

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI

KATEDRA OPTIKY

# **Vliv velikosti zornice na vidění při nošení multifokálních kontaktních čoček**

Bakalářská práce

VYPRACOVALA: Radka Kučerová

VEDOUCÍ BALALÁŘSKÉ PRÁCE:

Obor 5345R008 OPTOMETRIE

Mgr. Lucie Machýčková

Studijní rok 2021/2022

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením  
Mgr. Lucie Machýčkové za použití literatury uvedené v závěru.

V Olomouci 3. 5. 2022

.....

### **Poděkování**

Ráda bych poděkovala své vedoucí práce paní Mgr. Lucii Machýčkové za cenné odborné rady, korekce mé práce a její čas věnovaný konzultacím.

Tato práce byla podpořena projekty IGA PřF UP v Olomouci č. IGA\_PrF\_2021\_012 a IGA\_PrF\_2022\_010.

# Obsah

<b>Úvod .....</b>	<b>6</b>
<b>1. Anatomie a fyziologie vybraných struktur očního aparátu .....</b>	<b>7</b>
1.1 Duhovka .....	7
1.2 Zornice .....	10
1.2.1 Funkce zornice .....	10
1.2.2 Vyšetření zornice .....	11
1.2.3 Fyziologické reakce zornic .....	11
1.2.4 Nervová dráha pupilárního reflexu .....	12
1.3 Stručný popis optické části sítnice .....	15
<b>2. Faktory ovlivňující velikost zornice .....</b>	<b>17</b>
2.1 Vnější vlivy .....	17
2.2 Vnitřní vlivy .....	17
2.3 Vliv farmak .....	18
2.4 Změny velikosti zornice v závislosti na věku .....	18
<b>3. Presbyopie.....</b>	<b>20</b>
3.1 Akomodace a akomodační šíře .....	20
3.2 Popis vady .....	20
3.3 Korekce presbyopie.....	21
<b>4. Optické jevy v souvislosti se zornicí oka.....</b>	<b>23</b>
4.1 Difrakce.....	23
4.2 Rozptylový kroužek .....	25
4.3 Hloubka ostrosti .....	26
4.4 Stiles-Crawfordův efekt .....	28
4.5 Vybrané optické aberace .....	29
4.5.1 Podélná chromatická aberace (disperze).....	29
4.5.2 Příčná chromatická aberace.....	30
4.5.3 Otvorová vada .....	31
4.5.4 Koma.....	34
<b>5. Funkce a design multifokálních kontaktních čoček.....</b>	<b>35</b>
5.1 Simultánní a alternující vidění .....	36
5.2 Charakteristika koncentrických designů multifokálních kontaktních čoček.....	38
<b>6. Vidění při nošení multifokálních kontaktních čoček.....</b>	<b>40</b>
6.1 Vliv velikosti zornice na průchod paprsků designem multifokální kontaktní čočky ..	40

6.2	Interakce designu multifokální kontaktní čočky a nativních optických aberací .....	44
6.3	Shrnutí faktorů ovlivňujících vidění při nošení multifokálních kontaktních čoček ....	45
<b>Závěr</b>	.....	<b>48</b>
<b>Seznam použitých zdrojů</b>	.....	<b>49</b>

# Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou vlivu velikosti zornice na vidění při nošení multifokálních kontaktních čoček. Zornice má v oku nezastupitelnou úlohu clony, která určuje množství světla, které vstupuje do oka, zajišťuje doostření obrazu, udává některé parametry vidění a v souvislosti s multifokálními kontaktními čočkami ovlivňuje průchod paprsků čočkou. Její průměr také určuje, jak velký budou mít vliv různé optické jevy, které zapříčiňují zhoršení kvality obrazu.

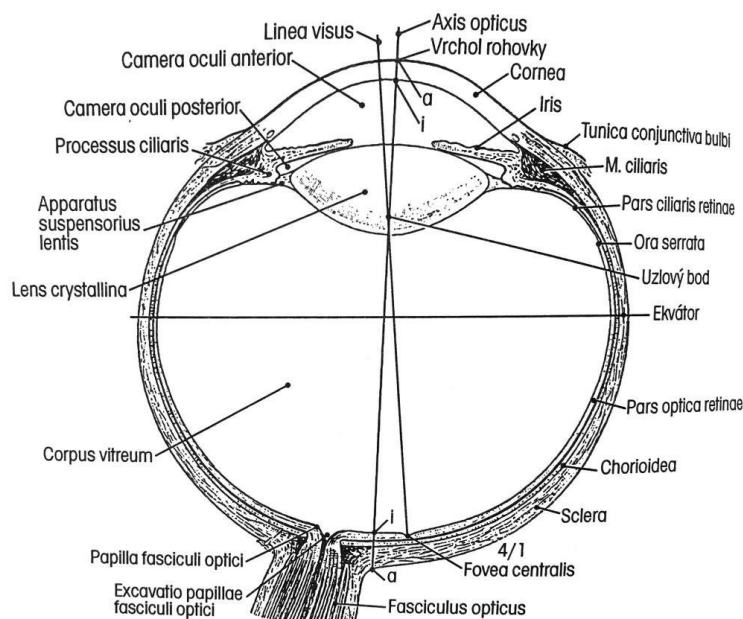
Problematiku navíc komplikuje fakt, že průměr zornice není u všech osob konstantní – závisí na spoustě vnějších a vnitřních faktorů, na kterých se podílí momentální fyzický a psychický stav.

Motivací pro výběr tohoto tématu pro mne byl osobní zájem o problematiku kontaktních čoček, pohyb v prostředí, kde se pravidelně dostávám do styku s lidmi v presbyopickém věku, kteří často sportují a věnují se takovým aktivitám, pro které není vhodná korekce brýlemi. Zaujal mne také podíl velikosti zornice na vidění za různých světelných podmínek, který je často značný a zásadně mění kvalitu obrazu.

Když jsem uvažovala o těchto tématech v souvislostech, tak mne začalo zajímat, proč je vidění v multifokálních kontaktních čočkách často i výrazně horší než v případě korekce multifokálními brýlovými čočkami a jak velký podíl na tom má právě velikost zornice navíc v interakci s designem kontaktních čoček a přidruženými jevy.

# 1. Anatomie a fyziologie vybraných struktur očního aparátu

V následujících podkapitolách je rozebrána anatomie duhovky (duhovka je světlo nepropustná tkáň, která přímo ovlivňuje velikost zornice), zornice (její velikost a tvar je pro kvalitu vidění zásadní) a optické části sítnice (tkáň se specifickým druhem buněk umožňujícími zpracování světelných podnětů).



Obr.1 Průřez oční koulí [1]

## 1.1 Duhovka

V následující podkapitole bude podrobně popsána a rozebrána anatomie a fyziologie duhovky (*iris*), která je nezbytná k pochopení funkce zornice. Duhovka spolu s cévnatkou (*choroidea*) a řasnatým tělískem (*corpus ciliare*) tvoří živnatku (*uvea*). V oku utváří rozhraní mezi přední a zadní komorou oka (*camera anterior et posterior*). [1, 2, 3]

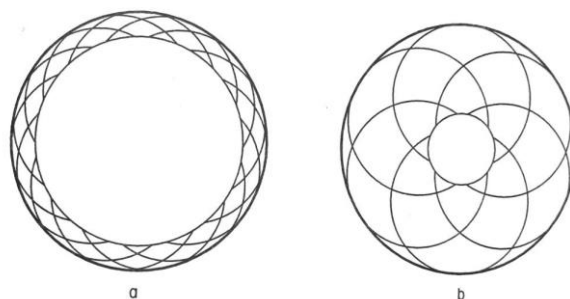
Duhovková tkáň je rozdělena na 2 části: pupilární část, která ohraničuje duhovkový otvor – zornici (*pupilla*) a ciliární část, která plynule přechází v řasnaté tělísko. [3]

Přední plocha určuje výslednou barvu očí obsahem pigmentu. Nacházejí se na ní krypty a lakuny, což jsou různě hluboké prohloubeniny, které vykreslují strukturu duhovky. Přední plocha není celistvá, ale je rozdělena na 2 soustředné prstence – menší *anulus iridis minor* a větší *anulus iridis major*. Zadní plocha je tvořena pigmentovým epitelem přecházejícím v pigmentovou vrstvu sítnice, můžeme ho pozorovat jako tmavě hnědý lem kolem zornice. Obě plochy představují duhovkové okruží, ve kterém mnohdy můžeme pozorovat volně vlající vlákénka, což jsou pozůstatky po prenatalní pupilární membráně. [1, 2, 3]

Duhovka se skládá z hladké svaloviny – ze svěrače a rozvěrače zornice (viz kapitola 1.2). Úlohou duhovky je vytváření optické izolace. Duhovka je tedy clona v optickém systému oka, která určuje, jak velké množství světla projde optickým aparátem až na sítnici (servomechanismus). [2, 4, 5]

Duhovka je tvořena předním a zadním listem. Každý z nich je jiného původu: přední list mezodermálního a zadní ektodermálního, a společně utvářejí stroma duhovky. Stroma je řídká pojivová tkáň obsahující 2 typy vláken – kolagenní a elastická. Kolagenní vlákna jsou výjimečná tím, že utvářejí poměrně specifické uspořádání rozdílné při mióze a mydriáze (viz obrázek 2). [1, 5]

Stroma není tvořena pouze vlákny, ale také 2 typy pigmentových buněk – chromatofory a hrudkovitými buňkami. Chromatofory představují kulaté buňky s četnými výběžky, díky kterým se vzájemně propojují. Nacházejí se ve všech vrstvách duhovky a mají hnědou až žlutavou pigmentaci. Oproti tomu hrudkovité buňky jsou bezvýběžkovité, mají tmavohnědé až černé zbarvení a vyskytují se pouze u svěrače duhovky. [1]



Obr. 2 Uspořádání kolagenních vláken při mióze (a) a mydriáze (b). (upraveno)

[1]



Jak již bylo dříve zmíněno – zásadními svaly pro duhovku jsou svěrač a rozvěrač zornice. Tyto svaly vůči sobě pracují jako antagonisté a ovlivňují je autonomní nervy: sympatikus inervuje rozvěrač a parasympatikus svěrač. [1, 5]

Rozvěrač utváří cirkulární prstenec v místě kořene duhovky a jeho průběh končí v komorovém úhlu a řasnatém tělísku. Svěrač se rovněž skládá z cirkulárně orientovaných buněk a nachází se v zadní části stromatu. Svěrač zornice je oproti rozvěrači o něco silnější, proto má větší vliv na rohovkové reflexy. Ukončením inervace svěrače dochází k částečné dilataci, která je umocněná činností rozvěrače. Tento jev nazýváme dvojnásobnou dilatací pupily. [1]

Aby tyto svaly mohly správně pracovat, je nutné, aby byly dobře cévně zásobené. To zajišťují 2 cévní okruhy větve *arteria ophtalmica*: velký a malý duhovkový okruh (*circulus arterious iridis major et minor*). Malý duhovkový okruh utváří v duhovkovém stromatu kapilární kličky. Krev s odpadními látkami je odváděna vortikózními žilami.

Cévy duhovky se však v několika ohledech liší od ostatních cév v těle následujícími znaky, díky kterým se můžeme domnívat, že nedochází k útlakům cév při aktivitě zornice:

- Silný vnější plášť
- Malé množství muskulatury a elastických vláken
- Velmi rychlá zástava krvácení při operacích a poraněních [1]

Barvu duhovky ovlivňují pigmentové buňky zvané melanocyty. Není to však jejich počet, který by barvu přímo ovlivňoval (bez ohledu na rasu a barvu duhovky je jejich počet konstantní) nýbrž počet granulí pigmentu melaninu a jejich rozmístění v nich. Typ melaninu, jeho hustota a rozmístění mají vliv na rozptyl a odraz světla dopadajícího na struktury oka. [5]

Duhovka může nabývat různých barev a odstínů, které vznikají na základě určitých skutečností – zejména na absorpci světla a hustotě pigmentu. V případě, že je v duhovce obsažené velké množství pigmentu, tak se pravděpodobně zabarví do sametově tmavě hnědé barvy. Pokud pigmentu bude méně nebo se bude nacházet pouze v sítnici, pak barva bude spíše zelená až modrá. Pokud tkáň duhovky bude

obsahovat málo pigmentu a bude řidší, tak se barva bude pohybovat v odstínech šedé. [1, 2, 5]

Zabarvení a struktura duhovkové tkáně může být nějakým způsobem narušena nebo se mohou objevit různé odchylky. Jednou z nejčastějších odchylek může být například piha, což je v podstatě velmi koncentrované množství melanocytů, nebo albinismus, kdy se v melanocytech nenachází téměř žádné nebo žádné množství pigmentu a duhovka má tak červenou barvu, která je utvořena průsvitem cév z očního pozadí. [1, 2, 5]

Novorozené děti evropského původu budou povětšinou mít světle modré oči kvůli menšímu množství pigmentu, jejich barva se však do 10 let věku může měnit. Barva i struktura duhovky je dědičná a velmi specifická, proto se jí v současné době využívá k identifikaci osob. [1, 2]

