem rozcházejí.



**Obrázek 6: Koherentní a nekoherentní vlnění** <sup>[6]</sup>

Interference je v praxi velmi využívána, na interferenci je založena metoda záznamu zvaná holografie, dále se využívá při tvorbě protiodrazových vrstev a kontrole opracování kulových a rovinných čoček. Pro velmi přesná měření indexu lomu či vzdálenosti se využívají přístroje zvané interferometry. Jednoduché zařízení, díky kterému můžeme pozorovat interferenci a měřit vlnovou délku světla, jsou takzvaná Newtonova skla, poprvé sestrojena anglickým fyzikem Isaacem Newtonem. Tato skla jsou tvořena rovinnou skleněnou deskou, nazývanou planparalelní deska, ke které je přiložena ploskovypuklá čočka s jednou rovinnou a druhou kulovou plochou, s velkým

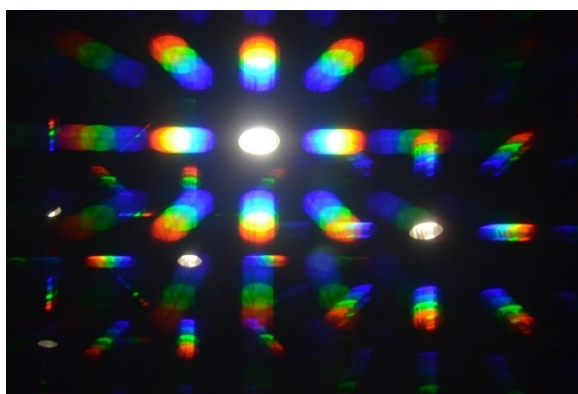
poloměrem křivosti. V místě dotyku skleněné desky a čočky vzniká vzduchová vrstvička s proměnlivou tloušťkou. Dopadem monochromatického světla na tuto soustavu skel vznikne interferenční obrazec složený z tmavých a světlých kroužků, které nazýváme Newtonovy kroužky. Použitím bílého světla dojde ke vzniku Newtonových kroužků duhových barev. [4, 5]

## 2.5.2 Ohyb světla

Přímočaré šíření světla je ovlivněno překážkami, na které světlo dopadá. Je-li velikost překážky srovnatelná s vlnovou délkou světla, může vlnění proniknout zčásti za překážku a následně dojít k difrakci neboli ohybu světla. Tento jev je důsledkem vlnových vlastností světla.

Při difrakci se světlo odchyluje od přímočarého směru šíření, vlnění se dostává za překážku, do oblasti geometrického stínu kopírujícího tvar překážky. Difrakce se projeví, pokud světlo prochází kolem ostrých hran předmětů (například žiletka, vlas, drátek) nebo prochází malou překážkou, kdy lze jako příklad uvést kruhový otvor či šterbinu. Jestliže dopadají světelné vlny na hranu neprůhledné překážky, nevzniká za překážkou ostrá hranice světla a stínu, ale na stínítku za překážkou vzniká ohybový obrazec v podobě tmavých a světlých proužků interferenčních minim a maxim různé šířky. Světlé proužky představují maxima, kde je světelná energie nahromaděna, tmavé naopak minima, kde je intenzita světla velice malá. Pokud nahradíme světlo monochromatické světlem bílým, budou proužky barevné.

Necháme-li dopadat světlo na optickou mřížku, dojde ke vzniku mnohem výraznějšího ohybového obrazce zobrazeného na obrázku č.7. Optická mřížka je tvořena soustavou šterbin umístěných navzájem ve stejných vzdálenostech. [3, 4]



*Obrázek 7: Ohyb světla optickou mřížkou [7]*

### 2.5.3 Polarizace

Světlo jakožto příčné elektromagnetické vlnění je popsáno dvěma vektory. Vektorem magnetické indukce a elektrické intenzity. Oba vektory jsou kolmé jak navzájem, tak na směr šíření elektromagnetického vlnění, ovšem periodicky mění svou velikost i směr. Je-li velikost i směr vektoru intenzity elektrického pole nahodilý, jedná se o světlo nepolarizované. Přirozené světlo není polarizované, lze jej polarizovat mnoha způsoby, například lomem, odrazem, polarizačním filtrem či dvojlomem. Oba vektory polarizovaného světla kmitají na rozdíl od světla nepolarizovaného pouze v určité rovině, nemění v čase svůj směr. Světlo polarizované od nepolarizovaného nelze odlišit pouhým okem.

V praxi nachází polarizované světlo široké využití. Využívá se například při zkoumání opticky aktivních látek, které mají schopnost stáčet rovinu polarizovaného světla. Stáčení roviny se měří polarimetrem a přirozené světlo ze zdroje se polarizuje polarizátorem. Dále se polarizace využívá u polarizačních filtrů, které zmenšují intenzitu odraženého světla. V praxi můžeme tyto filtry nalézt u polarizačních brýlí či objektivů fotoaparátů a kamer. [3, 4, 5]

## 2.6 Kvantová optika

Kvantová optika je neopomenutelnou částí optiky, zkoumá jevy vznikající při interakci látky a záření. Její zákonitosti byly objasněny na základě Planckovy kvantové hypotézy a fotoelektrického jevu. Na počátku 20. století došlo ke vzniku kvantové teorie světla, na níž má zásluhu Max Planck a Albert Einstein. Dle této teorie charakterizujeme elektromagnetické vlnění jako proud fotonů. Tyto částice jsou nelátkové povahy, pohybují se rychlostí světla, můžeme je vyjádřit matematicky a prokázat na základě různých experimentů. Ve fotonech je soustředěna energie záření, platí vztah vyjadřující energii fotonu:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad (4)$$

kde  $h$  značí Planckovu konstantu,  $f$  je frekvence záření,  $\lambda$  je označena vlnová délka a  $c$  rychlost světla ve vakuu

Ozářením látky dojde k interakcím mezi elektrony a fotony. Fotony následně předají svou energii elektronům látky a zanikají.

Nejvýznamnější jev dokazující kvantový charakter záření je jev fotoelektrický, který můžeme pozorovat především u pevných látek, zejména kovů a polovodičů. Rozlišujeme dva fotoelektrické jevy, a to vnitřní a vnější. K fotoelektrickému jevu dochází po ozáření pevné látky světelným zářením o dostatečně velké frekvenci. Při vnitřním fotoelektrickém jevu zůstávají uvolněné elektrony uvnitř látky a zvyšuje se vodivost polovodiče, kdežto při fotoelektrickém jevu vnějším jsou vlivem působení záření vyraženy elektrony z povrchu látky a dojde k následné fotoemisi elektronů. Prostřednictvím experimentů došli vědci ke zjištění, že každý kov má svou určitou mezní frekvenci  $f_0$ , při níž dojde k fotoemisi. Je-li frekvence mezní  $f_0$  větší než frekvence záření  $f$ , pak k fotoelektrickému jevu nedojde.

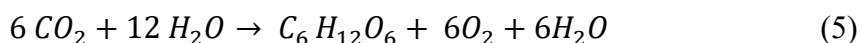
V praxi se využívá především vnitřní fotoelektrický jev, na jehož principu pracují fotorezistory a fotodiody používané například jako solární panely, solární kalkulačky, dálkové ovládání, napájení malých spotřebičů nebo zabezpečovací zařízení. [1, 3, 5]

## 2.7 Účinek světla na organismy

Ať už se jedná o ultrafialové, infračervené či viditelné světlo, každé záření vykazuje rozdílné účinky na organismy. [4]

### 2.7.1 Účinek viditelného světla

Viditelné záření má hlavní význam v přírodě, a to především v zajištění života na Zemi. Základním procesem využívajícím viditelné světlo je fotosyntéza. Při fotosyntéze dochází k přeměně energie slunečního záření na energii chemické vazby, z jednoduchých anorganických látek vznikají organické sloučeniny. Následující reakce vyjadřuje přeměnu oxidu uhličitého a vody na glukózu, kyslík a vodu.



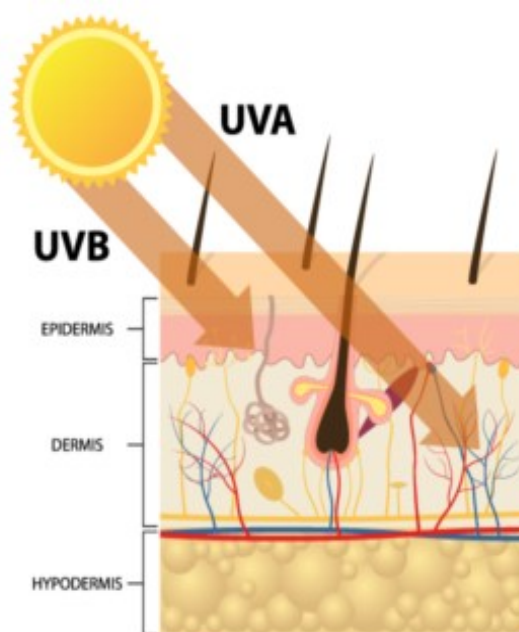
Světlo hraje podstatnou roli pro většinu životních funkcí živých organismů a zajišťuje také jejich periodicitu. Za normálních podmínek nedochází k poškození organismu viditelným světlem, tudíž světlo nevykazuje žádné negativní účinky na lidské tělo. O optických účincích světla bude pojednávat celá další kapitola. [4, 6]



## 2.7.2 Účinek UV záření

Ultrafialové záření (UV záření) se liší od viditelného světla kratší vlnovou délkou, ovšem fyzikální povaha je stejná. Existují přirozené i umělé zdroje ultrafialového záření, mezi přirozený zdroj patří Slunce a mezi umělé zdroje můžeme zařadit obloukové lampy, tepelné zářiče nebo výbojky s křemenným sklem, které propouští UV záření.

Ultrafialové záření dělíme na dlouhovlnné UV-A s vlnovou délkou 320–365 nm, které způsobuje zhnědnutí kůže a tvoří téměř 99 % UV záření. UV-B je středněvlnné záření s vlnovou délkou 280-320 nm, tvořící zhruba 1 % celkového UV záření, které dopadá na zemský povrch. UV-B vyvolává zčervenání a zánět kůže, ve vysokých dávkách a při dlouhotrvajícím působení může způsobit i tvorbu puchýřů či edém. Dalším podstatným rozdílem mezi UV-A a UV-B zářením je pronikavost do různých vrstev kůže. UV-B záření proniká obvykle do pokožky (*epidermis*), kdežto záření UV-A ve většině případů až do škáry (*dermis*) v hloubce okolo 1 mm, což znázorňuje obrázek č.8. Posledním typem ultrafialového záření je z krátkovlnné záření UV-C, které ovšem na povrch Země nedopadá, jelikož je absorbováno ozonovou vrstvou. Účinky tohoto druhu záření na organismus závisí na reakci těla, intenzitě záření, energii fotonů UV a době trvání ozáření.



**Obrázek 8: UV-A a UV-B záření pronikající do kůže** <sup>[8]</sup>

Ultrafialové záření má na organismus pozitivní i negativní vliv. Podstatou pozitivního účinku je fakt, že podporuje vznik vitamínu D, který je nezbytný pro naše tělo. Negativní účinky se nejvíce projevují na kůži a očích, jelikož UV záření

neprostupuje do hloubky tkání. Působením ultrafialového záření na oči může dojít k zánětu rohovky i spojivek. UV záření může vést k rozvoji chorob kůže, zahrnující zánět a degenerativní stárnutí. Ultrafialové záření je dokonce hlavním etiologickým činitelem při vývoji rakoviny kůže, poškozením DNA dochází ke genetickým mutacím, které následně vedou k rozvoji rakoviny. Incidence, morbidita a míra úmrtnosti u lidí trpících rakovinou kůže se neustále zvyšuje, a proto představuje významné obavy o veřejné zdraví. Lidé jsou vystaveni ultrafialovému záření odjakživa, ovšem rekreační expozice UV zářením se v posledních letech dramaticky zvýšila a má neblahý vliv na lidské zdraví. [4, 6, 7]

### **2.7.3 Účinek IR záření**

Infračervené záření (IR záření) je příčné vlnění s vlnovými délkami delšími než světlo, jejich rozsah je mezi 760 nm a 1 mm. Umělým zdrojem IR záření jsou například topná tělesa či infrazářiče, mezi přirozený zdroj patří Slunce. Infračervené záření můžeme rozdělit do třech páسů, a to na pásmo blízké IR-A, střední IR-B a vzdálené IR-C. Účinek působení tohoto záření na organismus je pouze tepelného charakteru. Následkem vysoké teploty infračerveného záření o velké intenzitě dochází k podráždění tepelných receptorů, vzniku erytému až popálenin kůže. Ovšem dlouhodobým působením infračerveného záření na oči může dojít k jejich poškození až k rozvinutí šedého zákalu čočky. [4]

## 3 Optika lidského oka

V této kapitole bude rozebrána a objasněna základní stavba zrakového orgánu. Anatomická stavba oka nám přiblíží jeho vlastní podstatu a pomůže nám pochopit fyziologické procesy, které se v něm odehrávají. Oči jakožto složitý párový orgán jsou uzpůsobeny k vnímání světelných podnětů a k jejich následné přeměně na nervové impulsy. Předávají do mozku velké množství informací o okolním prostředí a usnadňují nám orientaci v prostoru. Obě oči jsou uloženy v očnicích. Zrakový orgán tvoří oční koule a přídatné oční orgány, které se neúčastní samotného procesu vidění, ale zastupují funkci ochrannou a podpůrnou. Patří mezi ně okohybné svaly, očnice, spojivky, víčka chránící oční bulbu a slzný aparát. A co se týká pohybů oční koule, ty ovládá šest okohybných svalů upnutých k bělimě. [2]

### 3.1 Hlavní optické části oka

Oční *bulbus* má tvar koule o průměru přibližně 24 mm, jeho tvar udržuje pouzdro z pevného vaziva. Na očním bulbu rozlišujeme přední a zadní pól, oba póly jsou spojeny oční osou. Na oku můžeme rozlišit stěnu a obsah oční koule. Stěna oční koule se skládá ze tří vrstev, zevní vazivové, prostřední a vnitřní vrstvy. [2, 4]

#### 3.1.1 Zevní vazivová vrstva

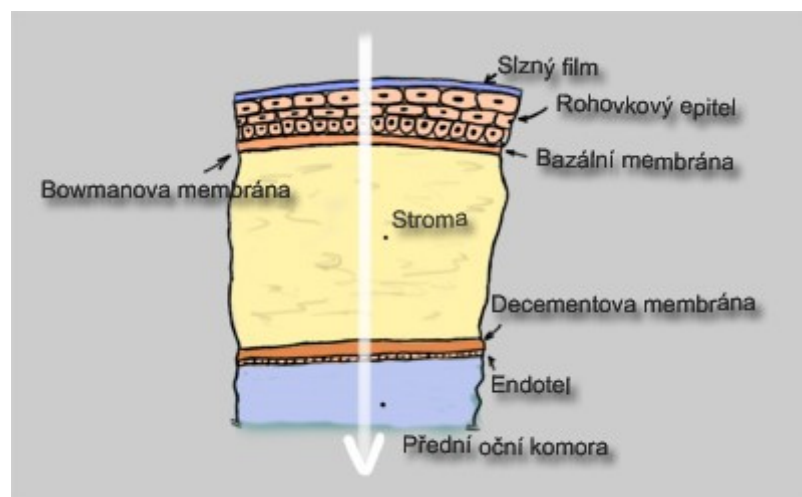
Zevní vazivová vrstva chrání jemné struktury oka a je tvořena neprůhlednou bělimou, která přechází v přední části oka v rohovku s menším poloměrem zakřivení.