## 1.2 Zornice

Zornice (*pupilla*, popř. panenka) je kruhový otvor přibližně uprostřed duhovky (mírně nazálně dole), který je utvořen hladkým svalstvem – svěračem zornice (*musculus sphincter pupillae*) a rozvěračem zornice (*musculus dilatator pupillae*). Svěrač po kontrakci inervací způsobuje miózu (*miosis*) a rozvěrač mydriázu (*mydriasis*). Tyto kontrakce nazýváme pupilárními reflexy, které jsou ovlivňovány různými vnějšími i vnitřními podmínkami (viz kapitola 2). [1, 2, 5]

### 1.2.1 Funkce zornice

Zornice má v oku několik nezastupitelných funkcí. Jak už bylo dříve řečeno, vytváří v oku takzvanou fotografickou clonu, která má za úkol korigovat množství světla vstupujícího do oka. Proto je její velikost velmi proměnlivá. Je schopná dosahovat extrémních rozměrů a to od 1 mm po 9 mm (za normálních podmínek od 2 do 5 mm), čímž je schopná změnit množství procházejícího světla až 16krát. Při vysokém osvětlení se dostává do stavu miózy (selektce přílišného množství paprsků), při nízkém do stavu mydriázy (zachycení co největšího počtu paprsků) z důvodu zajištění co nejostřejšího vidění a co nejrychlejší reakce na náhlou změnu jasu. [6, 7, 8]

Dále díky schopnosti zúžení zornice zásadně zvyšuje hloubku ostrosti obrazu, částečně koriguje optické vady (díky mióze se zmenší plocha lomivých ploch oka, které zasahují do výsledného obrazu a tím pádem se zapojují jen centrální části) a zabezpečuje svým otvorem správné proudění komorové tekutiny ze zadní komory do komory přední. [6]

### 1.2.2 Vyšetření zornice

Při vyšetřování zornice se soustředujeme především na centraci zornic (tedy pupilární distanci pomocí PD-měřitek, monokulárních i binokulárních pupilometrů či zrcadlových pupilometrů), jejich tvar, anomálie, které se mohou občasné vyskytnout (polykorie apod.) a jejich šířku nebo reakce na osvit (infračerveným pupilometrem). Šíři zornice můžeme měřit například následujícími způsoby: odhadem na Haasově liště, kde jsou různé šířky již vyobrazeny nebo Wesselyho kteratometrem, který nám výsledky udává v milimetrech. Dále je nutno zmínit, že některá farmaka mohou mít vliv na šíři zornice (intoxikace opiáty) či mohou být nápomocná k vyšetření různých patologických stavů (farmaka ovlivňují vegetativní nervy, čímž nám mohou pomoci vyšetřit např. anizokorii). [8, 9, 10]

### 1.2.3 Fyziologické reakce zornic

Existuje celá řada zornicových reflexů jak fyziologických, tak patologických, nejzákladnějšími z nich však je následující výčet fyziologických reakcí (podrobněji v kapitole 2). Díky následujícím třem jsme schopni určit, zda je vedení vzruchu a následná inervace svalů zornice v pořádku, což nám může vypovídat o případných defektech způsobených například úrazy či nádory v pupilomotorické dráze v mozku, jednostranné slepotě a jiných neurologických poruchách. Na zornicových reflexech tedy testujeme, zda jsou dostředivá a odstředivá ramena reflexního oblouku i integrita mozkového kmene funkční. Základní zornicové reakce dělíme na:

- 1) Přímá = mióza zornice za osvitu (difúzní denní světlo za oknem, difúzní světlo z lampy, ne ruční svítilnou) sledovaného oka při zakrytí oka druhého, reakční doba je 0,2 až 0,5 sekundy po osvitu.
- 2) Nepřímá (konsenzuální) = zmenšení zornice sledovaného oka při osvitu oka druhého, osvit nesledovaného oka vyvolá reflex i na oku druhém.

- 3) Akomodační a konvergenční = miotizace na obou očích současně při zaostření (tedy při současné akomodaci i konvergenci) na blízký předmět za účelem snížení sférické a chromatické vady optického systému oka, objevuje se i u presbyopů (viz kapitola 3) bez akomodace na blízkou vzdálenost. [6, 8, 10]

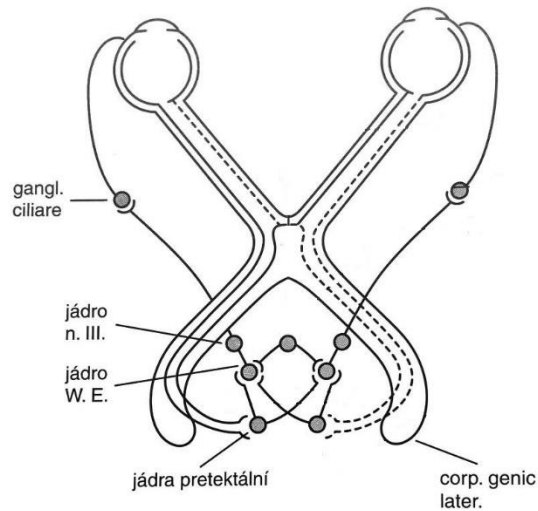
#### 1.2.4 Nervová dráha pupilárního reflexu

Nervová dráha pupilárního reflexu je založená na registraci světla na sítnici, následném přenosu vzruchu optickým traktem do centra ve středním mozku (*mesencephalon*) a zpětné regulaci šíře zornice. Skládá se ze dvou složek: dráhy miotického reflexu (parasympatická vlákna) a dráhy mydriatického reflexu (sympatická vlákna). [2, 3, 8, 10, 11, 12]

##### Dráha miotického reflexu

Dostředivá dráha zajišťuje přenos vzruchu ze sítnice do centra ve středním mozku. Začíná při registraci světelného podnětu gangliovými buňkami sítnice, které přecházejí v optický nerv (20 % těchto nervových vláken tvoří vlákna zajišťující pupilární reflexy). Ten vede optickým traktem do *chiasma opticum*, kde dojde k jejich semidekusaci, což znamená, že vjemy z pravé poloviny sítnice pokračují pravým traktem a levé poloviny levým. Tato nervová vlákna se z optického traktu odpojují před *corpus geniculatum laterale*, kde se rovněž odpojují i vlákna zajišťující metabolickou aktivitu, která se řídí množstvím světla v okolí za dne a za noci, a vlákna zajišťující opticko-motorické reflexy. Vlákna jdoucí do centra pupilárních reflexů potom mediálně odbočují do středního mozku, konkrétně do *area praetectalis*, které je spojeno zadní komisurou. Dále se napojují na Edingerovo-Westphalovo centrum (centrum akomodace a fotoreakce zornic). Při průběhu nervových vláken miotického reflexu tedy dochází k jejich dvojímu křížení v rámci aference, což vysvětluje konsenzuální reakci zornic. [2, 3, 8, 10, 11, 12]

Odstředivá dráha má za úkol přenést impuls pro konstriktci zornice z centra ve středním mozku ke svěrači zornice. Parasympatické neurony navazující na Edingerovo-Westphalovo centrum vedou odstředivá vlákna cestou III. hlavového nervu k ciliárnímu svalu, kde se interpolují a dále inervují svěrač zornice, čímž dojde k jejímu zúžení, tedy mióze. [2, 3, 8, 10, 11, 12]

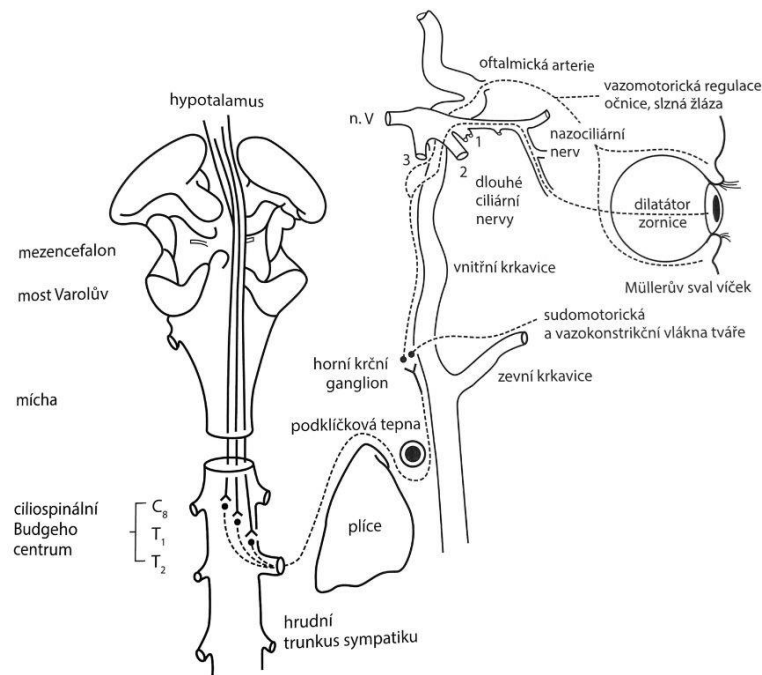


Obr. 3 Schéma pupilomotorické dráhy. (upraveno) [12]

### Dráha mydriatického reflexu

Dostředivá dráha mydriatického reflexu je velmi podobná té miotické, rozdíl je však v tom, že se v průběhu nekříží, ale prochází laterálními částmi mozkového kmene, který se skládá z prodloužené míchy, Varolova mostu a středního mozku. Tím pádem nikde nedochází ke křížení, a proto se případná porucha těchto vláken jeví jako jednostranná. [2, 3, 8, 10, 11, 12]

Odstředivá dráha má počátek v hypotalamu, odkud prochází postranními míšními řetězci (*tractus retinospinalis*) do Budgeova centra (*centrum ciliospinale*), které se rozkládá mezi 8. krčním obratlem (C8) a 2. až 3. obratlem hrudním (Th2, Th3). Odtud se nervová vlákna vrací do oblasti 2. až 3. krčního obratle, kde se nachází krční sympatikus. Zde se jejich průběh dělí na 2 cesty: jedna vede podle vnitřní krkavice průběhem *nervus nasociliaris* do rozvěrače zornice a druhá horní orbitální štěrbinou ciliárními nervy opět do rozvěrače zornice. Díky tomu dojde k rozšíření zornice, neboli mydriáze. [2, 3, 8, 10, 11, 12]



Obr. 4 Schéma sympatické dráhy inervace zornice. [13]

#### Dráha pupilárního reflexu při pohledu na blízký předmět

Konstrikční zornicová reakce v rámci pohledu na blízký předmět je v podstatě složena ze tří vzájemně propojených dějů: konvergence, která zachovává jednoduché binokulární vidění, akomodace zachovávající ostrý obraz a miózy, zajišťující doostření obrazu. Mióza je svojí reakcí fixována spíše na konvergenci než na akomodaci. Nejde však úplně o reflex ani o mimovolní pohyb, ale spíše o účelovou reakci. Výchozím podnětem pro tento jev je neostrý obraz v rámci konvergence. Proto jsou vyslány korekční impulsy do parasympatického *nervus oculomotorius*, který je vede přes mozkový kmen do dráhy *musculus oculomotorius*, odkud se dostanou do ciliárního svalu a poté do svěrače zornice. [12]

#### Dráha pupilárního reflexu u psychosenzorických podnětů

V rámci zachycení různých psychosenzorických podnětů může dojít k dilataci zornice. Dilataci mohou vyvolávat podněty psychické, senzorycké nebo senzitivní. Tyto podněty podněcují k činnosti hypotalamická sympatická centra, kam přicházejí z mozkové kůry, míšních nervů apod. Odtud poté odcházejí vzruchy do středního mozku a dále potom sympatickými cestami do ciliospinálního centra a sympatickou dráhou do rozvěrače zornice, díky čemuž dojde k její dilataci. [12]

### 1.3 Stručný popis optické části sítnice

Sítnice (*retina*) tvoří vnitřní vrstvu oční koule. Dělí se na optickou a neoptickou část (pigmentový epitel), které jsou od sebe odděleny zubovitou linií (*ora serrata*). Optická část obsahuje fotoreceptory (světločivné buňky), které zajišťují vidění. Jsou zde uloženy fotoreceptory dvou druhů: tyčinky sloužící k nočnímu jednobarevnému vidění vyskytující se spíše v periferii a čípky sloužící k dennímu barevnému vidění vyskytující se spíše v centru sítnice. Sítnice je tvořena 10 nedokonale průhlednými vrstvami, které jsou inverzní – fotoreceptory se nacházejí v nejhlubších vrstvách sítnice a signály z nich míří k povrchu a poté ke zrakovému nervu. [1, 4, 14]

Na sítnici můžeme nalézt 2 zásadní oblasti: žlutou skvrnu (*macula lutea*) a slepou skvrnu (*papilla nervi optici*). Žlutá skvrna je místem nejostřejšího vidění. Má koncentrické rozložení v centru sítnice, kde se směrem do středu rozkládají oblasti *fovea* a *foveola centralis*, které se přezdívá centrální jamka, kde se nacházejí pouze čípky. Slepá skvrna se rozkládá na nasální části sítnice, neobsahuje žádné fotoreceptory a slouží k průchodu zrakových nervů a cévního zásobení oka. [1, 4, 14]

#### Struktura přenosu vzruchu ze sítnice do zrakového centra

Přenos zrakových podnětů zajišťují fotoreceptory, bipolární buňky a gangliové buňky, které vedou vzruchy do zrakového nervu, *chiasma opticum*, *corpus geniculatum laterale* a nakonec do kortexu. [1, 4, 14]