Bělina (*sclera*) je tuhou vazivovou blánou, pokrývající téměř celou část očního bulbu a dosahuje tloušťky zhruba 0,3 mm až 1 mm. Za normálního stavu je bíle zbarvena, s přibývajícím věkem se může měnit v nažloutlou. Bělina je tvořena ze silnějších svazků kolagenních vláken, skvělé mechanické vlastnosti jsou dány její skladbou. Bělina slouží především jako ochrana očních struktur uvnitř oka, ale podílí se také na udržení tvaru bulbu. Na bělimu se napojuje šest okohybných svalů, které jsou zodpovědné za pohyb očního bulbu. Zadní částí oka prochází skrz bělimu zrakový nerv, odvádějící zachycenou informaci zrakovou dráhou do zrakového centra v mozku.

Rohovka (*cornea*) je lesklou a průhlednou částí oka, téměř kulového tvaru, bez obsahu cév, propustnou pro světelné paprsky. Lze říci, že se jedná o jakýsi průhledný

vnější kryt oka. Na jejím periferním okraji se nachází oblast limbu, která je široká zhruba 1 mm. V tomto místě přechází rohovka na vnitřní straně do bělimy a na vnější straně do spojivky. V oblasti limbu také probíhají jemné cévní kličky a lymfatické cévy. Rohovka neobsahuje žádné cévy, její výživu zajišťují 3 systémy, kterými jsou komorová voda, slzný film a systém limbálních cévních kliček, ty se ovšem podílejí na výživě jen málo. Komorová voda přivádí do rohovky glukózu a prostřednictvím slz se sem dostává vzdušný kyslík, který je potřeba k získání energie z glukózy. Díky velkému množství nervů se jedná o nejcitlivější tkáň v lidském těle. Rohovka se skládá z pěti vrstev, které můžete vidět na obrázku č.9. Vnější strana je neustále omývána slzami, které chrání rohovku před prachem, mikroorganismy a nečistotami, tvoří ji rohovkový epitel. Další její částí je Bowmanova membrána, oddělující epitel od stromatu. Nejnvnitřnější vrstvu tvoří rohovkový endotel, který je od stromatu oddělen membránou Descemetovou.

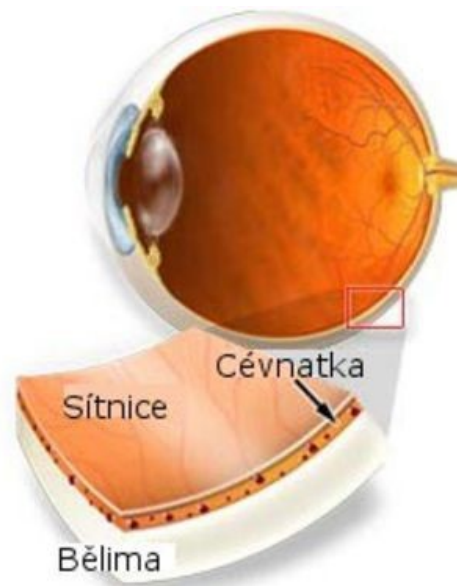
[2, 4, 8, 9]



**Obrázek 9: Skladba rohovky** <sup>[9]</sup>

### 3.1.2 Střední vrstva

Prostřední vrstva je známá pod pojmem cévnatka (*choroidea*). Tato vrstva obsahuje pigmentové buňky a velké množství cév, které hrají důležitou roli ve výživě optické části oka zvané sítnice. Pigmentové buňky zabraňují rozptylu světelných paprsků uvnitř oka. Cévnatka nasedá na vnitřní povrch bělimy, skládá se ze čtyř vrstev a v přední části oka přechází v řasnaté tělíčko a duhovku. Umístění cévnatky je zobrazeno na obrázku č. 10.



**Obrázek 10: Složení cévnatky** <sup>[10]</sup>

Řasnaté tělísko (*corpus ciliare*) má tvar prstence, ovšem v průřezu je jeho tvar trojúhelníkový. Přední část řasnatého tělíska se spojuje s duhovkou, zadní okraj přechází do cévnatky. Hlavní úlohou řasnatého tělíska je změna zakřivení čočky, což je podstatou jevu zvaného akomodace. Řasnaté tělísko obsahuje výběžky, mezi nimiž dochází k úponu vláken závěsného aparátu čočky. Výběžky mají i funkci sekreторickou, jelikož vytváří čirou tekutinu zvanou komorová voda, která je vylučována do zadní komory oční.

Duhovka (*iris*) se nachází mezi čočkou a přední komorou oční, ve svém středu obsahuje kruhový otvor zvaný zornice (*pupila*). V závislosti na akomodaci a různé intenzitě vstupujícího světla do oka se velikost zornice mění, buď se rozšiřuje, nebo zužuje. Za změnu velikosti zornice jsou zodpovědné hladké svaly v duhovce, které jsou uspořádány buďto paprscitě či kruhovitě. Duhovka podmiňuje barvu očí, každý člověk ji může mít různě zbarvenou.

Obsah oční koule je tvořen přední a zadní komorou oční, čočkou a sklivcem. Za duhovkou, v prohloubenině sklivce, je zavěšena na vláčknech závěsného aparátu bezcévná, krystalicky čirá, pružná oční čočka. Čočka (*lens crystallina*) má bikonvexní neboli dvojbypuklý tvar, zadní plocha čočky je vyklenutá více než plocha přední. Na čočce rozlišujeme pouzdro, epitel, stroma, přední, zadní pól čočky a ekvátor neboli zaoblený okraj kde se schází obě plochy čočky.

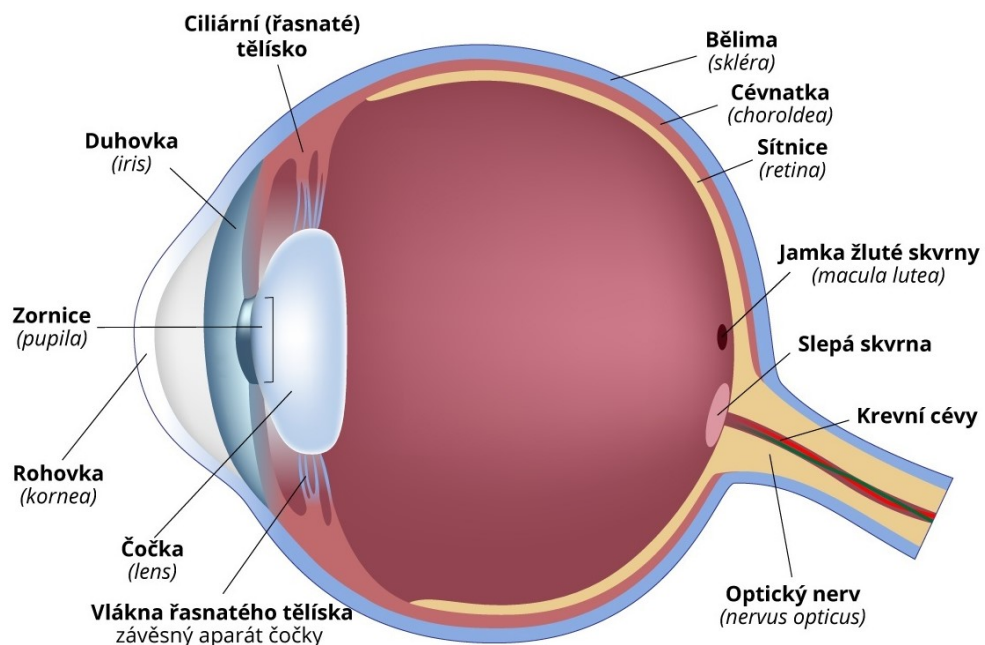
Transparentní gel vyplňující plochu za závěsným aparátem a oční čočkou se nazývá sklivce (*corpus vitreum*). Tato bezcévná rosolovitá hmota tvoří obrovskou část

obsahu oka, díky němu má oko pružnou a pevnou konzistenci. Obsahuje především vodu, dále malé množství bílkovin a mukopolysacharidu (kyseliny hyaluronové).

Jako přední komoru oční, označujeme prostor mezi rohovkou a duhovkou, tato komora obsahuje průhledný oční mok. Naopak jako zadní komoru oční považujeme prostor mezi zadní plochou duhovky a ciliárním aparátem. Obě komory jsou schopny vzájemné komunikace prostřednictvím pupily. [1, 3, 9]

### 3.1.3 Vnitřní vrstva

Vnitřní vrstva oka je tvořena sítnicí, která obsahuje světločivné buňky, a to tyčinky a čípky. Za nejvýznamnější vrstvu stěny očního bulbu považujeme optickou část sítnice. Jedná se o tenkou blánu silnou 0,2 až 0,4 mm, naléhající na cévnatku. Sítnice (*retina*) obsahuje též místo bez tyčinek a čípků zvané slepá skvrna, jedná se o místo, odkud vychází zrakový nerv z oka. Zhruba 4 mm zevně od slepé skvrny se nachází žlutá skvrna, která je charakteristická největší koncentrací čípků, jedná se o místo nejostřejšího vidění. Podrobný popis sítnice je uveden v kapitole 4.1. Hlavní optické části oka si můžete prohlédnout na následujícím obrázku č.11. [4, 9, 10]



Obrázek 11: Anatomická stavba oka [11]

### 3.1.4 Zrakové centrum mozku

V mozkové kůře týlního laloku jsou umístěna zraková centra. Jedná se o oblasti *area striata*, *area parastriata* a *peristriata*. *Area striata* je označována též jako area 17. Jedná se o konečné přijímací místo zrakových impulzů, které jsou zde vyhodnocovány jako zrakové vjemy. V této oblasti dochází k zesilování impulsů přicházejících ze sítnice, dále k rozlišování barvy, tvaru a pohybu. *Area parastriata* je nazývána jako area 18 a stejně jako *area peristriata* slouží ke zhodnocení, zpracování a integraci přijatých informací. Area 18 se také podílí na optomotorické koordinaci očí, vyhodnocení viděného a srovnávání vnímaného obrazu se zrakovou pamětí. *Area peristriata* je nejvyšší korové centrum a hlavním úkolem této oblasti je integrace zrakových počitků s ostatními smyslovými aktivitami. <sup>[10]</sup>

## 3.2 Optická soustava oka

Z hlediska optiky můžeme lidské oko považovat za centrovanou optickou soustavu s měnitelnou ohniskovou vzdáleností. Vytváří zmenšený, převrácený, skutečný obraz, který vzniká na sítnici. Převrácený obraz se v mozku převrací zpět na přímý.

Jednou z charakteristik optických soustav je jejich optická mohutnost. Optická mohutnost, která bývá taktéž nazývána optická lomivost, je fyzikální veličina popisující velikost zakřivení čočky. Jedná se o převrácenou hodnotu ohniskové vzdálenosti čočky  $f$ . Jednotkou ohniskové mohutnosti je dioptrie (D). 1 D je optická mohutnost čočky s ohniskovou vzdáleností 1 m.

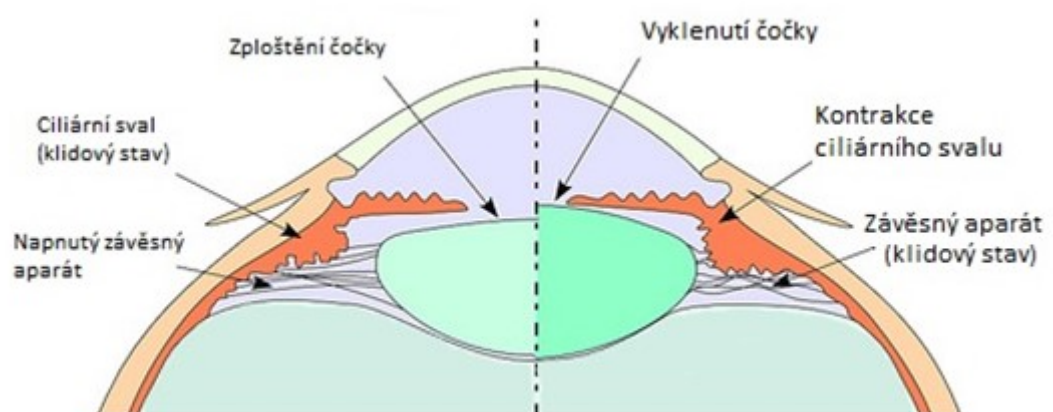
$$\varphi = \frac{1}{f} \quad (6)$$

kde  $\varphi$  značí optickou mohutnost a  $f$  vyjadřuje ohniskovou vzdálenost

V průměru je optická mohutnost lidského oka v klidu přibližně +60 D. Jednotlivé části oka mají různé optické mohutnosti, například rohovka má optickou mohutnost 42,4 D, čočka 20 D. Z důvodu složité struktury oka není možné optické mohutnosti sčítat.

Čočka, jak již bylo uvedeno výše, je bezcévná, krystalicky čirá struktura, obklopená pevným, pružným, průhledným pouzdrem, na které se v oblasti ekvátoru upínají vlákna závěsného aparátu. Ciliární aparát vyniká schopností mechanicky měnit zakřivení přední a zadní plochy čočky, čímž se mění také její optická mohutnost. Změna zakřivení přední a zadní strany oční čočky závisí jednak správné funkci ciliárního aparátu, ale taktéž na správné funkci závěsného aparátu a na elasticitě čočky. Proces, při kterém

dochází k zaostření oka na sledovaný předmět, je nazýván pojmem akomodace. Závěsný aparát udržuje oční čočku na svém místě a působí svým napětím tak, že se čočka buď zploští, nebo vyklene. V případě, kdy dojde ke smrštění ciliárních svalů, ochabnou vlákna závěsného aparátu, čočka dosáhne většího konvexního vyklenutí, zvětší svou optickou mohutnost a přizpůsobí se dívání do blízka. Díváme-li se do dálky na vzdálené předměty, pak se ciliární svaly nachází v klidovém stavu, závěsné vazy jakoby natahují oční čočku, ta je zploštělá, má malé zakřivení, její optická mohutnost klesá a závěsné vazy zaostřují pasivně na nekonečno. Vzhled čočky při kontrakci či relaxaci ciliárního svalu můžete pozorovat na obrázku č.12. Akomodace čočky nám umožňuje ostře vidět předměty, které se nachází ve vzdálenosti menší než 5 m. Během života se může čočka zvětšovat, mění se její optické vlastnosti i tvar. S přibývajícím věkem se pružnost čočky zmenšuje, dochází k postupnému poklesu optické mohutnosti a tento stav se projeví neostrým viděním do blízka, nazývaným jako presbyopie.

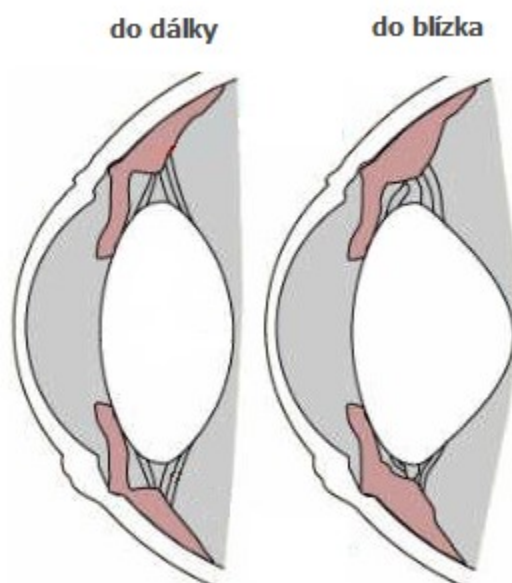


**Obrázek 12: Akomodace zdravého oka** <sup>[12]</sup>

Rozsah akomodační schopnosti čočky je stanoven dvěma odlišnými body, bodem blízkým a dalekým. Blízký bod je označován jako nejbližší bod, který vidí plně akomodované oko ostře, to znamená stav, kdy je oční čočka maximálně zakřivena. U dětí je tento bod nejbliže k oku, s rostoucím věkem se poloha blízkého bodu mění tak, že se blízký bod postupně vzdaluje od oka, jelikož stářím ztrácí čočka svou pružnost, snižuje se její akomodační schopnost a mění se optická mohutnost oka. V dětství se blízký bod nachází ve vzdálenosti okolo 10 cm od oka, v dospělosti je to 25 cm a ve stáří až 40 cm.



Druhým důležitým bodem je bod daleký. Ten můžeme definovat jako nejvzdálenější bod, který vidí oko ostře. U zdravého oka se nachází tento bod teoreticky v nekonečnu, ale ve skutečnosti je umístěn ve vzdálenosti větší než 5 m od oka. Předměty v této vzdálenosti se zobrazí ostře na sítnici i bez akomodace oční čočky. Maximální a minimální zakřivení oční čočky je zobrazeno na obrázku č.13.



**Obrázek 13: Akomodace do dálky a do blízka** <sup>[13]</sup>

Rozdíl mezi optickou mohutností soustavy oka při maximální a uvolněné akomodaci nazýváme pojmem akomodační šíře. Jednotkou akomodační šíře je dioptrie a lze ji vypočítat jako rozdíl převrácených hodnot vzdáleností blízkého a vzdáleného bodu, tyto vzdálenosti dosazujeme v metrech.

Světlo dopadající do oka prochází nejprve rohovkou, přední komorou, následně duhovkou, která reguluje množství světla vstupujícího do oka, čočkou, která má největší index lomu, dále paprsky prochází sklivcem a dopadají na sítnici, která je složena z tyčinek a čípků. Tyčinky jsou citlivé na množství dopadající světla, vyskytují se nejvíce na okraji sítnice, kdežto čípky jsou citlivé na barvu světla a jejich největší zastoupení je ve střední části sítnice v okolí žluté skvrny. <sup>[1,11, 12, 13]</sup>

### **3.3 Zraková ostrost**

Schopnost rozlišit dva různé body v prostoru, umístěné v určité vzdálenosti od sebe, nazýváme pojmem zraková ostrost. Vzdálenost těchto bodů na sítnici závisí

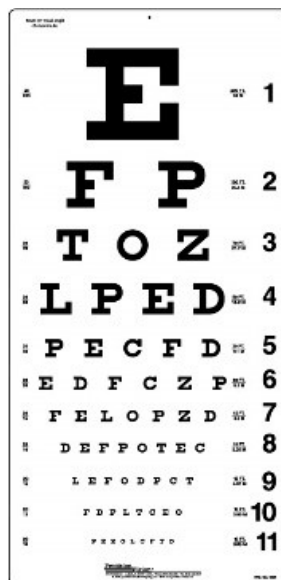
jednak na vzdálenosti mezi těmito dvěma body, ale také na jejich vzdálenosti od oka, jinak řečeno na velikosti úhlu svíraného paprsky, jenž vychází z obou bodů. Matematicky je můžeme vyjádřit tímto vztahem:

$$X = \cotg \alpha = L/D \quad (7)$$

$X$  vyjadřuje zrakovou ostrost,  $\alpha$  velikost úhlu svíraného paprsky,  $L$  značí vzdálenost mezi body a  $D$  vzdálenost bodů od oka

Žlutá skvrna s velkým množstvím čípků zajišťuje výbornou rozlišovací schopnost. V závislosti na velikosti fotosenzitivních elementů dosahuje úhlová vzdálenost dvou bodů, které stále rozlišíme jako dva body 0,0003 rad, což je rovno zornému úhlu 1 úhlové minuty. Úhel 1' je považován za hranici rozlišovací schopnosti oka.

Během života se zraková ostrost mění, nejčastější příčinou poklesu zrakové ostrosti bývají refrakční vady. K vyšetření zrakové ostrosti využíváme takzvané optotypy. Jedná se o různě veliká písmena, číslice či obrazce umístěné na podkladu v různé vzdálenosti od pozorovatele. K vyšetření zrakové ostrosti do dálky se v klinické praxi nejvíce využívají Snellovy optotypy sestavené z písmen a číslic, obvykle jsou konstruovány pro vzdálenost 5 nebo 6 metrů. Může se jednat o nástěnné tištěné optotypy, prosvětlené optotypy, projekční optotypy nebo optotypy typu LCD obrazovek. Nástěnný tištěný optotyp můžeme vidět na obrázku č.14. Výsledek zapisujeme jako zlomek, kde v čitateli uvedeme vzdálenost, ze které pacient četl, a do jmenovatele dosadíme číslo nejmenšího řádku, který vyšetřovaná osoba ještě bezchybně přečetla.



Obrázek 14: Snellova tabulka <sup>[14]</sup>

Následující obrázek č.15 představuje Jaegerovy tabulky, které jsou často využívanou pomůckou vhodnou k měření zrakové ostrosti do blízka. Jedná se o tabulky umístěné ve čtecí vzdálenosti 40 cm obsahující souvislý text v odstavcích. Tyto odstavce jsou vtištěny v různé velikosti a u každého z nich se nachází číslo určující zrakovou ostrost. [1, 4, 11]

0.37 M	I walked up the street, going about, until near the market hour I met a boy with bread. I had made many a meal on bread, and asked him where he got it. I then went to the baker's and asked for biscuits such as we had in Boston. I asked for a three penny loaf and was told that they had none such. Not knowing	J 2
0.50 M	the difference of money and the greater cheapness I bade him give me three penny worth of any sort. He gave me three puffy rolls. I was surprised at the quantity but I took it, and walked off with a roll under each arm. Thus I walked up Market Street as far as Fourth Street, passing by the house	J 3
0.62 M	of Mr. Read, my future wife's father. She, standing at the door, saw me and thought I made a most awkward appearance, as I certainly did. Then I turned and went down Chesnut Street and a part of Walnut Street. Being filled with one of my rolls, I gave the other two to a woman	J 4
0.75 M	and her child. By this time the street had many clean and well dressed people in it, all walking the same way. I joined them and was led into the great meeting house of the Quakers'. I sat down among them and after looking around a while and hearing nothing said,	J 5
1.00 M	I fell fast asleep. This was the first house I was in, or slept in, in Philadelphia. Looking in the faces of people, I met a young man whose countenance I liked, and asked	J 7
1.25 M	if he would tell me where a stranger could get lodging. "Here", and he, "is one place that entertains strangers."	J 8

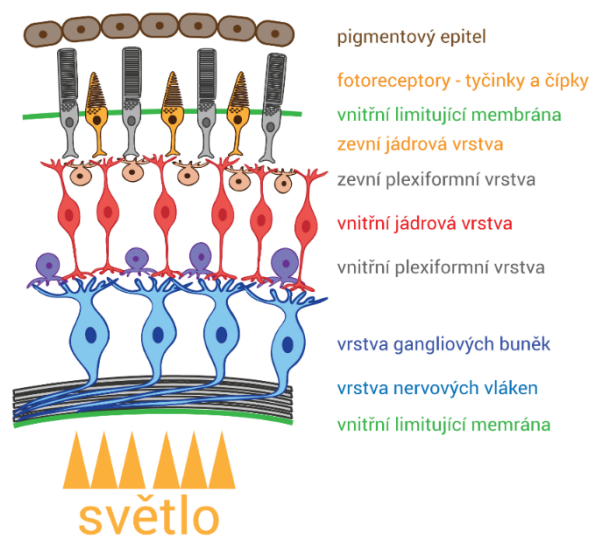
**Obrázek 15: Jaegerovy tabulky** [15]

## 4 Mechanismus vnímání světelných podnětů

Vidění je velice složitý proces, složený z mnoha biochemických, biofyzikálních a psychologických procesů. Biofyzika vidění je neopomenutelnou součástí fyziky, věnuje se především zkoumání funkce sítnice, fotofyzikálním a fotochemickým jevům, které souvisí s absorpcí světla. [15]

### 4.1 Struktura sítnice

Velmi jemnou blánou vystylající vnitřní plochu oční koule je sítnice. Je známa slepá a optická část sítnice, kdy slepá část kryje vnitřní plochu řasnatého tělíska a duhovky, neobsahuje žádné smyslové buňky a tvoří ji pouze pigmentová vrstva. U optické části sítnice je situace jiná, ta obsahuje vzájemně propojené nervové buňky a fotoreceptory, které se podílejí na vzniku a vedení elektrického signálu. Předtím než dojde k detekci světla prostřednictvím fotoreceptorů, nacházejících se na zevní straně sítnice, musí světlo projít přes horní vrstvy nervových buněk a až poté se dostává k vrstvě tyčinek a čípků, které jsou jako jediné světločivné. Světločivné buňky absorbují energii světla dopadající na sítnici a následně dojde k jevu zvanému transdukce, kdy se světelná energie fotochemickými reakcemi přemění na elektrické impulsy. Strukturu sítnice si můžete prohlédnout na obrázku č.16.



Obrázek 16: Stavba sítnice [16]

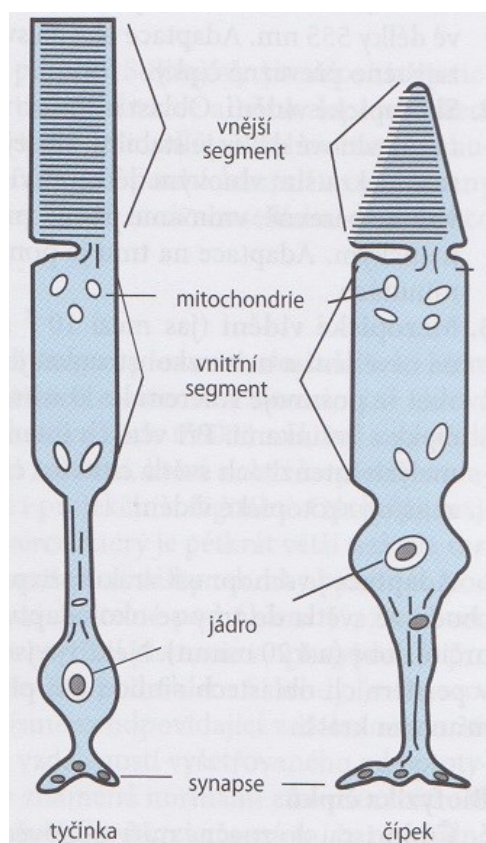
Jak již bylo dříve zmíněno, zadní částí oka prochází skrze bělimu zrakový nerv. Zrakový nerv (*nervus opticus*) je zodpovědný za přenos informací ze sítnice do zrakového centra v centrální nervové soustavě. Buňky sítnice jsou spojeny s centrem zraku nervovými vlákny. Za okem dochází ke spojení všech nervových vláken ze sítnice a ty vytvářejí zrakový nerv, který vstupuje kostěným kanálkem do lebky. V lebce, blízko podvěsku mozkového se oba nervy spojují a kříží se jejich vnitřní části. Díky tomu se část informace z pravého oka dostane do levé části mozku a naopak. Ve vnějších částech zrakových nervů se nachází nervová vlákna, která se ovšem nekříží a informace jimi vedeny dorazí do příslušné mozkové hemisféry. Vnitřkem zrakových nervů prochází sítnicová tepna, která se rozvětňuje po sítnicovém povrchu, zásobuje buňky sítnice a odvádí zplodiny. Spodní částí zrakových nervů vedou zrakové žíly, které naopak krev z oka odvádí. <sup>[15]</sup>

#### 4.1.1 Tyčinky

Tyčinky vynikají svým typickým válcovitým tvarem, jsou složeny z vnitřního a vnějšího segmentu. Za vnější segment považujeme fotosenzitivní část, tento segment je v kontaktu s pigmentovou vrstvou. Širší část tyčinky označujeme jako vnitřní segment, jedná se o hlavní část buňky, tvoří ji jádro receptoru, velké množství mitochondrií, kontraktilní elementy a zakončení, které je místem spojení synapsí s bipolárními buňkami. Tyčinky jsou citlivé na změnu intenzity světla více než čípky, umožňují nám vidění za šera a obsahují pouze jeden typ opsinu. Nacházejí se nejvíce na vnějších okrajích sítnice, ve žluté skvrně se nevyskytují vůbec. <sup>[2, 3]</sup>

#### 4.1.2 Čípky

Čípky jsou na rozdíl od tyčinek tlustší, více polymorfní a je pro ně typický lahvovitý neboli kónický tvar. Rozdíly mezi tyčinkami a čípky jsou zřetelné na obrázku č.17. Zúženou část tvoří fotosenzitivní externí segment, širší část označujeme pojmem vnitřní segment. K přeměně světelných impulsů na nervové vzruchy dochází díky jejich molekulární přestavbě. Čípky zajišťují ostré, barevné vidění, jejich největší koncentrace je ve žluté skvrně, směrem k periferní části sítnice se jejich koncentrace snižuje.