Bipolární buňky tvoří první neuron zrakové dráhy a zajišťují přenos mezi fotoreceptory a gangliovými buňkami. Existují dva způsoby připojení mezi fotoreceptory a gangliovými buňkami. O individuálním připojení mluvíme ve chvíli, kdy je jeden fotoreceptor napojen na jednu bipolární buňku (pouze v oblasti *fovea*). Difúzní připojení znamená spojení více fotoreceptorů s jednou bipolární buňkou a následné připojení více bipolárních buněk na jednu (ale i více) buňku gangliovou. [1, 4, 14]

Gangliové buňky tvoří druhý neuron zrakové dráhy, který zasahuje až do *corpus geniculatum laterale*. V rámci umístění se liší jak jejich velikost, tak rozvrstvení. V periferii nacházíme větší buňky s větším dosahem v jedné vrstvě, v centru

naopak menší buňky s menším dosahem, kde je 5 až 7 vrstev gangliových buněk kvůli většímu rozlišení světelných podnětů. [1, 4, 14]

### Receptivní pole

Receptivní pole tvoří oblast sítnice, která v případě stimulace zajišťuje odezvu neuronu. Každý neuron zrakové dráhy má své receptivní pole. S hloubkou uložení ve zrakové dráze roste velikost jeho receptivního pole. Naopak s jeho velikostí klesá schopnost rozlišení detailů. Konkrétněji více fotoreceptorů tvoří receptivní pole jedné bipolární buňce, více bipolárních buněk buňce gangliové. Zároveň však dochází k propojení receptivních polí v rámci horizontálních spojů v sítnici. [1, 14, 15]

### Prostorová sumace

V případě slabého osvětlení není samostatný fotoreceptor schopen vyvolat vzruch jdoucí dále do zrakové dráhy, avšak v případě, že dojde ke stejné slabému osvětlení u více fotoreceptorů, pak dojde k vyvolání vzruchu u bipolární buňky na základě sečtení menších vzruchů u více fotoreceptorů. Tento jev nazýváme prostorová sumace, který můžeme pozorovat především u nočního vidění. [14, 15]



## 2. Faktory ovlivňující velikost zornice

Následující kapitola navazuje na kapitolu 1.2.3 Fyziologické reakce zornic a má za úkol podrobněji popsat vnější vlivy prostředí i vnitřní vlivy organismu na velikost a reakci zornice. 3 nejzákladnější reakce zornic (reakce na světelné podmínky, akomodační a konvergenční změny) jsou rozebrány v již zmiňované kapitole, proto zde už nebudou uvedeny.

### 2.1 Vnější vlivy

K vnějším vlivům se řadí především mechanické dráždění různých částí těla. V případě dráždění lehkým dotekem rohovky či spojivky dochází k jemné mydriáze a následně k mióze, což nazýváme okulopupilárním reflexem. Zornice dále reaguje na dráždění senzitivních nervů, které se nacházejí například v kůži, což způsobuje mydriázu. Podnětem jdoucím z okolí však nemusí být jen mechanické dráždění, ale i dráždění akustických (miotizace či mydriatizace zornice v reakci na hlasitý zvuk, příjemnou hudbu apod.) a vestibulárních center (náhlý pád, ztráta/narušení rovnováhy nebo orientace v prostoru mohou mít za následek stažení či roztažení zornice). [6, 8, 10, 16, 17]

### 2.2 Vnitřní vlivy

Do reakcí způsobených vnitřními vlivy spadá Pitzův-Westphalův fenomén, při kterém dochází až už úmyslně nebo neúmyslně k silnému stahu svěrače víček, tedy k jejich sevření, což má za následek miózu. Mezi vnitřní vlivy dále patří reakce na psychosenzorické podněty, které způsobují miózu či mydriázu na základě prožívání různých emocí (strach, bolest, radost, přítomnost blízké osoby, hysterický záchvat apod.). Reakce zornice vyvolávají i různé stavy vědomí. Při spánku je zornice miotická. Čím je spánek hlubší, tím je menší průměr zornice. Zároveň je přítomna nereakce na zevní podněty díky čemuž jsme schopni odhalit simulovaný spánek. Naopak při stavu bezvědomí, hypnóze nebo epileptickém záchvatu je zornice mydriatická, případně nereagující na osvit.

Svoji roli rovněž hraje barva duhovky (u světlých duhovek jsou zornice obvykle širší), zdraví sítnice a zrakového nervu, opacita zrakových médií nebo pohlaví (u žen bývá průměr zornice větší). Novorozenci mají oči převážně miotické z důvodu

stále se vyvíjejícího dilatátoru duhovky. Naopak v případech blížící se smrti jsou zornice miotické, po smrti se náhle rozšiřují a následně mírně stahují.

Zajímavá je také skutečnost, že na velikost zornice může mít vliv i refrakční vada oka (korigovatelná spojka, rozptylkou nebo torickou čočkou). V článku o pupilárním reflexu v neurodiagnostice [19] autoři dokládají na základě jejich studie, že zornice u myopů jsou větší pravděpodobně z důvodu, že myopické oči nemají tak vysokou potřebu akomodace, a proto také pro ně není nutné tolik dokorigovávat kvalitu obrazu zúžením průchodu paprsků do oka.

[6, 8, 10, 11, 16, 17, 18, 19, 20]

## 2.3 Vliv farmak

Farmaka ovlivňující velikost zornice dělíme do dvou kategorií: miotika a mydriatika. U obou skupin platí, že mají větší vliv na zornice u osob se světlou duhovkou. Miotika často navozují miózu blokadou procesu cholinesterázy, která má za úkol odbourávání acetylcholinu (neurotransmitter zapříčiňující miózu). K farmakologické mióze dochází při intoxikaci opiáty (morfin), alkoholem, sedativy, hypnotiky nebo při léčbě glaukomu s malým komorovým úhlem pilokarpinem. Silná miotika mohou v některých případech způsobit akomodační křeč.

Mydriatika naopak způsobují rozšíření zornice. Mezi látky, které ho navozují patří například atropin, který se používá při léčbě zánětů předního segmentu nebo při zjišťování objektivní refrakce. Po jeho užití mydriáza trvá i několik dní. Dále se potom jedná o adrenalin (léčba glaukomu), kokain, amfetamin či antihistaminika.

[10, 11, 21, 22]

## 2.4 Změny velikosti zornice v závislosti na věku

Velikost zornice se v průběhu zrakového vývoje, ale i po něm, v průběhu života mění. Pupilární reflexy se u dětí poprvé objevují v 5 měsíci po porodu a aktivními se stávají po 6. měsících. Kojenci mají průměr zornice menší, s rostoucím věkem se ale zornice zvětšuje až do doby dospívání, kdy je její průměr největší. Od tohoto období se začíná opět zmenšovat, její tvar se stává méně pravidelný a dynamika zornicových reakcí se zpomaluje, což je zřetelné především u nižších amplitud osvětlení oka. Díky fyziologickým změnám přesnosti zornicových reakcí a jejich linearitě jsou

nejspolehlivějším ukazatelem procesu stárnutí. Tyto změny jsou způsobeny především strukturálními změnami duhovky, které poté ovlivňují kontraktilitu svalových vláken. [18, 23]

Pro tematiku kvality vidění v multifokálních kontaktních čočkách je zásadní velikost zornice v presbyopickém věku. Zornicové reakce přispívají co nejostřejšímu vidění ovlivňováním velikosti rozptylového kroužku (viz kapitola 4.2). Ve starším věku je zornice menší, často v senilní mióze, z důvodu zmírnění presbyopie (viz kapitola 3), čemuž napomáhá i jasné světlo (tím, že je zornice menší než v mladém věku, tak dlouhodobě do oka vstupuje méně světla než dříve, proto jasné osvětlení může zvýšit kvalitu výsledného vjemu). Tuto skutečnost můžeme přirovnat k jevu zvanému Pinhole Effect (viz podkapitola 4.5.3). [18, 23, 24]

Fakt, že je zornice v presbyopickém věku menší dokazuje turecká studie [18], která zkoumala reakce zornic u různých amplitud u různých věkových skupin. Daní jedinci byli rozdělení do 4 věkových kategorií: 15-30 let, 31-45 let, 46-60 let, 60 let a více. Při porovnávání výsledků nebyly shledány velké rozdíly mezi pravým a levým okem ani mezi ženami a muži. Zornice se průměrně zvětšily při 200 cd/m<sup>2</sup> oproti 0 cd/m<sup>2</sup> o 50 %. Především u nižších amplitud osvětlení byly zřetelné rozdíly mezi věkovými skupinami, první věková skupina měla průměr zornice největší, ten se s rostoucím věkem plynule zmenšoval. [18]

Výsledky předchozí studie potvrzuje i egyptský výzkum [24], který porovnával velikosti zornice s věkem navíc v porovnání Egypťanů a Evropanů ve tmě. Měření bylo provedeno po 15 minutách adaptace na tmu. Výsledky ukazují, že Egypťané mají obecně menší zornice ze dvou důvodů. Prvním je dlouhodobé vystavení vyšším úrovním jasu, druhým vyšší pigmentace v duhovce, která ovlivňuje její elasticitu. Evropané díky menší pigmentaci mají pružnější dilataci. Což prokazuje, že velikost zornice je závislá rovněž na dlouhodobé zeměpisné lokaci a etnickém původu. [24]

### 3. Presbyopie

Presbyopie (dříve vetchozrakost) je jev, který je přirozenou součástí vývoje lidského zraku. Objevuje se mezi 40. a 60. rokem života a poté zůstává přítomna až do smrti. Presbyopie se projevuje problémy s přestřováním z dálky do blízka a naopak, zhoršeným viděním (rozmazání, mlhavé vidění) do blízka především za zhoršených světelných podmínek a/nebo při únavě. Dochází také ke snížení kontrastní citlivosti a astenopickým potížím při práci do blízka. Často je presbyopie známá díky příznaku „krátkých rukou“, kdy si dotýčný práci do blízka posouvá dále od obličeje, aby pro něj bylo zaostření na předmět jednodušší. [21, 25, 26, 27]

#### 3.1 Akomodace a akomodační šíře

##### Akomodace

Akomodace je jev, který zajišťuje adaptaci oka pro vidění do blízka. Děje se tak pomocí kontrakce ciliárního svalu zároveň s uvolněním závěsného aparátu čočky oka, čímž dojde k vyklenutí čočky vlastní elasticitou a ke zvětšení její lomivosti. Akomodaci při pohledu do blízka doprovází konvergence a zúžení zornic.

##### Akomodační šíře (také amplituda akomodace, AA)

Význam pojmu akomodační šíře je rozsah akomodace od dalekého bodu (*punctum remotum*,  $a_R$ ) k blízkému bodu (*punctum proximum*,  $a_P$ ). Tento rozsah se uvádí v jednotkách dioptrií (D). V podstatě tedy značí, jak moc vysoký nárůst optické mohutnosti může akomodace vyvolat.

Výpočet:

$$AA = \frac{1}{a_R} - \frac{1}{a_P}$$

[21, 25, 26, 27]

#### 3.2 Popis vady

Akomodační šíře se při narození pohybuje kolem 30 D a během života postupně a plynule klesá až do přibližně 65. roku života, kdy je prakticky nulová. Tento pokles akomodační šíře během života člověk nezaznamenává přibližně do 40. roku, kdy se začnou objevovat první symptomy presbyopie. Jedná se tedy o fyziologický pokles amplitudy akomodace s věkem.

Pokles akomodační šíře je způsoben ztrátou elasticity čočky, na niž navazuje vzdálení blízkého bodu akomodace. V této době dochází k postupnému zhutnění jádra čočky, sklerotizaci čočkových vláken, nárustu objemu a zežloutnutí čočky. Přidruženými jevy presbyopie jsou změny nervové tkáně sítnice, pokles tonu horního víčka, pokles produkce slz a změna jejich složení, což vede k častějšímu výskytu syndromu suchého oka u starších osob.

Presbyopie není závislá na refrakční vadě daného jedince, ale její projevy se s refrakční vadou mohou lišit. Její projevy zaznamenají dříve většinou hypermetropové než myopové a emetropové. Myopové presbyopii nemusí nijak zásadně pociťovat, obzvláště pokud jejich dioptrická vada dosahuje hodnoty -4 D. [21, 25, 26, 27]

### 3.3 Korekce presbyopie

Presbyopii korigujeme přídavkem do blízka (adicí). Jedná se o plusovou hodnotu, kterou přikládáme ke korekci do dálky. Tato hodnota bývá obvykle stejná na obou očích. Cílem přidání adice ke korekci do dálky je zachování poloviny akomodační šíře jako rezervy (za normálních okolností využíváme 2/3 amplitudy akomodace). Pro snadnější a rychlejší určení adice u daného jedince je vhodné provést výpočet, ve kterém figuruje vzdálenost  $l$ , na kterou chceme přídavek aplikovat, konstanta  $k$  značící podíl využívané amplitudy akomodace a amplitudu akomodace pro danou korekci do dálky  $AA_B$ .

Numerický odhad adice (*Add*):

$$Add = \frac{1}{l} - k \cdot AA_B$$

[21, 25, 26, 27]

Hodnotu přídavku do je možné odhadnout i v závislosti na věku viz tabulka 1:

Tab. 1 Přibližné hodnoty adice v závislosti na věku. (upraveno) [25]

Věk	Adice
40 let	0,25-0,5 D
45 let	1 D
48 let	1,5 D
50 let	2 D
55 let	2,5 D
60 let a více	3 D

Korigovat presbyopii adicí lze několika způsoby: brýlemi na blízko, progresivními, degresivními nebo bifokálními brýlovými čočkami, multifokálními nebo bifokálními kontaktními čočkami (RGP, měkké, hybridní, korneální, sklerální) či metodou monovision. [27, 28]

## 4. Optické jevy v souvislosti se zornicí oka

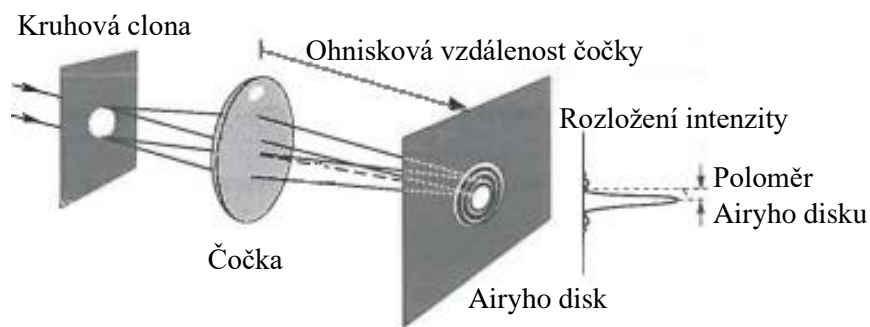
Zornice utváří clonu v oku, která koriguje množství světla, které projde na sítnici. Při tomto průchodu a změnách jejích průměrů však dochází k různým ohybům a lomům světla ať už přímo na centrálních okrajích duhovky nebo na rohovce s čočkou. V této kapitole jsou zmíněny nejzásadnější optické jevy, které zhoršují kvalitu vidění a které jsou závislé právě na velikosti zornice – zhoršení či zlepšení obrazu se odvíjí od povahy jednotlivých jevů a aberací. Rovněž zde budou uvedeny důležité pojmy a faktory vidění, bez kterých by nebylo možné problematiku pochopit.

### 4.1 Difrakce

Difrakce je jedním z jevů, které ovlivňují kvalitu vidění. Jedná se o ohyb paprsků na kruhovém otvoru – v případě oka na zornici. Světlo se šíří přímočaře a při ohybu kolem překážky neutváří ostrý přechod mezi stínem a osvětlenou plochou.

Po ohybu na překážce světlo na stínítku tvoří specifický obrazec (ohybový kroužek), který se nazývá Airyho disk. Airyho disk je tvořen centrálním světelným maximem, které je koncentricky obklopené vedlejšími světelnými maximy (kroužky).

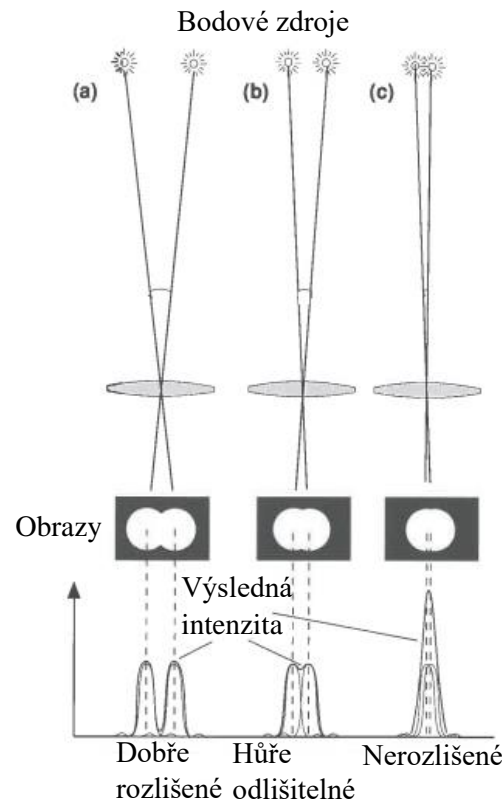
[15, 23, 29]



Obr. 5 Zobrazení difrakce na stínítku po průchodu kruhovou clonou. (upraveno)

[15]

Velikost Airyho disku určuje, kdy ještě bude optický systém schopný rozeznat 2 zdroje světla. Tato skutečnost je označována jako Rayleighovo kritérium, které říká, že dva jednobarevné bodové zdroje bude oko schopné od sebe odlišit v případě, že centrální maximum prvního zdroje dopadne do prvního minima intenzity zdroje druhého. Tedy okraj jednoho Airyho disku dopadne do středu druhého Airyho disku.



Obr. 6 Schematické zobrazení Airyho disků ve třech případech vzdáleností 2 bodových zdrojů od sebe. (upraveno) [15]

Pro minimální úhlovou vzdálenost dvou světelných bodových zdrojů platí (velikost Airyho disku ve stupních):

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

kdy  $d$  značí průměr kruhové clony a  $\lambda$  vlnovou délku.

Difrakce u optických soustav představuje fyzikální limit rozlišovací meze. Čím je průměr zornice větší, tím je difrakce menší. Vliv difrakce tedy roste se zmenšující se velikostí zornice. Její vliv se ještě umocňuje v případě polychromatického světla, kdy se Airyho disk vytvoří pro každou vlnovou délku.



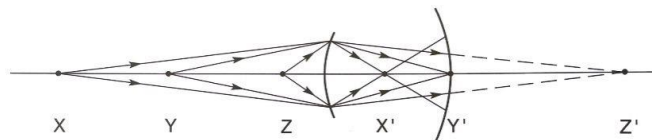
Rozlišovací schopnost však ovlivňuje i jiný faktor. Tentokrát se ale jedná o velikost fotoreceptorů, kdy platí, že dva body budou od sebe právě rozlišeny, pokud vzdálenost mezi obrazy dvou bodů bude větší než velikost jednoho nepodrážděného receptoru, což odpovídá zhruba  $5\ \mu\text{m}$  neboli  $1'$ , to nazýváme úhlovou rozlišovací mezí. Noniovou rozlišovací mezí je myšleno rozlišení dvou na sebe navazujících úseček, které aby byly od sebe rozlišeny, tak jejich úhlový odskok musí být alespoň  $5-10''$ .

Pokud tedy zornice bude mít průměr 5 mm, pro něž vzdálenost dvou Airyho disků vychází na  $0,47'$ , pak bude rozlišení omezovat spíše velikost fotoreceptorů než vliv difrakce. Pokud se zornice zmenší na 2 mm, pak rozestup Airyho disků má velikost  $1,6'$  a do kvality vidění bude vstupovat spíše difrakce.

[15, 23, 29]

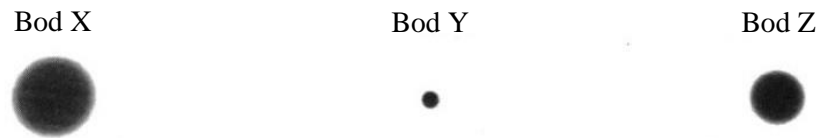
## 4.2 Rozptylový kroužek

Vzniká vlivem špatně zaostřené optické soustavy, kdy obraz nedopadá přesně na sítnici, ale před ni (vzdálený předmět) nebo za ni (blízký předmět) při zaostření na střední vzdálenost.



Obr. 7 Zobrazení paprsků z dálky, střední vzdálenosti a blízka při zaostření na střední vzdálenost. (upraveno) X, Y a Z značí předměty a X', Y' a Z' jejich obrazy. [23]

Tím vzniká rozmazaný předmět o různé velikosti, který nazýváme kroužek rozptylu. Velikost kroužku závisí na schopnosti zaostření, tedy dioptrické vadě a průměru zornice. V případě menšího poloměru zornice (i při přivření očí) do oka vstupuje méně paprsků, čímž dojde k zaostření a zmenšení kroužku rozptylu. K menšímu rozostření a menšímu kroužku rozptylu přispívá i menší dioptrická vada, čím je vada menší, tím je menší i kroužek rozptylu. Opak ale nastává v případě, že se zornice zmenší příliš a rozostření se naopak zvětší (zhorší se kvalita obrazu) díky projevu difrakce.



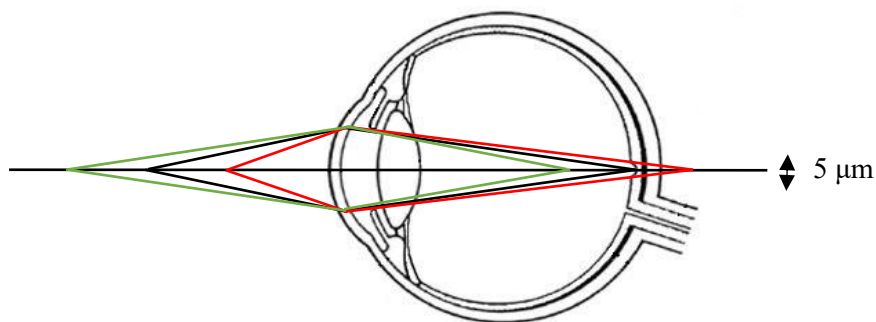
Obr. 8 Schematické zobrazení, jak oko vnímá rozptylový kroužek v návaznosti na obr. 7. (upraveno) [23]

Zajímavá situace však částečně paradoxně nastává, pokud dojde ke kombinaci refrakční vady a zornice. Velká zornice do oka totiž může pustit větší množství paprsků, které zhorší kvalitu vidění více než refrakční vada jako taková. A proto může nastat skutečnost, že osoba s vyšší dioptrickou vadou a malou zornicí uvidí lépe než osoba s malou refrakční vadou a velkou zornicí.

[23, 29]

### 4.3 Hloubka ostrosti

Pokud je oko zaostřeno na určitou vzdálenost, tak to neznamená, že by vnímalo ostře předměty, které se nacházejí pouze v dané oblasti, ale vnímá ostře předměty i v jiných rovinách než, na které je jeho optická soustava zaostřena. Hloubkou ostrosti je tedy myšlena oblast v rámci, které oko nemusí přestřevovat a je ohraničena nejbližším a nejvzdálenějším bodem, které jsou ještě viděny ostře. Hloubka ostrosti je nepřímo úměrná velikosti zornice – čím je zornice menší, tím je hloubka ostrosti větší.



Obr. 9 Schematické vyjádření hloubky ostrosti. [vlastní]

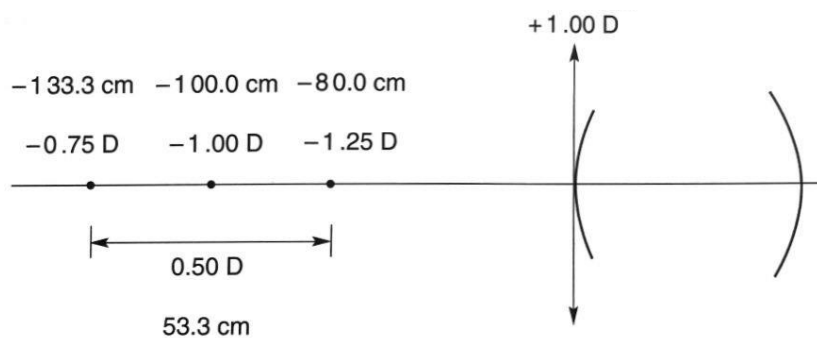
Tabulka 2 ukazuje závislost hloubky ostrosti emetropa na velikosti zornice v souvislosti s akomodací na nekonečno a na jeden metr. V tabulce 2 je vidět, že čím blíže je vzdálenost, na kterou se člověk dívá, tím je hloubka ostrosti menší. Zároveň se zmenšuje s velikostí zornice.

Tab. 2 Hloubka ostrosti v závislosti na velikosti zornice a vzdálenosti, na kterou oko ostří. (upraveno) [15]

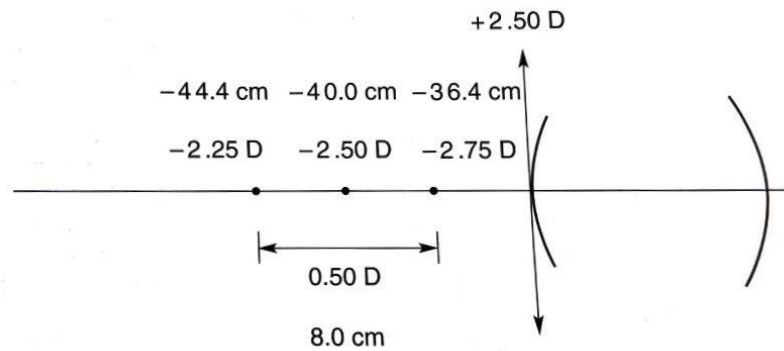
Průměr zornice	Zaostření na nekonečno	Zaostření na 1 m
1 mm	$\infty$ až 1,25 m	5 m až 56 cm
2 mm	$\infty$ až 2,33 m	1,8 m až 70 cm
3 mm	$\infty$ až 2,94 m	1,5 m až 75 cm
4 mm	$\infty$ až 3,57 m	1,4 m až 78 cm

Velikost hloubky ostrosti ovlivňuje i velikost presbyopického přídatku podobně jako v rámci akomodace na určitou vzdálenost. Čím je presbyopický přírůstek vyšší, tím je ostré místo vidění blíže k oku a tím se také zmenšuje hloubka ostrosti i přes to, že dioptrická vzdálenost nejbližšího a nejvzdálenějšího ostrého bodu je stejná. Tento jev popisují následující obrázky 10 a 11.