**Obrázek 17: Mikroskopická stavba tyčinky a čípku** <sup>[17]</sup>

Tyčinky a čípky se od sebe navzájem liší jednak tvarem, ale také složením opsinu, což je substance citlivá na světlo, jedná se o proteinovou složku rodopsinu. V tyčinkách se nachází světločivný pigment rodopsin, složený z opsinu a retinalu. Na rozdíl tomu v čípcích nalezneme jodopsiny, též nazývané jako fotopsiny, které jsou podobné rodopsinu v tyčinkách, obsahují též retinal, ale liší se bílkovinnou složkou a způsobují rozdíly v absorpci světla. <sup>[2, 3]</sup>

### 4.1.3 Části sítnice

Rozložení tyčinek a čípků v sítnici není rovnoměrné. Na sítnici můžeme dle rozložení tyčinek a čípků rozeznat centrální a periferní část. Pro periferní sítnici je typická převaha tyčinek, lidská sítnice obsahuje téměř 7 milionů čípků, avšak 75-150 milionů tyčinek. Gangliové buňky jsou spojeny s více receptory, jelikož optický nerv obsahuje 100-150krát méně vláken. Centrální sítnice se skládá ze dvou oblastí, jednou z nich je

*fovea centralis*. Jedná se o místo nejostřejšího vidění, je to jamka na žluté skvrně, uprostřed této jamky se nachází oblast, která je složena pouze z čípků. [1, 3, 17]

## 4.2 Citlivost a adaptace oka

Sítnice je různě citlivá na různé vlnové délky, můžeme rozlišit tři oblasti vidění. První z nich je oblast denního neboli fotopického vidění, druhou oblastí je oblast nočního, nazývaného též skotopického vidění, které umožňují tyčinky. Nejedná se o barevné vidění, ale pouze vnímání změn intenzity světla. Poslední oblastí je oblast mezopického vidění, které zajišťují tyčinky i čípky a citlivost je závislá na intenzitě osvětlení. Uplatňuje se za zhoršených světelných podmínek, jako například v šeru nebo za soumraku. Křivka citlivosti není stabilní a dochází k posunu citlivosti směrem ke kratším vlnovým délkám. Při větší intenzitě je vidění zajištěno čípkami, kdežto při malé intenzitě jsou naopak citlivější tyčinky.

Přecházíme-li ze tmy do světla, dochází k rychlé reakci zornic a oko se velice rychle adaptuje na osvětlení, průměrně v intervalu 20-60 sekund a citlivost fotoreceptorů ke světlu rychle klesá. Vidění je barevné a zajišťují jej čípky. Adaptaci lze chápat jako schopnost oka přizpůsobit se různé intenzitě osvětlení. Rhodopsin je tyčinkový pigment schopný měnit práh citlivosti oka na světlo. Na světle je rhodopsin rozložen na původní části. Při přechodu do tmy je situace jiná, zde můžeme rozeznávat předměty až po dané době. Za tmy dochází k resyntéze rodopsinu, což trvá poměrně dlouho, zrak se adaptuje na tmu, dochází k nárůstu citlivosti fotoreceptorů na světlo, ale maximální adaptace můžeme dosáhnout až téměř po 40-60 minutách.

Prostřednictvím tyčinek a čípků jsou informace ze sítnice cestou víceneuronové zrakové dráhy přenášeny do mozku. První částí zrakové dráhy jsou tyčinky a čípky, druhou částí buňky bipolární a třetí buňky gangliové. Světlo zachycené vnějším segmentem tyčinky nebo čípku způsobuje rozpad rodopsinu na proteinovou složku opsin a karotenovou složku retinal (při dopadu světla dochází ke změně konfigurace cis-retinalu na trans-retinal a následují reakce díky nimž dochází k uzavření kanálů pro  $\text{Na}^+$  ionty). Právě tyto vzniklé produkty vstupují do kaskády nitrobuněčných reakcí, které ovlivní membránové iontové kanály. Následně dojde na plazmatické membráně světločivné buňky ke vzniku receptorového potenciálu, který má charakter hyperpolarizace (dochází k hyperpolarizaci membrány tyčinek a čípků, kanály pro  $\text{Na}^+$  jsou uzavřeny). Tím dochází k inhibici synapsí na buňkách tyčinek a dojde k pozastavení produkce určitých

neurotransmitérů, jejichž nedostatek vede k depolarizaci celé membrány bipolárních neuronů. Světlo snižuje kromě  $\text{Na}^+$  taky koncentraci  $\text{Ca}^{2+}$ , kdy pokles koncentrace vápníku inaktivuje kaskádu a podpoří původní stav otevřením  $\text{Na}^+$  kanálů, v očním nervu vzniká akční potenciál a dojde k předání informace do mozku. [1, 3, 4, 16]

### 4.3 Biofyzika tyčinek

Podrážděním fotoreceptorů dochází k vratné fotochemické reakci, kde hraje podstatnou roli rodopsin. Jedná se o chromoprotein s vysokou molekulovou hmotností, skládá se z opsinu a 11-cis-retinalu. Opsin můžeme popsat jako proteinovou složku s funkcí nosiče, naopak retinal je složka karotenová, absorbující světlo.

Rodopsin je velice stabilní zejména za tmy, po ozáření se jeho uspořádání mění a rozkládá se na původní složky opsin a retinal (aldehyd vitamínu A). Molekulární přestavba a rozklad rodopsinu je způsoben absorpcí fotonů. Tento proces má za důsledek přeměnu světelných impulsů na nervové vzruchy. Výběžky tyčinek a čípků převádí tyto vzruchy na vrstvu nervových buněk. Jejich neurity vychází z oka ve zrakovém nervu a přenáší informaci do zrakového centra v mozku. Po skončení osvětlování receptorů dochází ke zpětné reakci a rodopsin je opět syntetizován. Produkci rodopsinu zlepšuje a urychluje přítomnost vitamínu A.

Opsiny představují velkou skupinu specializovaných fotoaktivních molekul, které se váží na sítnici jako fotosenzitivní skupiny. Existují dva druhy opsinů, avšak typ první můžeme nalézt pouze u bakterií, kdežto opsiny druhého typu se vyskytují u živočichů a lidí. Hlavní funkcí opsinů je fototransdukce. Opsiny vyskytující se u zvířat a lidí patří mezi receptory spřažené s G-proteiny a jsou izomerovány z cis do trans konfigurace. [3, 17]

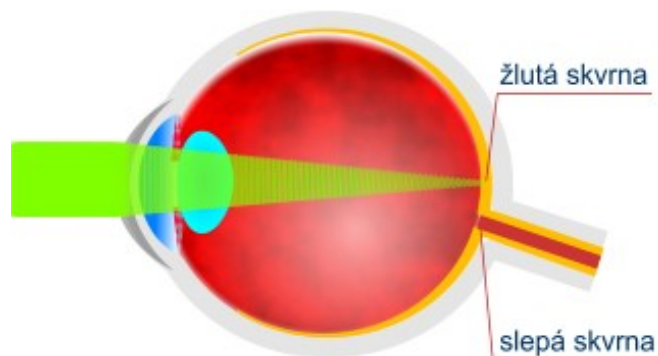
### 4.4 Biofyzika čípků

Čípky jsou nezbytnými fotoreceptory pro zajištění fotopického vidění. Mezi jejich schopnost patří rozeznávání intenzity, barev světla a indikace jasů obrazu. Existují tři funkční typy čípků, díky nimž je podmíněno barevné vidění. Čípky mají stejný tvar, obsahují retinal, ale liší se pigmentem v cytoplasmě, to znamená odlišným obsahem fotopsinu. Jsou charakteristické rozdílnou citlivostí na různé vlnové délky světla, vyznačují se maximy absorpce světla v červené (cca 600 nm), modré a zelené (450, 535 nm) oblasti spektra. Jinak řečeno jeden typ fotopsinu je citlivý na barvu



červenou, druhý na barvu zelenou a třetí na modrou. Tyto tři pigmenty nám umožňují vnímat všechny barvy, protože mícháním těchto tří základních barev můžeme docílit jakéhokoliv barevného tónu.

Na zrakové ostrosti se podílejí čípky, jelikož žlutá skvrna, jakožto místo nejostřejšího vidění, se skládá převážně z čípků. Umístění žluté a slepé skvrny si můžete všimnout na níže vloženém obrázku č.18. <sup>[1]</sup>



**Obrázek 18: Žlutá a slepá skvrna** <sup>[18]</sup>

## 4.5 Barevné vidění

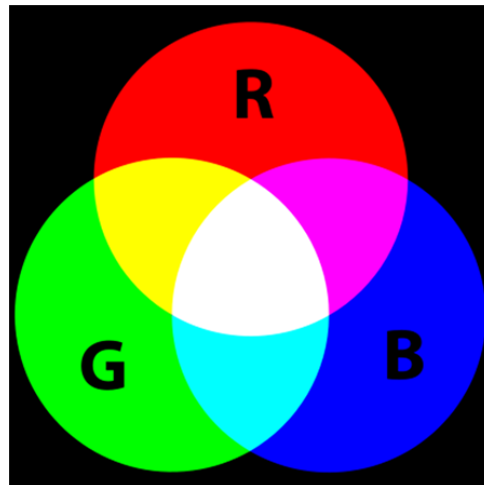
Jedním z významných rozdílů mezi primáty, zahrnující také lidi, a ostatními savci je existence barevného vidění. V sítnici u trichromatických primátů existují tři různé druhy čípků. Vnímání lidské barvy vzniká porovnáním signálů z čípků s citlivostí na vrcholu při dlouhých (L), středních (M) a krátkých (S) vlnových délkách. Čípky S jsou velmi vzácné a poměry mezi L a M čípků jsou mezi jednotlivci velmi různorodé.

Toto značení je zavedeno z důvodu jejich vrcholů spektrální citlivosti, ležících v oblastech viditelného spektra v dlouhovlnné oblasti pro červenou barvu, střední vlnové délce pro barvu zelenou a krátkovlnné oblasti pro barvu modrou. Ostatní savci mají pouze dva druhy pigmentů. <sup>[18]</sup>

Z tohoto důvodu vyvstává otázka, proč je zapotřebí tří druhů pigmentů k barevnému vidění? Vědci hledají odpověď na tuto otázku více než sto let, ale stále jednoznačnou odpověď nenalezli, princip vnímání barev není dodnes zcela objasněn. Existuje velké množství hypotéz snažících se vysvětlit princip barevného vidění. První hypotéza byla předložena již v 19. století anglickou filozofkou, avšak její teorii nebyl předkládán velký význam. V nedávné době přišli vědci z univerzity v Hong Kongu s novou hypotézou. Při pozorování šimpanzů v afrických lesích zaznamenali, že si

šimpanzi shromažďují mladé a výživné listy s načervenalým nádechem. Proto přišli s tvrzením, že se primáti snaží rozlišit červenou barvu od zelené. [19]

Mezi nejznámější teorie barevného vidění patří teorie trichromatická a oponentní Heringova teorie protibarev. Většina vědců se přiklání k teorii, že lidské oko rozlišuje barvy tzv. trichromatickým systémem. Podstata toho systému spočívá v možnosti složit jakoukoliv barvu kombinací červené, modré a zelené barvy, na následujícím obrázku č. 19 můžete vidět model RGB, ze kterého tato teorie vychází. Sítnice obsahuje tři druhy čípků, které se projevují různou spektrální citlivostí odpovídající vlnovým délkám 440, 535 a 577 nm. S trichromatickou teorií jsou spojována zejména tři jména, a to Young, Helmholtz a Romonosov. Dojde-li k rovnoměrnému podráždění všech tří druhů čípků, vznikne vjem bílé barvy, naopak nerovnoměrným podrážděním čípků dojde k vjemu smíšené barvy a podrážděním pouze určitého druhu čípků dojde k vjemu příslušné základní barvy. Oko je různě citlivé na různé barvy, přes den je nejcitlivější na barvu žlutozelenou a ze šera na barvu zelenomodrou. Při intenzivním osvětlení přestává oko vnímat barvy postupně od fialové k červené, v málo osvětleném prostoru klesá vnímání barev v opačném pořadí. Sníží-li se intenzita osvětlení pod mez citlivosti čípků, dojde k přerušení vnímání barev. Nejlepší vnímání barev je ve žluté skvrně.



**Obrázek 19: Model RGB** [19]

Dle Heringovy teorie se vyskytují tři dvojice barev, které působí antagonisticky, jedná se o barvy modrá-žlutá, červená-zelená a černá-bílá. Dvojice černá-bílá obsahuje pouze informaci o intenzitě světla. Aktivací jedné barvy z páru, dojde k následné inhibici aktivity barvy druhé. Z tohoto tvrzení vyplývá, že není možno vnímat obě barvy najednou, proto nemůžeme vidět barvu jako červeno-zelenou nebo modro-žlutou. [1, 3, 12, 15]

## 5 Refrakční vady oka

Oko spoléhá na synergickou spolupráci více složek, zahrnující rohovku, čočku, fotoreceptory a retinální neurony, aby zachytilo přesné vizuální informace. Komplikace s jednou oční složkou mohou zhoršit vidění a někdy způsobit i slepotu. Okamžitá léčba a dlouhodobé sledování mohou zmírnit příznaky a vést k celkovému obnovení zraku. Úspěšná léčba však vyžaduje pochopení očních patologických mechanismů, přesně zjišťování a sledování onemocnění.

Zdravé neboli emetropické oko vytváří ostrý obraz pozorovaného předmětu na sítnici a obrazem bodu je bod. Při správné funkci zdravého oka je rozsah ostrého vidění od 25 cm do nekonečna. V případě, kdy se nezobrazuje obraz na sítnici nebo obrazem bodu není bod, ale plošky, se jedná o oko ametropické.