[15, 23, 29]



Obr. 10 Zobrazení hloubky ostrosti při předsazení presbyopického přídatku +1,00 D. (upraveno) [23]



Obr. 11 Zobrazení hloubky ostrosti při předsazení presbyopického přídavku +2,50 D. (upraveno) [23]

#### 4.4 Stiles-Crawfordův efekt

Pojem Stiles-Crawfordův efekt znamená ovlivnění funkce fotoreceptorů v důsledku jejich směrové citlivosti. Míru jeho projevu ovlivňuje velikost zornice, která určuje z jak moc velkého úhlu mohou paprsky dopadnout na sítnici a zda se budou koncentrovat spíše do centra vidění nebo i do periferie. Pokud je zornice menší než 4 mm, pak bude tento jev minimální. Pokud však bude zornice větší, tak dojde k částečné ignoraci paprsků (za účelem zlepšení zrakového vjemu), které dopadají pod větším úhlem na fotoreceptory, což se projeví vnímáním světla s menší intenzitou oproti centru. Fotoreceptory tak činí z důvodu předpokladu, že se jedná o paprsky rozptylu světla nebo paprsky deformované aberacemi. Pro představu velikosti vlivu tohoto efektu bude brána zornice o průměru 8 mm. Aby byl v periférii vyvolán vjem se stejnou intenzitou jako v centru, pak musí paprsky v periférii být 6x silnější.

Existuje i druhý typ projevu Stiles-Crawfordova efektu. V důsledku velkého dopadového úhlu na sítnici a průchodu paprsků blízko okraje pupily dochází ke změně barevného vnímání monochromatických paprsků oproti centru.

[15, 23, 28]

## 4.5 Vybrané optické aberace

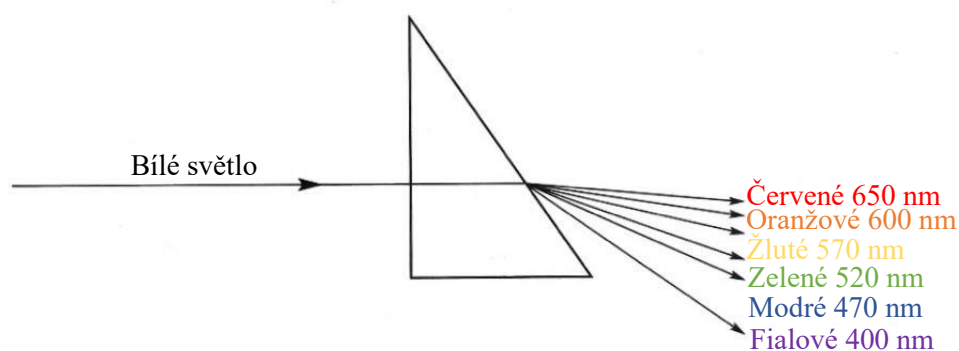
Optických aberací, které ovlivňují kvalitu vidění je velká spousta. Pro účely této práce v této kapitole však budou popsány jen ty nejzásadnější pro vidění v multifokálních kontaktních čočkách. Důvodem, proč je nutné se aberacemi v souvislosti s multifokálními kontaktními čočkami zabývat je ten, že po 40. roce života velikost aberací roste a jejich působení na obraz je zřetelnější, čímž dochází k větší deformaci.

[23, 30]

### 4.5.1 Podélná chromatická aberace (disperze)

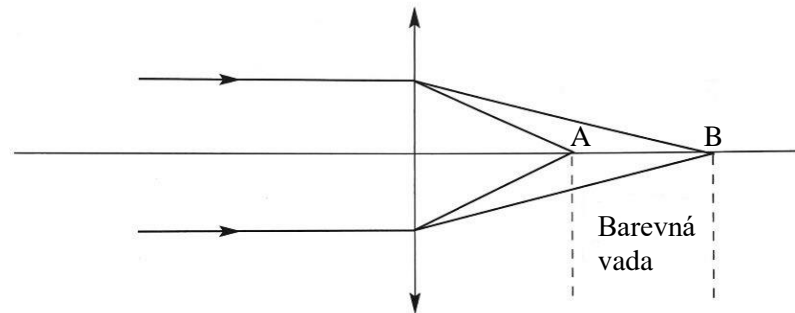
Podélná chromatická aberace vzniká v případě, že soustavou prochází polychromatické světlo složené z více vlnových délek. Každá vlnová délka má specifickou rychlost šíření světla. Když světlo vstoupí do hustšího prostředí, tak se rozdílná rychlost projeví tím, že se kratší vlnové délky zlomí více než ty dlouhé. Barevná vada je jedinou optickou aberací, která se projeví již v paraxiálním prostoru. Tento jev ukazuje obrázek 12, kdy na hranol dopadá bílé světlo a vychází jako rozklad jeho vlnových délek.

[23, 29, 31]



Obr. 12 Disperze bílého světla na hranolu. (upraveno) [23]

Disperze se rovněž projevuje v očním prostředí, a to tím způsobem, že každá vlnová délka utvoří své vlastní ohnisko, čímž dojde k podélnému rozprostření ohnisek v oblasti sítnice. Cílem při měření refrakce je dostat ohnisko červené barvy o 0,25 D za sítnici a ohnisko zelené barvy o 0,25 D před sítnici, čímž se zajistí co nejostřejší a vyvážené barevné vidění.



Obr. 13 Barevná vada po průchodu předním segmentem oka.

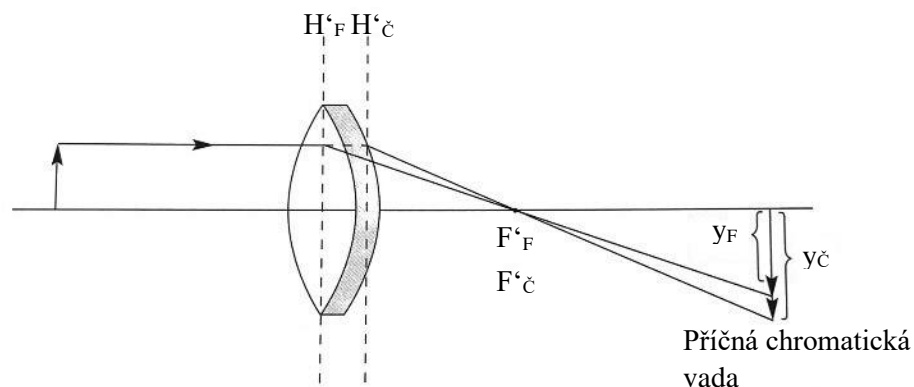
Ohnisko fialového světla (A), ohnisko červeného světla (B). (upraveno) [23]

Podélná chromatická aberace je stimulem pro akomodaci, aby nervový systém mohl vyhodnotit, zda je třeba zvýšit či snížit lomivost čočky. Ve výsledku se aberace projevuje tím, že dotyčný vnímá barvy s ohniskem blíže sítnici výrazněji než ty vzdálenější, čehož bývá využíváno například při subjektivním měření refrakce.

[23, 29, 31]

#### 4.5.2 Příčná chromatická aberace

Příčná chromatická aberace funguje na podobném principu jako podélná s tím rozdílem, že tentokrát se bere v úvahu příčný rozdíl zobrazení jednotlivých vlnových délek. V důsledku různé lomivosti vlnových délek dojde k zobrazení obrazů na stínítku (sítnici) v různých velikostech. Příčnou disperzi zobrazuje obrázek 14, ve kterém se nachází dvě čočky tak, aby posunuly ohniska vlnových délek do jednoho místa tím, že posouvají hlavní roviny nejkratší a nejdelší vlnové délky do příslušné vzdálenosti od sebe. Tím dojde k minimalizování podélné barevné vady. Příčná barevná vada se v praxi projevuje barevnými třásněmi/okraji předmětů.



Obr. 14 Schematické zobrazení příčné chromatické aberace.

Hlavní rovina fialového světla ( $H'_F$ ), hlavní rovina červeného světla ( $H'_C$ ), obrazové ohnisko fialového světla ( $F'_F$ ), obrazové ohnisko červeného světla ( $F'_C$ ), velikost obrazu fialového světla ( $y_F$ ), velikost obrazu červeného světla ( $y_C$ ). (upraveno) [23]

V závislosti na použití daného optického systému je nutné určit prioritu chromatické aberace, která má být odstraněna, protože z výše uvedených zákonitostí vyplývá, že není možné odstranit obě zároveň.

[23]

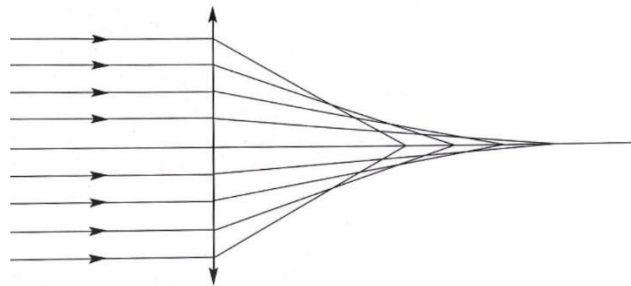
#### 4.5.3 Otvorová vada

Otvorová vada neboli sférická aberace je optická aberace, která zapříčiňuje, že se bod nezobrazí jako bod, ale jako ploška. Dochází k tomu proto, že paprsky, které dopadnou do středu čočky (paraxiální), jsou zaostřeny v jiné rovině než paprsky dopadající do periferie čočky (neparaxiální).

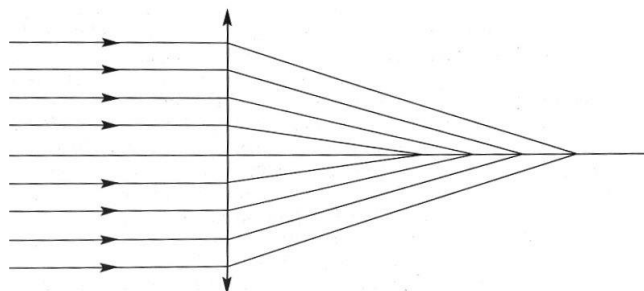
Otvorová vada může mít dvě podoby, které se od sebe odlišují tím, zda se ohnisko neparaxiálních paprsků nachází před nebo za ohniskem paprsků paraxiálních. Pokud se neparaxiální paprsky zlomí více, pak jde o pozitivní otvorovou vadu. Tuto vadu mají všechny sférické čočky. O negativní vadu jde v případě, že se neparaxiální paprsky lámou méně než paraxiální a jejich ohnisko je umístěno za ohniskem paraxiálních paprsků.

Při narození se na kvalitě vidění podílí vyšší negativní aberace, která se v průběhu života mění spíše na pozitivní hodnoty, které s věkem nadále rostou (studie o multifokálních kontaktních čočkách [28] však tvrdí opak ve smyslu, že s věkem narůstá spíše negativní aberace). V oku se však projevuje pozitivní i negativní otvorová vada. V případě, že je oko zaostřené do dálky, pak je ohnisko neparaxiálních paprsků před ohniskem paraxiálních a při pohledu do blízka je tomu naopak. Oba typy otvorové vady ukazují obrázky 15 a 16.

[18, 23, 29, 30, 31, 32]



Obr. 15 Pozitivní sférická aberace. (upraveno) [23]

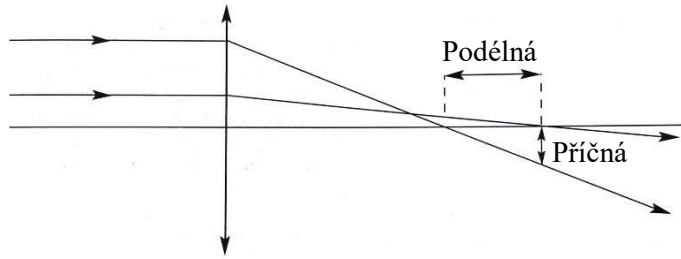


Obr. 16 Negativní sférická aberace. (upraveno) [23]

Sférická aberace se může projevovat dvěma způsoby – podélně a příčně. Velikost podélné vady popisuje vzdálenost mezi obrazovými ohnisky paraxiálních paprsků podél optické osy v dioptriích. Velikost příčné vady vzdálenost mezi paprsky v daném bodě optické osy. Rozdíl mezi podélnou a příčnou otvorovou vadou je zobrazen v obrázku 17.

[18, 23, 29, 30, 31, 32]

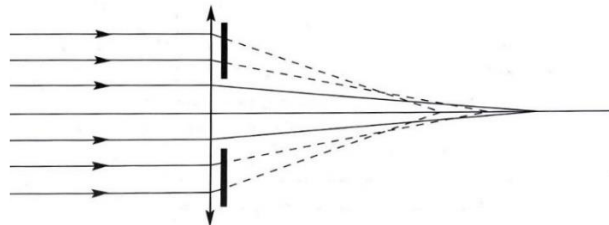




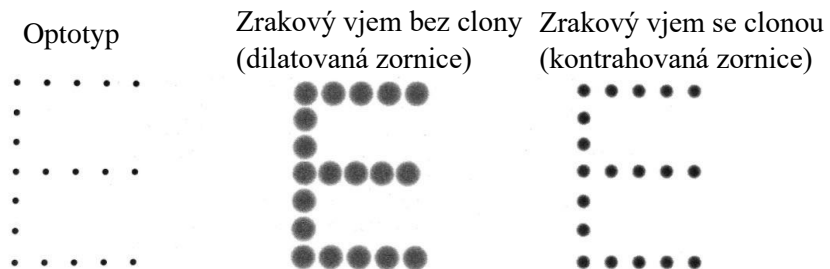
Obr. 17 Podélná a příčná otvorová vada. (upraveno) [23]

Parametrem vlivu otvorové vady je velikost zornice, kde platí přímá úměra, tedy čím je zornice větší, tím větší zásah do kvality vidění otvorová vada má. Ideální velikostí zornice pro nejostřejší obraz je 2,4 mm, při kterých nastává rovnováha mezi aberacemi a difrakcí. Pokud je zornice větší než 3 mm, pak mohou aberace narušovat schopnost rozlišení detailů. Aberace se dá snížit umělou clonou, která se předkládá před optickou soustavu, což způsobí, že nekorigované oko uvidí optotyp lépe. Touto umělou stenopeickou clonou jsme schopni vykorigovat 3-5 D. Mohlo by se stát, že dojde ke zhoršení obrazu po předložení clony tím, že se sníží množství paprsků vstupujících do oka, to je ale kompenzováno vylepšením vízu umělou clonou neboli Pinhole Effectem.

[18, 23, 29, 30, 31, 32]



Obr. 18 Sférická aberace s částečnou korekcí zmenšením průměru zornice. (upraveno) [23]



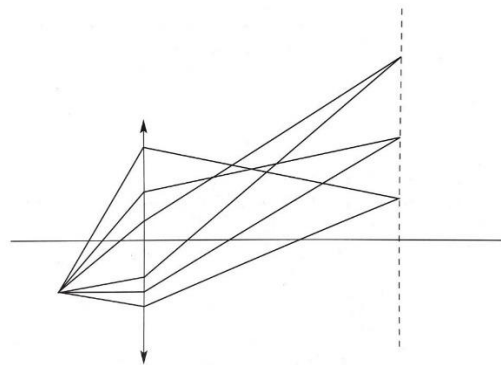
Obr. 19 Znázornění Pinhole Effectu. (upraveno) [23]

S otvorovou vadou souvisí pojem noční myopie, což je v podstatě pozitivní sférická aberace, kdy za šera/tmy dojde k dilataci zornice a vstupu většího počtu neparaxiálních paprsků do oka, což způsobí mírné posunutí refrakční vady do záporných hodnot – proto název noční myopie. Proto je u osob s větším projevem noční myopie pozitivně vnímána více záporná korekce.

[18, 23, 29, 30, 31, 32]

#### 4.5.4 Koma

Koma je hlavní foveální aberací, která vzniká, když paprsky z bodového zdroje mimo optickou osu dopadnou na sférickou čočku. Obrazy centrálních paprsků svazku zdroje dopadají dále od optické osy než okrajové paprsky svazku viz obrázek 20. Koma nemusí vznikat pouze zobrazením mimoosového zdroje světla, ale také v případě, že optické prvky soustavy jsou vůči sobě nakloněny a jejich optické osy nejsou v zákrytu. Opět zde platí, že s menší zornicí ubývá vada na síle.



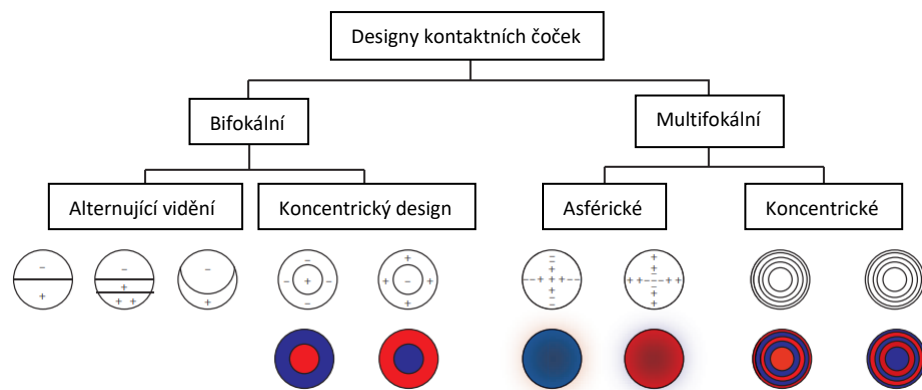
Obr. 20 Schematické zobrazení komy. (upraveno) [23]

Toto zobrazení zapříčiňuje zobrazení bodu jako obrazce ve tvaru komety s počátkem v obraze centrálních paprsků zdroje. Tento útvar je stranově symetrický a je zřetelnější za šera. Pokud koma dosahuje vyšších hodnot, pak se projevuje takzvanými duchy kolem předmětů nebo lehce zdvojeným obrazem.

[23, 29, 31]

## 5. Funkce a design multifokálních kontaktních čoček

Multifokální kontaktní čočky jsou jedním ze způsobů korekce presbyopie a redukce myopie. Pro stále rostoucí populaci presbyopiků jsou řešením korekce refrakčních vad při sportu (zaostřením na různé vzdálenosti podél optické osy, tedy posunutím ohnisek na sítnici), pohybu v přírodě nebo jsou oblíbené i jen z estetických důvodů. Uživatelé zajišťují větší zorné pole, jsou stabilnější na nošení (např. při zakopnutí nepadnou z hlavy), oproti brýlové korekci zachovávají centrality ve větší míře, nezkrslují periferii a lehčeji se nahrazují za nové. Aplikace multifokálních kontaktních čoček představuje v některých zemích 25 až 35 % z celkového počtu aplikací kontaktních čoček. Tato kapitola se zabývá jejich funkcí a designem, tedy rozložením oblastí pro vidění do blízka, na střední vzdálenosti a do dálky na kontaktní čočce. [28, 33]



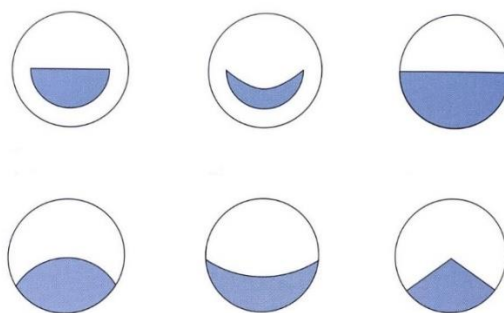
Obr. 21 Základní rozdělení presbyopických kontaktních čoček. (upraveno) [28]

## 5.1 Simultánní a alternující vidění

Kontaktní čočky mohou zajišťovat foveolární zobrazování dvěma způsoby:

### Alternující vidění

Alternujícího vidění využívají především bifokální kontaktní čočky (bikoncentrické nebo podobné konstrukci klasických bifokálních brýlových čoček s přidanou zónou na vidění na blízko ve spodní části kontaktní čočky), kdy dochází k translačnímu pohybu čočky při pohledu dolů vzhledem k zornici, čímž pohledová osa začne procházet jinou dioptrickou zónou. Výhodou těchto kontaktních čoček je soustředění téměř veškerého světla do jedné dioptrické oblasti, což by mělo zajišťovat ostřejší vidění na danou vzdálenost. [33]



Obr. 22 Příklady kontaktních čoček využívajících alternující vidění. [33]

### Simultánní vidění

V současné době však multifokální kontaktní čočky využívají spíše takzvaného simultánního vidění. U tohoto typu kontaktních čoček (nejčastěji koncentrická konstrukce zaměřená spíše na dálku nebo na blízko, která zůstává více vycentrovaná na zornici než u kontaktních čoček s alternujícím viděním) dochází k projekci obrazů z různých ohniskových vzdáleností v různých ohniskových rovinách současně, což znamená, že se zároveň zobrazují zaostřené i rozostřené obrazy (podle toho, zda oko fixuje bod do blízka, na střední vzdálenost nebo do dálky). Je to způsobeno koncentrickou konstrukcí čočky, která je stavěna tak, aby v každém pohledovém směru světlo procházelo v oblasti zornice všemi dioptrickými zónami. Z toho důvodu je zde zásadní nervová adaptace daného klienta pro výběr ostrého obrazu v závislosti na vizuálním cíli, tedy aby zrakový systém byl schopen ignorovat všechny ostatní obrazy než ty, na které

se zaměřuje. Tento způsob je však větším zrakovým kompromisem než u alternujících vidění, protože se velká část světla nezaostřuje v rovině sítnice.

Z fyziologického pohledu jsou při potlačení nevhodících se obrazů podstatná receptivní pole sítnice. Pokud dochází k monokulárnímu potlačení jednoho z podnětů, které dopadají na různá receptivní pole, pak je potlačení jednodušší podobně jako u potlačení neidentického podnětu v jednom oku oproti oku druhému (monovision). Jde o potlačení konkurenčních receptorů, což je lépe akceptováno.

U multifokálních kontaktních čoček však často dochází k dopadnutí neidentických podnětů ze dvou různých dioptrických zón do jednoho receptivního pole, které je nuceno jeden z obrazů potlačit pro ostřejší vidění. K tomu, aby receptivní pole bylo schopné rozdílné podněty odlišit je třeba dostatečně rozdílné intenzity a barvy obrazů, což poté přispívá k potlačení méně výrazného obrazu (je snadnější rozmazaný obraz potlačit, pokud je poměr šumu k signálu veliký). Pokud se zrakové dráze a mozku nepodaří rozmazaný obraz potlačit, pak dojde k celkovému snížení kontrastu ve vidění díky rozptylu světla z rozostřeného obrazu. Rozsah snížení kontrastu závisí na množství světla procházejícím dioptrickými zónami (pokud rozmazaný obraz bude tvořen větším množstvím světla než ostrý obraz, pak dojde k většímu snížení kontrastu než v opačném případě, kdy v ohnisku ostrého vjemu bude větší množství světla).

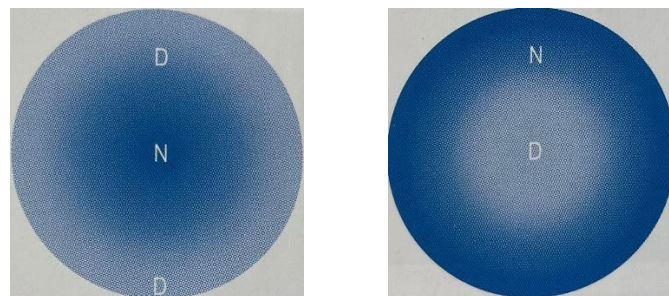
Výhodami využívání simultánního vidění jsou: vidění do daných vzdáleností ve všech pohledových směrech, zachování stereopse, možnost rotační nestability a větší pohodlnost. Nevýhodami naopak jsou: různé neurální adaptace klientů, snížení kontrastu především za zhoršených světelných podmínek, závislost na velikosti zornice (omezení dioptrických zón při malém průměru zornice) a centraci kontaktní čočky, složitější metody dokorekce a ve většině případů horší vidění než při alternujícím vidění, kdy světlo prochází jen jednou dioptrickou zónou z místa fixace.

[28, 33, 34, 35]

## 5.2 Charakteristika koncentrických designů multifokálních kontaktních čoček

Koncentrické multifokální kontaktní čočky se mohou lišit zaměřením na dálku či na blízko, průměry optických zón, velikostí adice (hloubka ostrosti a pracovní vzdálenost) nebo dioptrickými profily (množství a velikost jednotlivých dioptrických zón, postupná dioptrická změna). Presbyopické kontaktní čočky často využívají principu modifikované monovision, kdy jedno oko má nasazenou čočku se zaměřením na dálku s přechodem do střední vzdálenosti a druhé oko čočku zaměřenou na blízko s přechodem do střední vzdálenosti, čímž je částečně kompenzována malá velikost zornice. Ve výsledku je úplná stereopse zachována však jen do střední vzdálenosti, kde je mozek schopen binokulární sumace. [28, 33, 35, 36]

Jedním z nejpoužívanějších typů jsou asférické presbyopické kontaktní čočky. Vyznačují se asférickou kuželovou konstrukcí podobnou progresivním brýlovým čočkám, která má za úkol snížit sférickou aberaci a zvětšit hloubku ostrosti. Gradient dioptrické síly se mění radiálně napříč čočkou, čímž dochází k postupné změně dioptrií k okrajovým částem optické zóny. Z povahy jejich konstrukce vyplývá, že se funkce čočky mění se změnami velikosti zornice. [28, 33, 35, 36]



Obr. 23 Asférický design s centrem do blízka (vlevo), asférický design s centrem do dálky (vpravo). D značí dioptrickou zónu na dálku, N značí dioptrickou zónu na blízko. [33]

Asférické designy multifokálních kontaktních čoček se od sebe mohou lišit umístěním asféricity na přední nebo na zadní ploše čočky a plynulostí přechodu:

#### Asférická zadní plocha

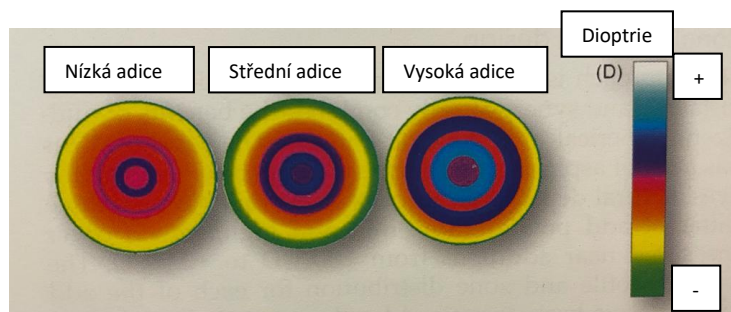
Asférická zadní plocha zajišťuje přeostrění z dálky do blízka vyvoláním pozitivní sférické aberace. Čím více je zadní plocha zploštělá, tím lepší bude vidění na blízko – jedná se v podstatě o čočku zaměřenou v centru na dálku. Čím je adice vyšší, tím horší je i vidění na dálku především za zhoršených světelných podmínek. Proto je tento typ kontaktních čoček doporučován spíše mladým presbyopům do výše adice +1,25 D. [28, 33, 35, 36]

#### Asférická přední plocha

Asférická přední plocha podporuje negativní aberaci, což vede ke snižování adice směrem od centra čočky, tím je utvořena konstrukce zaměřená na vidění na blízko. S rostoucí adicí je třeba použití vyššího stupně asféricity, aby byla zajištěna větší lomivost paprsků. V takovém případě je nutné použití kontaktní čočky s různou excentricitou, aby bylo vidění jak do dálky, tak do blízka stabilnější. [28, 33, 35, 36]

#### Zónová asférická konstrukce

Zónová asférická konstrukce představuje kombinaci mezi sférickými a asférickými konstrukcemi. Výsledná čočka má zónovou asférickou přední plochu navrženou tak, aby využívala přirozenou hloubku ostrosti a asférickou zadní plochu pro optimalizaci centrace. Tyto čočky jsou k dispozici se třemi různými přídavnými silami (nízká, střední a vysoká), které pokrývají naměřené přídavky na blízko od +0,75 D do +2,50 D. Konstrukce těchto multifokálních kontaktních čoček bere v úvahu i velikost zornice a změny osvětlení. [28, 33, 35, 36]



Obr. 24 Příklady zónové asférické konstrukce. (upraveno) [33]

## 6. Vidění při nošení multifokálních kontaktních čoček

Z obsahu předchozích kapitol vyplývá, že vidění jako takové je ovlivněno velkým množstvím různých faktorů (v této práci byly popsány jen ty nejzásadnější a ty, které se vztahují k zornici a multifokálním kontaktním čočkám).