Refrakční vady způsobují problémy s viděním, jsou častým důvodem snížení zrakové ostrosti. Chyba refrakce znamená, že oko nemůže správně zaostřit světlo na sítnici. Existují čtyři typy refrakčních vad, mezi které se řadí hypermetropie, myopie, presbyopie a astigmatismus, všechny typy budou následně rozebrány. <sup>[1, 20, 21]</sup>

### 5.1 Sférické ametropie

Sférická ametropie je vadou, kdy nedochází ke vzniku obrazu na sítnici a optická mohutnost neodpovídá poloze sítnice. Jsou známy dva druhy sférických ametropií, dělíme je dle umístění vzdáleného bodu na krátkozrakost a dalekozrakost. <sup>[1]</sup>

#### 5.1.1 Dalekozrakost

Dalekozrakost neboli hypermetropii definujeme jako častou oční vadu, kdy se paprsky vstupující do oka lámou do ohniska, které se nachází až za očním bulbem, na sítnici vzniká neostrý obraz. Vzdálený bod se nachází v nekonečnu, blízký bod ve vzdálenosti větší než u zdravého oka. Z toho vyplývá, že obraz předmětů, které jsou umístěné v nekonečnu, vzniká až za sítnicí. Lomivost optických prostředí je menší než u zdravého oka a oční koule je krátká. Člověk trpící dalekozrakostí nedokáže jasně zaostřit blízké předměty. Po narození je každé oko dalekozraké, ovšem s věkem dochází k prodloužení předozadní délky bulbu a vada přechází do stavu již zdravého oka. V případě, kdy vada přetrvává, se jedná o dalekozrakost axiální, která vzniká již během

embryonálního vývoje. Dalekozrakost může být způsobena také změnou zakřivení rohovky nebo poklesem optické hustoty určitého prostředí oka. Lidé s hypermetropií často trpí bolestí hlavy, únavou očí a celkovým diskomfortem, který je způsoben namáháním oční čočky.

Dalekozrakost se může objevit u člověka v jakémkoliv věku, ale nejvíce jsou její projevy patrné po 40. roku života. Velkou roli v rozvoji onemocnění hraje dědičnost. Ve vzácných případech může být dalekozrakost způsobena diabetem, syndromem malých očí, rakovinou či špatných krevním zásobením oční sítnice. [1, 3, 22]

Ke klasickému způsobu léčby hypermetropie se využívají brýle, kontaktní čočky či laserová operace. Nejlevnějším, nejjednodušším a nejbezpečnějším způsobem, jak korigovat hypermetropii je nošení brýlí. Stejnou práci jako brýle odvádí kontaktní čočky, které ovšem dosedají přímo na povrch oka, v dnešní době existuje celá škála kontaktních čoček odlišujících se v době nošení či použitém materiálu. Laserová operace je nákladnějším způsobem léčby hypermetropie, ovšem nabízí možnost obnovit normální zrak natrvalo. Kompletní a trvalé obnovení zraku je možné u mnoha lidí, ale někteří jedinci musí i přes výrazné zlepšení zraku stále nosit brýle či kontaktní čočky. Bylo vyvinuto několik typů laserové chirurgie, patří mezi ně například LASIK, PRK či LASEK. Všechny jsou si navzájem podobné, operace jednoho oka trvá přibližně deset minut a zaměřuje se na změnu tvaru rohovky pomocí laseru, kdy se odstraní velmi tenká vrstva rohovkové tkáně. Při každé operaci se ovšem mohou vyskytnout komplikace a nežádoucí účinky, mezi které patří rozmazané vidění, nadměrná či nedostatečná korekce či oční infekce. [23]

Již před více než 10 lety se vědci začali zabývat novou metodou neinvazivní léčby, zvanou keratoplastika. Jedná se o transplantaci rohovky, kdy je poškozená rohovka nahrazena rohovkovým štěpem. Keratoplastikou lze korigovat hypermetropii (ale také presbyopii). S nově vynalezenou léčbou ovšem souvisela celá řada pomyslných rizik. Řada italských vědců provedla v minulých letech klinickou studii, jejímž účelem bylo zhodnotit bezpečnost a účinnost keratoplastiky. Do výzkumu byli zařazeni pacienti, kteří podstoupili bilaterální keratoplastiku pro refrakční presbyopickou a hypermetropickou korekci. Studie byla prováděna u 20 pacientů, kteří absolvovali pravidelné oftalmologické vyšetření po dobu 6 měsíců, kdy jim byla vyšetřována zraková ostrost naturální, zraková ostrost s korekcí, také světelná projekce, vyšetření slzivosti a předního či zadního segmentu oka. Primárním ukazatelem účinnosti léčby bylo zlepšení zrakové ostrosti. Ze závěrů výzkumu vyplývá, že keratoplastika je bezpečným,

neinvasivním, rychlým a bezbolestným postupem při léčbě hypermetropie či presbyopie.  
[24]

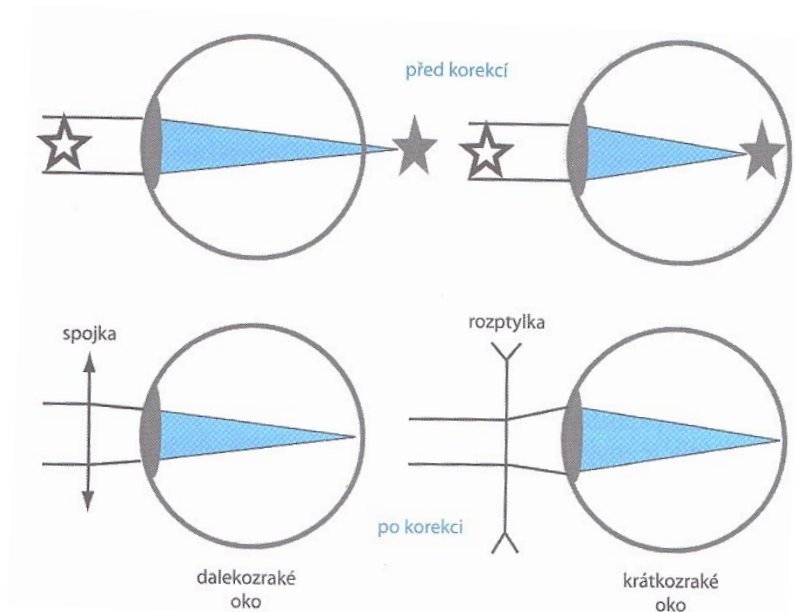
V minulých letech přišli odborníci s tvrzením, že riziko vývoje dalekozrakosti u dětí může být zvýšeno, jestliže jejich rodiče kouří a děti jsou tomuto kouří vystavovány. Odborníky na univerzitě Ain Shams v Káhiře byl proveden výzkum, jehož cílem bylo prozkoumat vztah mezi pasivním kouřením s refrakční chybou u dětí. U 300 dětí byly odebrány vzorky moči, které se následně využily k měření hladin kotininu a kreatininu. Kotinin je hlavním metabolitem nikotinu a jeho přítomnost v krvi či moči je důkazem inhalace tabákového kouře aktivním či pasivním kouřením. Nikotin je příčinou degenerace žluté skvrny a podílí se na vzniku zákalu oční čočky. V současné době je dostupná pouze jedna studie, která se zabývala vztahem mezi vývojem hypermetropie, kouřením a komplikovanou farmakologií nikotinového acetylcholinového receptoru, na který se může nikotin navázat. Vědci provádějící studii přišli se zjištěním, že častá expozice nikotinu způsobuje desenzibilizaci neboli ztrátu citlivosti receptorů. Agonisté se začínají chovat jako antagonisté a mohou být příčinou vyvolání široké škály protichůdných biologických účinků. Toto zjištění by mohlo vysvětlit hypermetropický posun u dětí, které jsou vystavovány kouření. Z výsledků studie vyplývá, že děti s hypermetropií mají mnohem vyšší koncentrace močového kotininu než děti trpící myopií či děti bez očních problémů. Závěrem této studie je fakt, že pasivní kouření by mělo být považováno za významný faktor pro hypermetropický posun. Odborníci nyní hodlají provádět další studie, kdy naopak využijí prostředí bez kouře. [25, 26]

### **5.1.2 Krátkozrakost**

Krátkozrakost je refrakční vada označována jako myopie, lidé trpící krátkozrakostí mají potíže s neostrým viděním do dálky. U této oční vady se nachází blízký bod blíže než u normálního oka a bod vzdálený není v nekonečnu. Oko vidí ostře pouze ty předměty, které se nacházejí v menší vzdálenosti, než je vzdálenost vzdáleného bodu. Do oka přicházejí paprsky, které se následně lámou do ohniska umístěného před sítnicí, tento stav není možné upravit akomodací. Myopie je častou příčinou ztráty zraku. Příčin vzniku myopie je spousta, může se jednat o zvýšené zakřivení rohovky nebo čočky (kdy dochází k zobtnání čočky vlivem těžké hyperglykémie), nebo může být tato vada zapříčiněna zvětšeným předozadním průměrem oka.

Myopie můžeme rozdělit dle stupně vady a příčiny vzniku. Dle příčiny krátkozrakost dělíme na refrakční a axiální. Příčinou axiální krátkozrakosti je vrozená vada, kdy dochází k prodloužení předozadní délky bulbu na více než 24 mm, jinak řečeno se jedná o nadměrnou délku očního bulbu. Refrakční krátkozrakost je způsobena příliš velkou optickou mohutností oka, dochází k přílišnému zakřivení rohovky či čočky, ovšem při zachované předozadní délce bulbu (24 mm). Dle hodnoty refrakce dělíme myopie na lehké, střední, vysoké a těžké.

Korekce krátkozrakosti se provádí čočkou rozptylnou neboli rozptylkou a korekce dalekozrakosti čočkou spojnou, jinak řečeno spojkou. Spojka nazývaná také jako čočka konvexní je na okrajích tenčí a uprostřed silnější. Spojky způsobují sbíhání paprsků, dochází k protínání paprsků v ohnisku za spojkami. Rozptylky, též označované jako konkávní čočky jsou naopak silnější na okrajích a způsobují rozbíhání paprsků po průchodu čočkou. Rozdílu mezi krátkozrakým a dalekozrakým okem před i po korekci si můžete všimnout na následujícím obrázku č. 20. [1, 3]



**Obrázek 20: Dalekozraké a krátkozraké oko** [20]

Krátkozrakost a dalekozrakost jsou označovány jako refrakční vady či optické defekty vizuálního systému, které mohou způsobit rozmazané vidění. Nekorigované refrakční vady bývají častými příčinami poškození zraku. Experimentální, epidemiologický a klinický výzkum ukázal, že rozvoj refrakčního vývoje je ovlivňován jednak environmentálními, ale také genetickými faktory. Z průběžného pozorování

pacientů vychází najevo, že dědičné faktory a vliv prostředí hrají zásadní roli v citlivosti na myopii.

Myopický člověk má jasné vidění při pohledu na objekty blízké k nim, ale vzdálené objekty se jeví rozmazané. Myopie je velmi rozšířenou oční vadou, která se vyskytuje až u poloviny dospělé populace po celém světě. Pokud je jeden nebo oba rodiče krátkozrací, je velmi pravděpodobné, že jejich děti budou krátkozraké. U dětí je myopie méně častá, ovšem prevalence se zvýšila během posledních let na téměř dvojnásobek své hodnoty. Přesná etiologie myopie stále není zcela známa, ale po mnoha studiích došli vědci k závěru, že genetické predispozice, pokles aktivity v přírodě, čas strávený u televize nebo počítače a činnosti vyžadující pravidelné a intenzivní používání očí, zvyšují pravděpodobnost rozvoje myopie a vedou k jejímu dřívějšímu nástupu.

Cílem velkého množství studií bylo prokázat účinnost atropinu pro prevenci myopické progresy u dětí. V roce 2011 byly publikovány poznatky, které se zaměřily na léčbu a zpomalení progresy myopie u dětí. Bylo prokázáno, že nejvhodnějšími prostředky zpomalujícími progresi myopie u dětí jsou antimuskarinová činidla. Nejčastěji používaným a studovaným antimuskarinovým činidlem pro zpomalení progresy myopie je atropin, který je podáván ve formě očních kapek o různých koncentracích. Užívání atropinových očních kapek zpomaluje myopickou progresi, ovšem optimální doba zahájení a přerušování léčby není stále známa a s používáním atropinu přichází riziko nežádoucích účinků, mezi které patří například alergická konjunktivitida nebo dermatitida. Budoucí výzkum se zaměří na lepší pochopení mechanismu myopické progresy a základnímu účinku na tuto vadu. Vědci se budou snažit stanovit optimální dávkování pro různé skupiny pacientů a vyhodnotit rizikové faktory pro selhání léčby. [27, 28, 29, 30]

Onemocnění krátkozrakosti se liší v populacích různých regionů a etnik. V populačních studiích zaměřených na děti byla prevalence myopie vyšší v městských oblastech a čínské etnické příslušnosti. Krátkozrakost se stala v posledních desetiletích velkým zdravotním problémem po celém světě, ale nejvíce se rozšířila ve východní Asii. Postihuje zde téměř 80-90 % absolventů středních škol. Vyšší výskyt této refrakční vady se zdá být spojován s rostoucími vzdělávacími nároky a tlaky v kombinaci se změnou životního stylu, kdy studenti tráví velice málo času venku. Po podrobném zkoumání přišli vědci s tvrzením, že pobyt ve venkovním prostředí působí proti vzniku krátkozrakosti.

Nedávná studie zjistila, že nízká intenzita okolního světla je velice rizikovým faktorem pro rozvoj myopie. <sup>[31, 32]</sup>

### 5.1.3 Presbyopie

Schopnost akomodace oka se s rostoucím věkem snižuje, příčinou je ztráta pružnosti a nedostatečné zakřivení čočky. Oční vadu typickou pro lidi vyššího věku, můžeme nazvat jako presbyopii neboli stařeckou vetchozrakost. Problém spočívá v tom, že se blízký bod dostává za konvenční zrakovou vzdálenost, která se nachází přibližně 25 cm před okem, jinak řečeno blízký bod se vzdaluje od oka. Zmenšení schopnosti akomodace se projevuje prodloužením vzdálenosti blízkého bodu.

U zdravého oka se presbyopie začíná projevovat po 40. roku života, posunem blízkého bodu nastávají problémy zejména při čtení, jelikož lidé nejsou schopni zaostřit na blízko. Text je pro ně rozmazaný, čtení jim může způsobovat únavu, bolest hlavy a očí. S přibývajícím věkem se blízký bod neustále od oka vzdaluje a již kolem 70. roku čočka neakomoduje vůbec, ztratila téměř všechny elastické vlastnosti. Léčba presbyopie spočívá v nošení brýlí, kontaktních čoček či chirurgické léčbě. <sup>[1, 11]</sup>

## 5.2 Asférické ametropie

Astigmatismus je refrakční vada nastávající v případě, kdy obrazem bodu není opět bod. Příčin astigmatismu může být více, nejčastěji je problém v nepravidelném zakřivení rohovky, ale je znám i astigmatismus čočky, který je ovšem mnohem vzácnější. Člověk trpící astigmatismem nevidí ostře na dálku, ani na blízko. Astigmatismus je charakterizován jako rozdílné zakřivení povrchu rohovky ve všech rovinách, které procházejí optickou osou. Dochází ke vzniku rozdílu lomivosti ve všech rovinách a bod se zobrazí jako čárka.