Některé faktory vidění ovlivňují více a některé méně, většina z nich je však nějakým způsobem závislá na velikosti zornice, z čehož vyplývá, že její velikost je pro kvalitu vidění zásadní. Dalším faktorem je velikost zbytkové akomodace, která určuje velikost adice. Účinek presbyopických čoček se lépe promítá u mladých presbyopů, kteří jsou schopni některé dioptrické nedokonalosti zakomodovat. Důležitou součástí ostrého vidění je i refrakční vada a centrace kontaktní čočky. V případě decentrace dochází k dalšímu navození astigmatického účinku a sférické aberace z periferie, která překryje pupilu. V neposlední řadě jde také o dynamiku slzného filmu a tonus víček a jejich postavení.

### 6.1 Vliv velikosti zornice na průchod paprsků designem multifokální kontaktní čočky

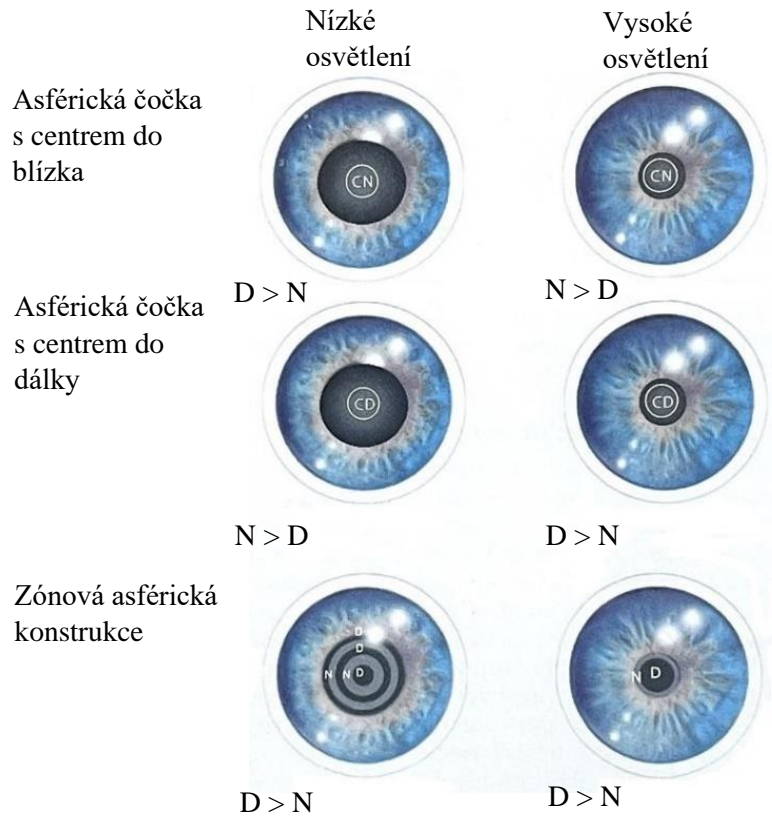
Účinek multifokálních kontaktních čoček značně ovlivňuje průměr pupily, který určuje distribuci energie napříč čočkou. Ve starším věku se u presbyopů často objevuje senilní mióza, která limituje prostor kontaktní čočky, která má za úkol formování obrazu v prostoru sítnice, čímž dochází k tomu, že zornice upřednostňuje centrum kontaktní čočky a tím může zapříčinit, že světlo může procházet pouze jednou dioptrickou zónou. Naopak velká zornice propouští světlo pro více dioptrických oblastí.

Čočky konstruované pro preferenci dálky za jasného osvětlení zobrazují hůře do blízka díky omezení zóny do blízka miotizací zornice. Naopak čočky konstruované pro preferenci blízka za jasného osvětlení, zejména při řízení auta, zhorší vidění do blízka omezením zóny do dálky opět miotizací zornice. Navzdory tomu jsou uživatelé spokojenější s viděním za dne, protože je tolik neomezují halo efekty.



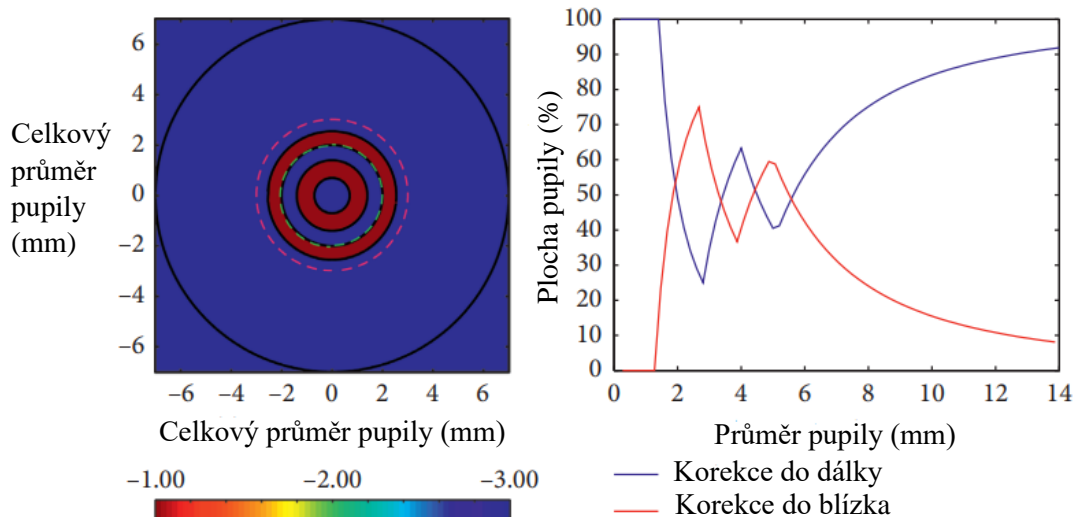
Přínos čoček se mění s počtem zón – více zónové čočky zobrazují ostřeji než méně zónové – a zároveň také s počtem zón, které omezí průměr pupily viz obrázek 25.

[28, 33, 36]



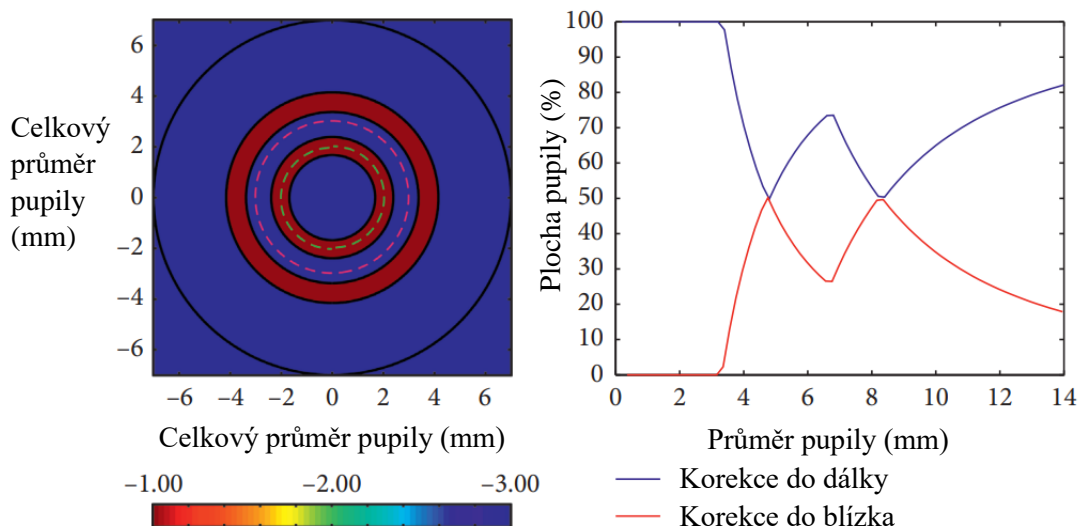
Obr. 25 Omezení dioptrických zón asférické čočky velikostí zornice. CN označuje centrum kontaktní čočky zaměřené na blízko, CD centrum kontaktní čočky zaměřené na dálku. D značí dioptrickou zónu na dálku, N dioptrickou zónu na blízko. (upraveno) [33]

Na obrázku 26 je vyobrazen jeden z typů bifokálních kontaktních čoček. V tomto případě se jedná o kontaktní čočku, která nedává důraz na vidění na střední vzdálenost, za to ale je zde zastoupení dálky a blízka víceméně vyrovnané. Na levé části obrázku 26 je znázornění dioptrické mapy, na kterém můžeme vidět, že rovnocenné zastoupení dálky i blízka je již přítomno při velikosti zornice 2 mm. Na grafu vpravo vidíme procentuální zastoupení dioptrických zón při dané velikosti zornice. Podle průměru zornice se u tohoto typu kontaktní čočky může střídát výkon na vidění do dálky a do blízka podle počtu aktivně využívaných optických zón.



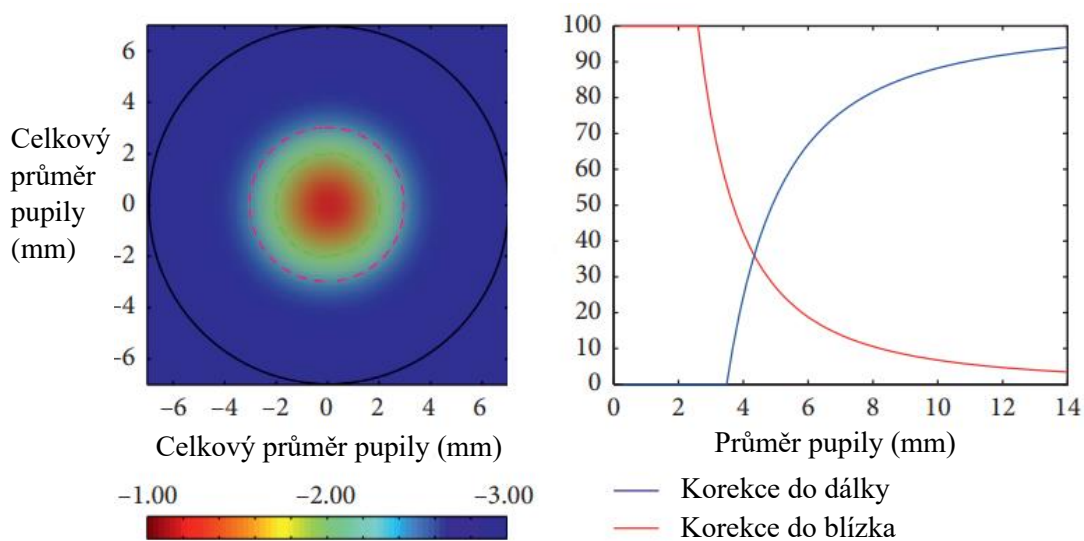
Obr. 26 Znárodnění dioptrické mapy zónové asférické konstrukce (vlevo), podíl celkové plochy zornice pokryté korekcí do dálky a do blízka v závislosti na velikosti zornice (vpravo). (upraveno) [28]

Oproti obrázku 26 je na obrázku 27 opět vyobrazena bifokální kontaktní čočka, která více preferuje vidění do dálky. Vidění do blízka začíná být zapojováno až při více než 3 mm průměru zornice a procentuálně vyrovnaného stavu dosahuje až při více než 4 mm, vzhledem k větší centrální zóně do dálky však nedosáhne většího procentuálního zastoupení.