Každé oko je nepatrně astigmatické, jedná se o fyziologický jev, který není potřeba korigovat. Kromě toho jsou známy dva druhy patologického astigmatismu, a to nepravidelný a pravidelný astigmatismus. U nepravidelného astigmatismu může být asymetrické zakřivení rohovky důsledkem spáleniny či úrazu. Naopak u pravidelného astigmatismu má rohovka nesymetrické zakřivení ve všech rovinách, které procházejí optickou osou. V mírné formě není tato vada příliš vážná, ovšem vyšší stupně mohou vyvolat příznaky jakou je například šilhání, rozmazané vidění, únava nebo bolest hlavy. <sup>[4, 11]</sup>



## 5.3 Barvoslepost

Schopnost lidského oka vnímat barvy je známa pod pojmem barvocit. Jako trichromáty označujeme jedince s normálním barvocitem, tito lidé mají v sítnici obsaženy všechny tři druhy čípků pro vnímání barev. Barvoslepost je jednou z velmi častých poruch vidění, může se jednat o formu získanou či vrozenou, která se častěji objevuje u mužů. Dříve nebyla příčina této vady objasněna a byla přisuzována rozdílnému chování žen i mužů, ovšem dnešní moderní molekulární a genetické techniky pomohly objasnit její mechanismy.

V případě, že dojde k poruše schopnosti oka vnímat barvy, nastává stav zvaný barvoslepost. Porucha vnímání barev může být částečná nebo úplná. Při úplné barvosleposti již není vnímána ani jedna ze základních barev, člověk vnímá pouze odstíny šedi. Často je tato porucha spojována s dalšími vadami a jedince trpící touto vadou nazýváme jako monochromáty. Lidé s částečnou ztrátou barvocitu trpí poruchou vnímání jedné ze základních barev, jedná se o dichromáty. Neschopnost vnímat červenou barvu označujeme názvem protanopie, zelenou barvu pojmem deuteranopie a barvu modrou tritanopie.

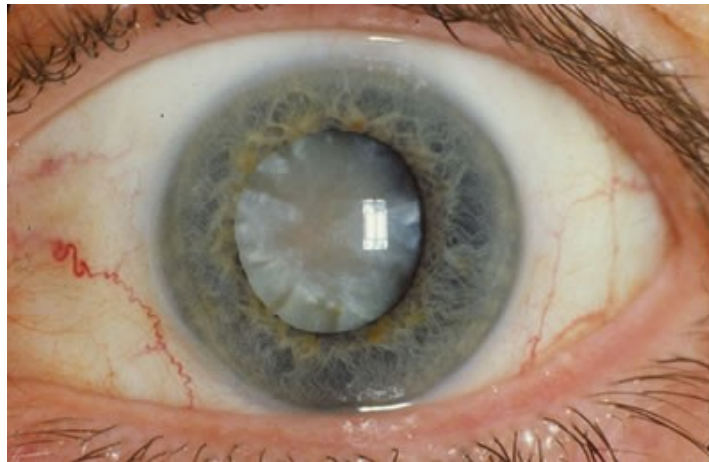
Příčinu vzniku barvosleposti vědci přisoudili mutacím a následnému přeuspořádání genů kódujících syntézu barviv citlivých na dlouhé, střední a krátké vlnové délky. K objasnění barvosleposti vědci tyto geny izolovali a sekvenovali. Díky tomuto procesu sestavili hypotézu, ze které vyplývá skutečnost, že změny v čípkových opsinových genech jsou základem zděděných nedostatků barevného vidění. [5, 33, 34, 35]

## 5.4 Šeroslepost

Šeroslepost je onemocnění oka, které můžeme charakterizovat jako zhoršenou adaptaci na tmu, jinak řečeno se jedná o zhoršené vidění za šera či v noci v důsledku špatné funkce tyčinek v oku. Vzniká poruchou metabolismu nebo nedostatkem vitamínu A v potravě. Dědičně podmíněné vrozené formy tohoto onemocnění jsou vzácné, ovšem vyskytují se. Nedostatek vitamínu A je příčinou nedostatečné tvorby barviva rodopsinu, obsaženého v tyčinkách. Šeroslepost léčíme podáváním potravy se zvýšeným množstvím vitamínu A, nebo je také možno využít nízkofrekvenční pulzní magnetoterapii, díky které dochází k lepšímu prokrvení a okysličení očí. [4]

## 5.5 Šedý zákal

Šedý zákal je vyobrazen na obrázku č.21 a již mnoho let je znám pod pojmem katarakta. Při této oční vadě dochází ke snížení průhlednosti čočky vznikající z důvodu zkalení v čočce. Jedná se o velice častou příčinu slepoty. Po mnoha intenzivních výzkumech se podařilo prokázat rizikové faktory, které by mohly vést k tvorbě šedého zákalu. Jedná se o diabetes, alkohol, UV-B záření, průjemová onemocnění či oxidativní poruchy, avšak velice významným rizikovým faktorem pro vznik šedého zákalu je kouření. Toxické látky obsažené v cigaretovém kouři snižují průhlednost oční čočky. Ke snížení průhlednosti dochází z důvodu ničení antioxidantních látek, které průhlednost oční čočky zachovávají. V současné době je v mnoha zemích jedinou schválenou léčbou šedého zákalu chirurgické odstranění čočky. Čočka musí být ve většině případů operačně nahrazena umělou nitrooční čočkou. Kromě chirurgického zákroku jsou k dispozici léky zpomalující rozvoj šedého zákalu, ovšem chirurgická léčba patří mezi nejefektivnější způsob léčby šedého zákalu.



*Obrázek 21: Šedý zákal* <sup>[21]</sup>

Je známo mnoho druhů šedých zákalů, od vrozených, dětských, po senilní, traumatické, lékové, radiační a metabolické. K rozvoji šedého zákalu u dětí může dojít zejména již během porodu nebo do prvního roku života. Příčina vzniku senilní katarakty ani v dnešní době není zcela objasněna, s přibývajícím věkem člověka čočka ztrácí na elasticitě, zvětšuje se, nabývá na hmotnosti, díky čemuž dochází ke snížení transparence, změnám refrakčního indexu a zvětšuje se pigmentace jádra od žluté po hnědou barvu. Lékovou kataraktu může způsobit dlouhodobé užívání kortikosteroidů,

silných miotik či fenothiazinů, které zapříčiňují vznik pigmentových depozit v epitelu čočky a oblasti zornice. Po působení chemických látek, elektrického proudu či mechanickém poranění může dojít k rozvoji traumatické katarakty. Vliv na vznik radiační katarakty má elektromagnetické vlnění o různé vlnové délce.

Mnoho výzkumů potvrzuje fakt, že niacin, thiamin, riboflavin a vitamíny A, C, E zajišťují ochranu oční čočky a zamezují vzniku katarakty. <sup>[34, 36]</sup>

## 6 Glaukom

Výživu oční čočky a rohovky zajišťuje komorová voda, která je produkována řasnatým tělískem. Stálou tvorbou a odtokem je udržován nitrooční tlak na stálé hladině. V případě omezeného odtoku dochází ke zvýšení nitroočního tlaku a vzniká zelený zákal neboli glaukom, mezi jehož projevy patří poškození sítnice a bolest v oku.

Glaukom je hlavní příčinou nevratné ztráty zraku, která může být asymptomatická až do relativně pozdního stádia. Včasná diagnóza a léčba může zabránit ztrátě zraku z této nemoci. Glaukomy jsou skupinou progresivních optických neuropatií charakterizovaných degenerací retinálních gangliových buněk. Ztráta gangliových buněk souvisí s úrovní nitroočního tlaku. Snížení nitroočního tlaku je jediným osvědčeným způsobem léčby onemocnění. Laserová trabekuloplastika a chirurgie bývají použity k zpomalení progresu onemocnění. Mezi rizikové faktory této vady patří vysoký věk, rodinná anamnéza glaukomu, používání systémových nebo topických kortikosteroidů. Zelený zákal postihuje více než 70 miliónů lidí na celém světě, přičemž přibližně 10 % je bilaterálně slepých. Průzkumy naznačují, že pouze 10 % až 50 % lidí s glaukomem si je vědomo toho, že touto vadou trpí. [4, 34, 37, 38]

Glaukomy lze rozdělit do dvou kategorií, a to na glaukomy s otevřeným úhlem a uzavřeným úhlem, oba mohou být primárním onemocněním. Glaukom s otevřeným úhlem tvoří většinu případů ve Spojených státech a západní Evropě, přičemž nejčastějším typem je primární glaukom s otevřeným úhlem. V tomto případě není komorový úhel blokován rohovkou a je normálně vyvinutý, postiženy jsou obvykle obě oči. Naproti tomu v Číně a dalších asijských zemích je velmi rozšířen glaukom s uzavřeným úhlem, který se vyskytuje u očí s menší rohovkou a užším komorovým úhlem. V tomto případě je odtok komorové vody blokován duhovkou a nitrooční tlak narůstá k velmi vysokým hodnotám. Průběh glaukomu s uzavřeným úhlem provází tři stádia, a to stádium klidové, prodromální a glaukomový záchvat. Prodromální stádium doprovází rozmlžené vidění či bolest poloviny hlavy a glaukomový záchvat je typický prudkou bolestí hlavy, průjmem, pocitem na zvracení a nevolností. Tyto dva typy glaukomu jsou charakterizovány na základě anatomické konfigurace cesty odtoku komorové vody. Sekundární glaukom bývá na rozdíl od glaukomu primárního důsledkem traumat, používáním kortikosteroidů, vlivem zánětů či nádorů.

Vědci uskutečnili velký počet studií, kdy se pokoušeli zjistit souvislost mezi krátkozrakostí a glaukomem s otevřeným úhlem. Ze závěrů těchto studií vyplývá, že jedinci trpící myopií mají zvýšené riziko vzniku glaukomu s otevřeným úhlem. [39, 40]

V dnešní době je léčba zeleného zákalu na velmi pokročilé úrovni. Lékaři si kladou za cíl snížit nitrooční tlak, zabránit progresi poškození zrakového nervu a minimalizovat komplikace či vedlejší účinky léčby. Glaukom se dá léčit třemi způsoby, jednak podáváním vhodných medikamentů, ale také laserovou či chirurgickou operací. Z farmakologického hlediska jsou dostupné preparáty v léčbě glaukomu, které snižují tvorbu komorové vody, ovlivňují její odtok a působí osmoticky.

V případě, že medikamenty v léčbě glaukomu nepomohou, přichází na řadu laserová operace, jedná se o velmi šetrný a téměř bezbolestivý způsob léčby glaukomu. Při léčbě glaukomu s uzavřeným úhlem se využívá laserová iridotomie, kdy dochází k vytvoření malého otvoru v duhovce, kterým pak může volně odtékat komorová voda a dojde k vyrovnání tlaku v přední a zadní komoře oční. Jedná-li se o glaukom s otevřeným úhlem, pak se přistupuje k laserové trabekuloplastice. Cílem tohoto zákroku je odstranit trámčinu komorového úhlu, která se v něm nachází, díky čemuž dojde ke zlepšení průtoku nitrooční tekutiny a sníží se nitrooční tlak. U lidí trpících vážnou formou glaukomu se provádí cyklofotokoagulace, kdy je laserem narušena část řasnatého tělíska, díky čemuž je snížena tvorba komorové vody a nitrooční tlak.

K chirurgické léčbě se přistupuje až tehdy, pokud se pomocí medikamentů a laserové operace stále nedaří dosáhnout požadovaného nitroočního tlaku. Při operačním zákroku zvaném iridektomie se radikální chirurgickou cestou odstraní část duhovky. Z důvodu vyššího rizika možných komplikací se od tohoto zákroku již upouští.

Dle průzkumů a předčasných odhadů se počet lidí s glaukomem v roce 2040 zvýší na 111,8 milionu. Tyto odhady jsou důležité při vytváření návrhů screeningu glaukomu, léčby a souvisejících strategií v oblasti veřejného zdraví. [41, 42]

## 7 Korekce očních vad

V současné době existuje obrovské množství optických pomůcek, díky kterým dochází k úspěšné korekci očních vad. Refrakční vady můžeme korigovat dioptrickými brýlemi, kontaktními čočkami nebo operací s využitím laserů o vysokém výkonu, každá pomůcka či metoda přináší spoustu výhod, ale také nevýhod.

V posledních letech byl navržen nový systém testování zraku, který je založen na použití mikrooptických, mikromechanických a mikroelektronických technologií. Tento přenosný a lehký systém dokáže měřit optickou mohutnost, optimalizovat světelné podmínky testovaného oka a provádět cvičení očních svalů. Mikrosystémy zahrnují programovatelné mikrooptické čočky, zařízení pro řízení clony, pikoprojektory, radiofrekvenční komunikaci a bezdrátová zařízení pro ukládání dat s možností dálkového bezdrátového přenosu energie. <sup>[1, 2, 43]</sup>

### 7.1 Brýle

Ke korekci refrakčních vad využíváme brýle, které jsou složeny z obruby a čočky. Existuje velké množství čoček různých materiálů, typů a provedení. Čočky mohou být skleněné, minerální, plastové či polykarbonátové. Každý typ čočky je určený pro korekci specifické refrakční vady. Jako příklad lze uvést jednoohniskovou čočku, která se využívá pro korekci vidění na blízku nebo na dálku. Opačným případem jsou bifokální čočky, které jsou určené lidem trpícím krátkozrakostí i dalekozrakostí. Bifokální čočky korigují krátkozrakost a zároveň i dalekozrakost, jelikož je na čočce umístěna dělicí část rozdělující část čočky určenou pro vidění do dálky a nablízko. Na trhu je mnoho dalších čoček, jejichž podstata spočívá v zabránění oslnění, zlepšení vnímání ostrosti barev, zabarvení se dle intenzity UV záření nebo v kvalitnějších zobrazovacích schopnostech.

Krátkozrakost korigujeme rozptylkami o optické mohutnosti, při které vidí člověk ostře až do nekonečna. Naopak optimální korekci dalekozrakosti a presbyopie zajišťujeme spojkami. Astigmatismus korigujeme pomocí cylindrických skel, cílem je dosáhnout stavu, aby obě ohniska splývala právě na sítnici. Cylindrické čočky lámou světlo podle vodorovné nebo svislé osy, ale může se jednat o jakýkoliv úhel. <sup>[1, 3, 34]</sup>

## 7.2 Kontaktní čočky

Rok 1953 byl zlomovým bodem pro revoluci ve vývoji kontaktních čoček. Hlavní zásluhu na tomto objevu mají čeští vědci Otto Wichterle a Jaroslav Lim. Tito vědci vytvořili návrh měkké hydrofilní kontaktní čočky, která byla vyrobena z materiálu známého pod názvem HEMA. O pár let později přišel vědec Otto Wichterle na způsob, jakým vyrobit kontaktní čočky, jednalo se o odstředivé odlévání.

Kontaktní čočky můžeme dělit na dva typy, měkké a tvrdé. Tvrdé kontaktní čočky mohou být propustné nebo nepropustné pro plyny, využívají se u lidí s astigmatismem nebo porušeným tvarem rohovky. Výhodou tvrdých kontaktních čoček je bezesporu jejich stabilní tvar, neměnné optické vlastnosti a možnost dlouhodobějšího nošení, například po dobu jednoho roku. Adaptace oka na tvrdou čočku trvá podstatně déle než na kontaktní čočku měkkou.

Na trhu je k dostání velké množství měkkých kontaktních čoček, které jsou vyrobeny z různých materiálů. Z hlediska použitého materiálu mohou být měkké kontaktní čočky hybridní, hydrogelové nebo silikon-hydrogelové. Jako velké plus považujeme u toho druhu kontaktních čoček komfortní nošení, snadnou aplikaci a příznivou cenu. Měkké kontaktní čočky se v dnešní době využívají zejména při korekci hypermetropie, myopie, astigmatismu a presbyopie. Pravidelná výměna měkkých kontaktních čoček je velice důležitá, jelikož na nich dochází k tvorbě lipidových a bílkovinných usazenin ze slzného filmu. Vznik těchto usazenin může vést až k rozvoji zánětu spojivek či jiným komplikacím. Výhodou kontaktních čoček je jejich snadná aplikace a výměna, přináší lepší přirozené vidění a nezkracují obraz. Doba nošení čoček je závislá na specifickém druhu čoček a režimu nošení, existují čočky vhodné na denní nošení, ale také čočky na nošení kontinuální. <sup>[1, 8, 44]</sup>

Ačkoliv bylo uváděno, že používání měkkých, multifokálních kontaktních čoček u dětí a mladistvých neovlivní průběh krátkozrakosti, nedávná studie toto tvrzení vyvrátila. Z této studie vyplývá skutečnost, že nošením tohoto druhu čoček po dobu 2 let dojde u 50 % pacientů ke snížení progresu myopie a u 29 % pacientů ke zkrácení předozadní délky bulbu. <sup>[45, 46]</sup>

## 7.3 Refrakční chirurgie

Refrakční chirurgie je velmi rychle se rozvíjejícím pododvětvím očního lékařství. Refrakčními chirurgickými zákroky můžeme korigovat krátkozrakost, dalekozrakost,

astigmatismus, dokonce i presbyopii. Existuje celá škála chirurgických zákroků vhodných pro korekci refrakčních poruch. Nejčastěji jsou využívány laserové operace oka, nitrooční chirurgické operace nebo jejich vzájemná kombinace. K chirurgické implantaci nitrooční čočky lékaři přistupují při poškození oční čočky pacienta, ale především při těžších refrakčních vadách oka.

Při laserových operacích je oko znecitlivěno anestetickými kapkami, dnes už se jedná o rychlý a bezbolestný ambulantní zákrok. K operaci se využívá vysokovýkonný excimerový laser, kdy zdrojem laserových paprsků je excitovaný dimer. Při použití tohoto typu laseru nehrozí nebezpečí tepelného poškození tkáně rohovky. Mezi jeho další výhody patří vysoká přesnost, bezpečnost a s jeho použitím dochází pouze k minimálnímu porušení okolní tkáně. Operační cestou s využitím laseru se mění zakřivení rohovky, působením laserového paprsku dochází k modelaci rohovkové tkáně. Laserový paprsek dopadá na povrch rohovky a velmi šetrně odstraňuje tenkou vrstvu tkáně. V dnešní době existuje velké množství různých typů laserových operací, jako je například LASIK, LASEK, PRK, PTK, Epi LASIK a další, konkrétní typ záleží na volbě chirurga. Odstranění oční vady u pacienta trpícího krátkozrakostí spočívá v oploštění centra rohovky laserem. Při dalekozrakosti korigujeme oční vadu zvýšením zakřivení rohovky, čehož docílíme zestrmením rohovky v její centrální části. Laserové zákroky můžeme rozdělit na dva typy, a to hloubkové a povrchové.

PRK nazývána jako fotorefraktivní keratektomie je jedna z nejstarších refrakčních laserových technik. Při této metodě je epitel rohovky odstraněn pomocí chirurgického nástroje, k tomuto typu operace se přistupuje například u pacientů s tenkou rohovkou.

PTK neboli fototerapeutická keratektomie je laserový zákrok, který se využívá při onemocnění povrchových vrstev rohovky, jako například rohovkových jizev nebo recidivujících erozí.

Metoda LASIK patří k nejpřesnějším a nejbezpečnějším laserovým operacím oka. Při této metodě dochází k seříznutí a následnému odklopení tenké lamely nacházející se na vrcholu rohovky. V dalším kroku je pomocí excimerového laseru odstraněna vrstvička rohovkového stromatu a provedena výsledná změna jejího zakřivení. V poslední fázi operace už zbývá pouze přiklopit lamelu zpět na své původní místo.

Refrakční laserová technika typu LASEK je metoda, při které se přímo na epitel rohovky aplikuje koncentrovaný alkohol, který způsobí odklopení povrchové vrstvy rohovky. Na rozdíl od metody LASIK není proveden žádný řez, jsou ovlivněny pouze povrchové oblasti rohovky a není potřeba použití keratomu. Při korekci dalekozrakosti se



zakřivení rohovky zvětšuje, čehož je docíleno odstraněním periferní části stromy rohovky. Naopak při korekci krátkozrakosti se odstraněním centrální části stromy zakřivení rohovky zmenší.

Pro chirurgy provádějící refrakční chirurgii se stal velice oblíbenou technologií femtosekundový laser. V současnosti se jedná o nejjemnější, nejpřesnější a nejrychlejší laser pro operaci očních vad. Nedávné pokroky a aplikace femtosekundového laseru poukazují na výrazné zlepšení klinických výsledků a bezpečnosti. Jak takový femtosekundový laser vypadá, můžete vidět na následujícím obrázku č.22. Mezi nejmodernější laserové operace patří metoda LASIK femtosekundovým laserem využívající 7D laseru. Tato metoda je opravdu velmi přesná a dokáže korigovat dalekozrakost, krátkozrakost i astigmatismus, seříznutí lamely probíhá na principu fotodisrupce. Pro vyšší stupeň astigmatismu a krátkozrakosti chirurgové využívají bezlamelovou lasik metodu ReLex Smile, která využívá výhradně energii femtosekundového laseru. Při této metodě dochází namísto otevřené lamely k vytvoření jakési trojrozměrné čočky, která je následně uvolněna a odstraněna z rohovky. Výsledkem je ztenčení a zploštění rohovky v samotném centru.

Dvě nejčastěji využívané chirurgické techniky k trvalé korekci krátkozrakosti jsou PRK (fotorefraktivní keratektomie) a LASIK (Laser-Assisted In-Situ Keratomileusis). Studie zabývající se porovnáním těchto dvou dospěla k závěru, že metoda LASIK poskytuje rychlejší vizuální zotavení a je méně bolestivá než metoda PRK. Výsledky obou metod byly po roce od operace srovnatelné, avšak většina analýz upřednostňuje metodu LASIK. [1, 36, 47, 48]



**Obrázek 22: Femtosekundový laser** [22]

## 8 Závěr

Světlo a celý proces vidění hraje důležitou roli v životě každého z nás. Cílem mé bakalářské práce bylo shromáždit poznatky a seznámit čtenáře s fyzikální a biologickou podstatou světla, anatomickou stavbou oka, samotným procesem vidění, jeho případnými poruchami, možnostmi léčby očních vad a využitím moderních technologií při jejich korekci.

V první části bakalářské práce jsem se věnovala fyzikální podstatě světla, objasnila jsem samotný pojem světla a popsala druhy prostředí, kterými se světlo může šířit. Do práce jsem taktéž zařadila fyzikální zákony, které jsou se světlem přímo spjaty a podkapitoly pojednávající o vlnové a kvantové optice dokazující duální charakter světla.

Kapitolu 3 jsem zaměřila na popis základní anatomické stavby oka, zrakových center mozku, které slouží ke zpracování a vyhodnocení zrakových impulzů. Konec této kapitoly pojednává o zrakové ostrosti a pomůckách využívaných k měření zrakové ostrosti, v praxi nejčastěji používaným Snellovým optotypům a Jaegerovým tabulkám.

V další části práce je popsána struktura sítnice, zrakového nervu a světločivných buněk mezi které patří čípky, zodpovědné za barevné vidění a tyčinky, umožňující noční vidění. Vysvětlila jsem mechanismus adaptace oka na světlo a tmu, dále fotofyzikální a fotochemické procesy probíhající v sítnici a poukázala jsem na nejvýznamnější teorie barevného vidění.

Významnou část bakalářské práce tvoří kapitola pojednávající o refrakčních vadách oka, které jsou příčinou zhoršení vidění nebo úplné slepoty. V práci jsou rozebrány sférické ametropie zahrnující krátkozrakost, dalekozrakost a presbyopii, tyto vady postihují velkou část obyvatel. Zahrnula jsem zde také vědecké poznatky týkající se glaukomu, astigmatismu, šedého zákalu, šerosti a barvosleposti, jež se projevují rozdílně a za jejich vznikem stojí celá řada faktorů.

S onemocněními souvisí také možnost jejich léčby, dnes už existuje celá řada pomůcek, kterými lze dosáhnout úspěšné korekce očních vad. Často se využívají brýle, kontaktní čočky, v některých případech se přistupuje k refrakčním chirurgickým zákrokům, jako je laserová operace či nitrooční chirurgická operace, obě metody jsou na velmi pokročilé úrovni.

## 9 Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: SPEKTRUM ELEKTROMAGNETICKÉHO ZÁŘENÍ <sup>[1]</sup> <a href="http://labguide.cz/fluorochromy/">http://labguide.cz/fluorochromy/</a>	8
OBRÁZEK 2: SVĚTLO DOPADAJÍCÍ NA ROZHRANÍ OPTICKÝCH PROSTŘEDÍ <sup>[2]</sup> <a href="http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/02_odraz_a_lom/02_odraz.htm">http://www.gymhol.cz/projekt/fyzika/02_odraz_a_lom/02_odraz.htm</a>	10
OBRÁZEK 3: ÚHEL DOPADU A ODRAZU <sup>[3]</sup> <a href="http://www.fyzika.webz.cz/index.php?clanek=9&amp;title=Optika">http://www.fyzika.webz.cz/index.php?clanek=9&amp;title=Optika</a>	11
OBRÁZEK 4: LOM OD KOLMICE <sup>[4]</sup> <a href="http://www.fyzika.webz.cz/index.php?clanek=9&amp;title=Optika">http://www.fyzika.webz.cz/index.php?clanek=9&amp;title=Optika</a>	11
OBRÁZEK 5: ROZKLAD BÍLÉHO SVĚTLA OPTICKÝM HRANOLEM <sup>[5]</sup> <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prism-rainbow-black-2.svg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Prism-rainbow-black-2.svg</a>	12
OBRÁZEK 6: KOHERENTNÍ A NEKOHERENTNÍ VLNĚNÍ <sup>[6]</sup> <a href="http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/452-skladani-vlneni">http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/452-skladani-vlneni</a>	13
OBRÁZEK 7: OHYB SVĚTLA OPTICKOU MŘÍŽKOU <sup>[7]</sup> <a href="http://edu.techmania.cz/cs/veda-v-pozadi/515">http://edu.techmania.cz/cs/veda-v-pozadi/515</a>	14
OBRÁZEK 8: UV-A A UV-B ZÁŘENÍ PRONIKAJÍCÍ DO KŮŽE <sup>[8]</sup> <a href="https://luminordic.com/en/7-important-things-to-know-about-sunbathing-and-sun-protection/">https://luminordic.com/en/7-important-things-to-know-about-sunbathing-and-sun-protection/</a>	17
OBRÁZEK 9: SKLADBA ROHOVKY <sup>[9]</sup> <a href="http://www.astropozorovani.rekmarik.cz/astropozorovani/index.php/fyziologie-zraku.html">http://www.astropozorovani.rekmarik.cz/astropozorovani/index.php/fyziologie-zraku.html</a>	20
OBRÁZEK 10: SLOŽENÍ CÉVNATKY <sup>[10]</sup> <a href="https://www.zeleny-zakal.cz/belima-a-cevnatka">https://www.zeleny-zakal.cz/belima-a-cevnatka</a>	21
OBRÁZEK 11: ANATOMICKÁ STAVBA OKA <sup>[11]</sup> <a href="http://www.symptomy.cz/anatomie/oci">http://www.symptomy.cz/anatomie/oci</a>	22
OBRÁZEK 12: AKOMODACE ZDRAVÉHO OKA <sup>[12]</sup> <a href="https://www.cocky-kontaktni.cz/slovník/akomodace.html">https://www.cocky-kontaktni.cz/slovník/akomodace.html</a>	24
OBRÁZEK 13: AKOMODACE DO DÁLKY A DO BLÍZKA <sup>[13]</sup> <a href="http://www.cocky.cz/akomodace-oka.html">http://www.cocky.cz/akomodace-oka.html</a>	25
OBRÁZEK 14: SNELLOVA TABULKA <sup>[14]</sup> <a href="https://www.mixxer-medical.cz/Snellenova-tabulka-28-x-56-cm-d1620.htm">https://www.mixxer-medical.cz/Snellenova-tabulka-28-x-56-cm-d1620.htm</a>	26

OBRÁZEK 15: JAEGEROVY TABULKY <sup>[15]</sup>	27
<a href="https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js16/refracni_vady/web/pages/03-naturalni-zrakova-ostrost.html">https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/lf/js16/refracni_vady/web/pages/03-naturalni-zrakova-ostrost.html</a>	
OBRÁZEK 16: STAVBA SÍTNICE <sup>[16]</sup>	28
<a href="http://www.cnsonline.cz/?p=295">http://www.cnsonline.cz/?p=295</a>	
OBRÁZEK 17: MIKROSKOPICKÁ STAVBA TYČINKY A ČÍPKU <sup>[17]</sup>	30
PŘEVZATO Z 3	
OBRÁZEK 18: ŽLUTÁ A SLEPÁ SKVRNA <sup>[18]</sup>	33
<a href="http://www.albaoptik.cz/va.htm">http://www.albaoptik.cz/va.htm</a>	
OBRÁZEK 19: MODEL RGB <sup>[19]</sup>	34
<a href="http://www.posterbar.cz/rady/barevne-modely">http://www.posterbar.cz/rady/barevne-modely</a>	
OBRÁZEK 20: DALEKOZRAKÉ A KRÁTKOZRAKÉ OKO <sup>[20]</sup>	38
PŘEVZATO Z 3	
OBRÁZEK 21: ŠEDÝ ZÁKAL <sup>[21]</sup>	42
<a href="http://www.darzraku.cz/katarakta-sedy-zakal/cs_CZ-37857.html">http://www.darzraku.cz/katarakta-sedy-zakal/cs_CZ-37857.html</a>	
OBRÁZEK 22: FEMTOSEKUNDOVÝ LASER <sup>[22]</sup>	49
<a href="http://www.neovize.cz/spickova-technika-pro-vase-oci/femtosekundovy-laser-visumax/">http://www.neovize.cz/spickova-technika-pro-vase-oci/femtosekundovy-laser-visumax/</a>	

## 10 Citovaná literatura

- 1- NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA. *Medicínská biofyzika*. Praha: Grada, 2005, s. 216-269. ISBN 978-80-247-1152-2.
- 2- BENEŠ, Jiří, Daniel JIRÁK a František VÍTEK. *Základy lékařské fyziky*. Praha: Karolinum, 2015, s. 177-221. ISBN 978-80-246-2645-1.
- 3- BENEŠ, Jiří, Jaroslava KYMPLOVÁ a František VÍTEK. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi*. Praha: Grada, 2015, s. 143-178. ISBN 978-80-247-4712-5.
- 4- ROSINA, Jozef et al. *Biofyzika: pro zdravotnické a biomedicínské obory*. Praha: Grada, 2013, s. 128-148. ISBN 978-80-247-4237-3.
- 5- HRAZDIRA, Ivo, Vojtěch MORNSTEIN a Jiřina ŠKORPÍKOVÁ. *Základy biofyziky a zdravotnické techniky*. Brno: Neptun, 2006, s. 155-173. ISBN 80-86850-01-3.
- 6- D'ORAZIO J. et al. UV Radiation and the Skin. *International Journal of Molecular Science*. [online]. 2013, roč. 14, č. 6, s. 12222-12248. [cit. 2018-03-08]. DOI: 10.3390/ijms140612222. Dostupný z: <http://www.mdpi.com/1422-0067/14/6/12222/htm>
- 7- NARAYANAN, D. L., R. N. SALADI, J. L. FOX. Review: Ultraviolet radiation and skin cancer. *International Journal of Dermatology*. [online]. 2010, roč. 49, č. 9, s. 978–986. [cit. 2018-03-08]. DOI: 10.1111/j.1365-4632.2010.04474.x. Dostupný z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-4632.2010.04474.x/full>
- 8- HÁLEK, Jan et al. *Biofyzika pro bakaláře*. Olomouc: Univerzita Palackého, 2002, s. 37-42. ISBN 80-244-0529-6.
- 9- WILLOUGHBY, C. E. et al. Anatomy and physiology of the human eye: effects of mucopolysaccharidoses disease on structure and function – a review. *Clinical & Experimental Ophthalmology*. [online]. 2010. roč. 38, č. 1, s. 2-11. [cit. 2018-03-08]. DOI: 10.1111/j.1442-9071.2010.02363.x. Dostupný z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1442-9071.2010.02363.x/full>

- 10- KVAPILÍKOVÁ, Květa. *Anatomie a embryologie oka*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. 206 stran. ISBN 80-7013-313-9.
- 11- BENEŠ, Jiří, Pravoslav STRÁNSKÝ a František VÍTEK. *Základy lékařské biofyziky*. Praha: Karolinum, 2007, s. 125-151. ISBN 978-80-246-1386-4.
- 12- TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. Praha: Grada, 1999, s. 452-465. ISBN 80-7169-788-5.
- 13- KUCHAROVÁ, Monika. Biofyzika vidění. Inovace studijního programu Farmacie na Farmaceutické fakultě Univerzity Karlovy. 2014 [cit. 2018-04-10]. Dostupný z: [https://dl1.cuni.cz/pluginfile.php/299216/mod\\_resource/content/1/Biofyzika%20vidění.pdf](https://dl1.cuni.cz/pluginfile.php/299216/mod_resource/content/1/Biofyzika%20vidění.pdf)
- 14- LONG, Maxine. *Rodinná encyklopedie medicíny a zdraví*. Čestlice: Rebo, 2009, 999 stran. ISBN 978-80-255-0155-9.
- 15 - VÍTEK, František. *Lectures on biophysics with medical orientation*. Praha: Karolinum, 2007, s. 88-102. ISBN 978-80-246-1409-0.
- 16- OREL, Miroslav, Věra FACOVÁ. *Člověk, jeho smysly a svět*. Praha: Grada, 2010, 256 stran. ISBN 978-80247-2946-6.
- 17- KUBLI-GARFIAS, Carlos et al. Atomic and molecular analysis highlights the biophysics of unprotonated and protonated retinal in UV and scotopic vision. *Photochemical & Photobiological Sciences*. [online]. 2015, roč. 14, č. 9, s. 1660-1672. [cit. 2018-04-10]. DOI: 10.1039/C5PP00091B. Dostupný z: <http://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2015/PP/C5PP00091B>
- 18- CONWAY, B. R. et al. Advances in Color Science: From Retina to Behavior. *Journal of Neuroscience*. [online]. 2010, roč. 30, č. 45, s. 14955-14963. [cit. 2018-04-10]. DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4348-10.2010>. Dostupný z: <http://www.jneurosci.org/content/30/45/14955>
- 19- PETROVA, E. B., F. M. SABIROVA. Study of The Peculiarities of Color Vision in The Course of "Biophysics" in A Pedagogical University. *International Journal of Environmental & Science Education*. [online]. 2016, roč. 11, č. 8, s. 1765-1776. [cit.

- 2018-04-10]. DOI: 10.12973/ijese.2016.553a. Dostupný z:  
<http://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1114599.pdf>
- 20- LIU, W., Hao F. ZHANG. Photoacoustic imaging of the eye: A mini review. *Photoacoustics*. [online]. 2016, roč. 4, č. 3, s. 112-123. [cit. 2018-04-10]. DOI: 10.1016/j.pacs.2016.05.001. Dostupný z:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213597916300180?via%3Dihub>
- 21- SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. Praha: Grada, 2014, s. 11-81. ISBN 978-80-247-3992-2.
- 22- ROZSÍVAL, P. *Oční lékařství*. Praha: Galén, 2006, 373 stran. ISBN 80-7262-404-0.
- 23- SETTAS, G., C. SETTAS, E. MINOS et al. Photorefractive keratectomy (PRK) versus laser assisted in situ keratomileusis (LASIK) for hyperopia correction. *Cochrane Database Syst Rev*. [online]. 2012, (6). [cit. 2018-04-10]. DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007112.pub3>. Dostupné z:  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22696365?dopt=Abstract>
- 24- VERITTI, D., V. SARAO, P. LANZETTA. Optimal Keratoplasty for the Correction of Presbyopia and Hypermetropia. *Journal of Ophthalmology*. [online]. 2017, 6 stran. [cit. 2018-04-10]. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/7545687>. Dostupné z:  
<https://www.hindawi.com/journals/joph/2017/7545687/abs/>
- 25- EL-SHAZLY, A. A. Passive smoking exposure might be associated with hypermetropia. *Ophthalmic and Physiological Optics*. [online]. 2012, roč. 32, č. 4, s. 304-307. [cit. 2018-04-10]. DOI: 10.1111/j.1475-1313.2012.00918.x. Dostupný z:  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-1313.2012.00918.x/full>
- 26- IYER, J. V. et al. Parental smoking and childhood refractive error: the STARS study. *Eye*. [online]. 2012, roč. 26, č. 10, s. 1324-1328. [cit. 2017-04-12]. DOI: 10.1038/eye.2012.160. Dostupný z:  
<http://www.nature.com/eye/journal/v26/n10/full/eye2012160a.html>
- 27- WOJCIECHOWSKI, R. Nature and nurture: the complex genetics of myopia and refractive error. *Clinical Genetics*, [online]. 2011. s. 301-320. [cit. 2017-04-12]. DOI:

<https://doi.org/10.1111/j.1399-0004.2010.01592.x>. Dostupný z:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1399-0004.2010.01592.x>

28- WILLIAMS, K. M. et al. Prevalence of refractive error in Europe: the European Eye Epidemiology (E3) Consortium. *European Journal of Epidemiology*. [online]. 2015. s. 305-315. č.4. [cit. 2017-04-12]. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10654-015-0010-0>. Dostupný z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10654-015-0010-0>

29- SHIJI, U. et al. Atropine for Treatment of Myopia. *Ophthalmology*. [online]. 2012, č.12, s. 2653 [cit. 2018-04-12]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2012.07.019>. Dostupný z: [http://www.aaojournal.org/article/S0161-6420\(12\)00653-7/fulltext](http://www.aaojournal.org/article/S0161-6420(12)00653-7/fulltext)

30- PINELESS, S. L. et al. Atropine for the Prevention of Myopia Progression in Children. *Ophthalmology*. [online]. 2017, č. 12, s.1857–1866. [cit. 2018-04-13]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2017.05.032>. Dostupný z: [http://www.aaojournal.org/article/S0161-6420\(17\)31675-5/fulltext](http://www.aaojournal.org/article/S0161-6420(17)31675-5/fulltext)

31- PAN, C.-W., D. RAMAMURTHY, S.-M. SAW. Worldwide prevalence and risk factors for myopia. *Ophthalmic and Physiological Optics*. [online]. 2012, roč. 32, č. 1, s. 3-16. [cit. 2018-04-13]. DOI: [10.1111/j.1475-1313.2011.00884.x](https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2011.00884.x). Dostupný z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-1313.2011.00884.x/full>

32- MORGAN, I. G. et al. Myopia. *The Lancet*. [online]. 2012, roč. 379, č. 9827, s. 1739-1748. [cit. 2018-04-13]. DOI: [10.1016/S0140-6736\(12\)60272-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60272-4). Dostupný z: [http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(12\)60272-4/fulltext](http://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(12)60272-4/fulltext)

33- SIMUNOVIC, M P. Colour vision deficiency. *Eye*. [online]. 2010, roč. 24, č.5, s. 747–755. [cit. 2018-04-14]. DOI: [10.1038/eye.2009.251](https://doi.org/10.1038/eye.2009.251). Dostupný z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19927164>

34- ROSINA, Jozef, Hana KOLÁŘOVÁ a Jiří STANEK. *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů*. Praha: Grada, 2006, s. 143-166. ISBN 80-247-1383-7.

35- NEITZ, J., M. NEITZ. The genetics of normal and defective color vision. *Vision Research*. [online]. 2011, roč. 51, č. 7, s. 633-651. [cit. 2018-04-14]. DOI: [10.1016/j.visres.2010.12.002](https://doi.org/10.1016/j.visres.2010.12.002). Dostupný z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0042698910005699+doi>



- 36- KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Grada, 2007, počet stran 768. ISBN 978-80-247-5079-8.
- 37- WEINERB, R. N., T. AUNG, F. A. MEDEIROS. The Pathophysiology and Treatment of Glaucoma-A Review. *JAMA. [online]*. 2014, roč. 311, č. 18, s. 1901-1911. [cit. 2018-04-14]. DOI: 10.1001/jama.2014.3192. Dostupný z: <http://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/1869215>
- 38- NICKELLS, R.W. et al. Under Pressure: Cellular and Molecular Responses During Glaucoma, a Common Neurodegeneration with Axonopathy. *Annual Review of Neuroscience. [online]*. 2012, roč. 35, s. 153-179. [cit. 2018-04-14]. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.051508.135728>. Dostupný z: <http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.neuro.051508.135728>
- 39- WEINERB, R. N. et al. Primary open-angle glaucoma. *Nature Reviews Disease Primers. [online]*. 2016, roč. 2. [cit. 2018-04-15]. DOI: 10.1038/nrdp.2016.67. Dostupný z: <https://www.nature.com/articles/nrdp201667>
- 40- MARCUS, M.W. et al. Myopia as a Risk Factor for Open-Angle Glaucoma: A Systematic view and Meta-Analysis. *Ophthalmology. [online]*. 2011, roč. 118, č. 10, s. 1989-1994. [cit. 2018-04-15]. DOI: 10.1016/j.ophtha.2011.03.012. Dostupný z: [http://www.aaojournal.org/article/S0161-6420\(11\)00250-8/fulltext](http://www.aaojournal.org/article/S0161-6420(11)00250-8/fulltext)
- 41- THAM, Y.-C. et al. Global Prevalence of Glaucoma and Projections of Glaucoma Burden through 2040: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Ophthalmology. [online]*. 2014, roč. 121, č. 11, s. 2081-2090. [cit. 2018-04-15]. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2014.05.013>. Dostupný z: [http://www.aaojournal.org/article/S0161-6420\(14\)00433-3/fulltext](http://www.aaojournal.org/article/S0161-6420(14)00433-3/fulltext)
- 42- KATZ, L. J., et al. Selective laser trabeculoplasty versus medical therapy as initial treatment of glaucoma: a prospective, randomized trial. *Journal of Glaucoma. [online]*. 2012. s. 460-468. [cit. 2018-04-15]. DOI: <https://doi.org/10.1097/IJG.0b013e318218287f>. Dostupný z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21543992>
- 43-RIZA, N. A., M. J. AMIN, M. N. RIZA. Eye Vision Testing System and Eyewear Using Micromachines. *Micromachines. [online]*. 2015, roč. 6, č. 11, s. 1690-1709. [cit.

2018-04-15]. DOI: 10.3390/mi6111449. Dostupný z: <http://www.mdpi.com/2072-666X/6/11/1449>

44- EFRON, Nathan. *Contact lens practice*. Edinburgh: Elsevier, 2018. Third edition. ISBN 978-0-7020-6660-3.

45- WALLINE, J.J. et al. Multifocal contact lens myopia control. *Optometry and Vision Science*. [online]. 2013, roč. 90, č. 11, s. 1207-1214. [cit. 2018-04-15]. DOI: 10.1097/OPX.0000000000000036. Dostupný z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24061152>

46- JACINTO, S. R. et al. Myopia Control with Orthokeratology Contact Lenses in Spain: Refractive and Biometric Changes. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. [online]. 2012, roč. 53, s. 5060-5065. [cit. 2018-04-15]. DOI: 10.1167/iovs.11-8005. Dostupný z: <http://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2168338>

47- KIM, P., G. L. SUTTON, D. S. ROOTMAN. Applications of the femtosecond laser in corneal refractive surgery. *Current Opinion in Ophthalmology*. [online]. 2011, roč. 22, č. 4, s. 238-244. [cit. 2018-04-16]. DOI: 10.1097/ICU.0b013e3283477c9c. Dostupný z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21537186>

48- SHORTT A. J., et al. Laser-assisted in-situ keratomileusis (LASIK) versus photorefractive keratectomy (PRK) for myopia. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. [online]. 2013. [cit. 2018-04-18]. DOI: 10.1002/14651858.CD005135.pub3. Dostupný z: <http://cochranelibrary-wiley.com/doi/10.1002/14651858.CD005135.pub3/full>