Obr. 27 Znárodnění dioptrické mapy zónové asférické konstrukce (vlevo), podíl celkové plochy zornice pokryté korekcí do dálky a do blízka v závislosti na velikosti zornice (vpravo). (upraveno) [28]

Na obrázku 26 a 27 byl představen princip ovlivňování počtu dioptrických zón velikostí zornice na bifokálních kontaktních čočkách nejprve při rovnoměrném rozložení dioptrických zón a poté na čočce konstruované především na vidění na dálku (v případě čočky konstruované na blízko by zóny byly rozloženy přesně naopak). Na obrázku 28 bude ovlivňování průměrem pupily fungovat stejně, je zde však přidána i zóna na střední vzdálenost, která plynule navazuje na centrální zónu do blízka a plynule přechází v zónu na dálku. Tím je dosaženo 100% pokrytí zónou na blízko do více než 2 mm průměru zornice, která se postupně s rostoucím průměrem vytrácí, čímž začne být dominantnější zóna na střední vzdálenost a oblast pro vidění do dálky začne být aktivní až od více než 3 mm velikosti pupily. Z toho vyplývá, že vidění do dálky nedosáhne vyšší kvality u zornice menší než přibližně 4 až 5 mm. V případě multifokální kontaktní čočky zaměřené na vidění do dálky by v obrázku 28 na místě zóny do blízka byla zóna na dálku a na místě zóny na dálku zóna do blízka, která by opět byla alespoň částečně zapojena až od necelých 4 mm průměru zornice.



Obr. 28 Znárodnění dioptrické mapy asférické konstrukce (vlevo), podíl celkové plochy zornice pokryté korekcí do dálky a do blízka v závislosti na velikosti zornice (vpravo). (upraveno) [28]

Zajímavostí je existence studií, které zkoumaly změnu ve vidění při nošení multifokálních kontaktních čoček s filtry snižujícími propustnost světla do oka. Pozitivním výsledkem bylo zvětšení průměru zornice, bohužel však na základě průchodu paprsků více dioptrickými zónami nedošlo ke zlepšení vízu kvůli menšímu celkovému množství paprsků vstupujících do oka. [37]

Svůj vliv má i (ne)fyziologická anizokorie. Anizokorie může způsobovat potíže při potlačení jednoho z obrazů dioptrických zón omezením binokulární sumace rozdílnou difrakcí, aberacemi a rozdílným množstvím dioptrických zón dopadajících na sítnice obou očí.

## 6.2 Interakce designu multifokální kontaktní čočky a nativních optických aberací

Při nasazení multifokální kontaktní čočky dochází k interakci aberací čočky a nativním aberacím oka jako optického systému, které se ve většině případů navyšují. Asférické kontaktní čočky s centrem do blízka využívají negativní sférické aberace, která přichází do styku s pozitivní (negativní) sférickou aberací oka, což podporuje indukci astigmatismu a komy společně s decentrací čočky. Indukce těchto vad je úměrná míře decentrace a velikosti sférických aberací. V současné době technologie dovolují částečně sférickou vadu kompenzovat a tím snižovat interakce mezi aberacemi čočky a oka. V indukci aberací vyššího řádu hraje roli i kvalita slzného filmu. Čím je slzný film stabilnější, tím jsou aberace přesouvány více do pozadí.

Na rozhraní optických zón do blízka a do dálky vzniká rozptyl světla, různé odlesky a difrakce, čímž dojde k částečnému prolínání přechodu obrazů a tím pádem i k snížení kvality obrazu.

Důležitým parametrem je rovněž refrakční vada daného jedince. Myopové mají větší periferní rozostření než hypermetropové v důsledku šikmého astigmatismu a komy. Stejně jako u vízu zde platí pravidlo, že binokulární sumace zlepšuje kvalitu vidění.

S věkem dochází k posunu sférické aberace k pozitivním (negativním) hodnotám, navíc však dochází k individuálním proměnlivým změnám jednotlivých aberací. Nejvíce dochází k nárůstu sférické aberace a horizontální komy vlivem vývojových změn

optického systému oka, čímž dochází k narušení kompenzačního účinku mezi rohovkou a vnitřními aberacemi, k čemuž přispívají i změny parametrů a propustnosti nitrooční čočky.

Optická kvalita může být navýšena přidáním určitého množství sférické aberace v rámci daného rozostření stejně jako dané velikosti astigmatismu a komy, což způsobí zvýšení hloubky ostrosti a minimalizaci poklesu zrakové ostrosti.

[28, 30, 33, 34, 36]

### 6.3 Shrnutí faktorů ovlivňujících vidění při nošení multifokálních kontaktních čoček

Při nošení multifokálních kontaktních čoček má na vidění vliv velké množství různých vnějších i vnitřních faktorů. Některé ovlivňují vidění více, některé méně. V první řadě se však jedná o poměrně zásadní zmenšení průměru zornice s věkem. Fyziologická senilní mióza podstatně ovlivňuje průchod světla jednotlivými dioptrickými zónami na koncentrickém designu multifokální kontaktní čočky, respektive určuje, jaké množství optických zón bude využíváno při vidění, čímž se může stát, že bude z vidění vyřazená některá vzdálenost. Rovněž záleží na centraci kontaktní čočky (s větší decentrací dochází k navození dalších aberací a ztížení výběru dioptrických oblastí).

Pokud však bude brána v úvahu velká zornice, která by propustila dostatečné množství paprsků, které by procházely všemi dioptrickými zónami, tak to však neznamená, že bude vidění perfektní. Zde vstupuje do hry neurální adaptace sítnice, která by měla být natolik dobrá, aby mozek byl schopen potlačit rozmazaný obraz, který na sítnici dopadá společně s ostrým obrazem z požadované sledované vzdálenosti na různá receptivní pole, a zároveň nedošlo k přílišnému snížení kontrastu z důvodu rušivého elementu rozmazaného obrazu.

V problematice neurální adaptace hraje svoji roli míra rozmazání neostrého i ostrého obrazu, která může být výraznější působením optických aberací zatěžujících zrakový orgán. Zde velice závisí na velikosti zornice, která určuje, jak moc se jednotlivé aberace projeví na vidění a na velikosti samotných aberací. Pro většinu aberací platí,

že se zmenšující se zornicí se zmenšuje i jejich vliv na kvalitu obrazu. V tomto případě se jedná o různé typy chromatických aberací, otvorovou vadu a komu.

S menší zornicí vidění rovněž méně zatěžují některé optické jevy jako je například Stiles-Crawfordův efekt projevující se změnou vnímání jasu a barvy vlivem dopadu světla z většího úhlu na fotoreceptory, který se stává víceméně nepodstatným při menší zornici než 4 mm. Naopak s menší zornicí se více projevuje difrakce, která způsobuje ohyb světla na malém kruhovém otvoru.

Aplikací vhodné konstrukce multifokální kontaktní čočky může dojít k částečné neutralizaci, tedy zmírnění vlivu aberací na vidění. Projevit se však může i opak, kdy dojde aplikací k navození nebo navýšení stávajících nativních aberací. Záleží také na časovém okamžiku aplikace – s věkem se průměr zornice, velikost a hodnoty optických aberací mění, takže se může stát, že s časem daná vhodná konstrukce přestane být vyhovující.

Vidění tedy ovlivňuje i kombinace vnějších a vnitřních jevů, které určují velikost zornice. Z vnějších jevů jde o momentální světelné podmínky, konstrukci kontaktní čočky nebo dráždění ostatních smyslů ať už mechanické (doteky oka a jeho okolí) nebo jiné (hlasitý zvuk). Vnitřních faktorů je mnohem více. Jde především o tělesný stav (refrakční vada, užívání medikamentů, věk, stav vědomí nebo barva duhovky) ale i o psychický stav (užívání antidepresiv, prožívání emocí). Zajímavostí je použití kontaktních čoček s filtry omezujícími propustnost pro světlo, které zajistily rozšíření pupily, avšak bez pozitivního výsledku ve zvýšení zrakové ostrosti při nošení multifokálních kontaktních čoček v důsledku snížení množství světla dopadajícího na sítnici.

V neposlední řadě vidění ovlivňuje i velikost adice. Platí, že se zvyšující se adicí se přibližuje blízký bod k oku a zároveň se zmenšuje hloubka ostrosti, což je negativní vliv, který ztěžuje výběr dané dioptrické oblasti pro danou vzdálenost a snižuje toleranci nedokonalostí při vidění, protože zároveň z vyšší hodnoty adice vyplývá, že zbytková akomodace je menší. Toto je jeden z důvodů, proč lidé s nižší adicí vidí kontaktních čočkách lépe.

Z těchto skutečností vyplývá, že aplikace multifokálních kontaktních čoček je multifaktoriální a není tudíž jednoduché docílit ostrého a dostatečně kvalitního obrazu. Dále je jasné, že nelze obecně říci, který průměr zornice je pro aplikaci ideální, protože se design kontaktní čočky bude s jedinci projevovat různě z důvodu velkého množství faktorů podílejících se na vidění. V případě emetropického oka, ideálního usazení čočky, dostatečně velkého průměru zornice pro využití dioptrických zón a dobrou neurální adaptací i tak může dojít k odmítnutí kontaktní čočky z důvodu citlivosti klienta, jeho zrakových nároků nebo jasového diskomfortu při vidění způsobenému simultánním viděním a umocněnému větším průměrem zornice.

Při aplikaci multifokálních kontaktních čoček je tedy nutné dbát na motivaci klienta, vhodnou prezentaci funkce čoček a opakované aplikace různých typů designů a velikostí přídavků na blízko kvůli velikosti zornice, interakci s aberacemi a změnám hloubky ostrosti.

## Závěr

První kapitola této práce se zabývá anatomií vybraných struktur oka se zaměřením na duhovku, zornici a sítnici, kterou je nutné znát pro pochopení této tematiky. Druhá kapitola je věnována faktorům ovlivňujících velikost zornice, pro tuto práci je ale asi nejzajímavější podkapitolou podkapitola o změnách velikosti zornice v závislosti na věku, která popisuje průběh a velikost postupného zmenšování velikosti zornice jako projev stárnutí očního aparátu, které je úzce spjato s presbyopií a viděním v multifokálních kontaktních čočkách. Další částí navazující na zmínku o presbyopii je kapitola věnující se jejímu popisu, tedy změnám akomodace s věkem a možností její korekce.

Druhá polovina práce částečně popisuje vznik obrazu na sítnici, a především příčiny jeho zhoršeného zobrazení. Na to navazují podkapitoly o nejvlivnějších optických aberacích zatěžujících optický systém. Kapitola 5 rozebírá simultánní vidění, bez kterého by nebylo možné používat multifokální kontaktní čočky a jejich koncentrické designy.

Poslední kapitola shrnuje veškeré poznatky obsažené v této práci v souvislostech. Je rozdělena do 3 podkapitol popisujících postupně vliv velikosti zornice na průchod paprsků optickými zónami multifokální kontaktní čočky, interakce jednotlivých designů multifokálních kontaktních čoček s nativními aberacemi oka a ve výsledku shrnutí všech faktorů obsažených v práci v souvislosti s viděním v multifokálních kontaktních čočkách.

Závěrem této práce tedy je, že vidění v multifokálních kontaktních čočkách ovlivňuje velké množství faktorů, které se s jedinci budou projevovat různě. Není tedy možné objektivně určit ideální velikost zornice nebo ideální design kontaktní čočky. Řešením je dobrá motivace klienta, vhodná prezentace funkce multifokální kontaktní čočky a opakované aplikace různých kombinací designů a velikostí adic.

V případě, že by žádná kombinace designů a velikostí adic nebyla u daného klienta vhodná, pak existuje řada jiných řešení korekce. Jedná se například o pevné kontaktní čočky, kombinaci monofokálních kontaktních čoček a brýlí do blízka, monovision nebo třeba bifokální kontaktní čočky.



## Seznam použitých zdrojů

1. Kvapilíková V. Anatomie a embryologie oka. 1. vyd. Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2000.
2. Synek S, Skorkovská Š. Fyziologie oka a vidění. 2. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2014.
3. Kuchynka P. Oční lékařství. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2007.
4. Pluháček F. Fyziologická optika: Zrakové ústrojí. Přednáška k předmětu Fyziologická optika. Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Olomouc; 2019.
5. Remington LA. Clinical Anatomy and Physiology of the Visual System. Forest Grove: Elsevier Inc. 2012.
6. Syka J, Voldřich L, Vrabc F. Fyziologie a patofyziologie zraku a sluchu. 1. vyd. Praha: Avicem, zdravotnické nakladatelství, n. p., 1981.
7. Silbernagl S, Despopoulos A. Atlas fyziologie. 6. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2004.
8. Kraus H a kol. Kompendium očního lékařství. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 1997.
9. Rutrle M. Přístrojová optika. 1. vyd. Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2000.
10. Naňka O, Elišková M. Přehled anatomie. 2. vyd. Praha: Galén a Karolinum, 2009.
11. Kolín O a kol. Oční lékařství. 2. vyd. Praha: Nakladatelství Karolinum, 2007.
12. Otradovec J. Klinická neurooftalmologie. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2003.
13. Kuchynka P a kol. Oční lékařství. 2. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2016.
14. Pluháček F. Fyziologická optika: Zrakové funkce sítnice. Přednáška k předmětu Fyziologická optika. Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Olomouc; 2019.
15. Tunnacliffe AH. Introduction to Visual Optics. 4. vyd. Canterbury: Association of British Dispensing Opticians, 1993.
16. Malinčíková J. Patologická fyziologie: Poruchy fotoreakce pupily. Přednáška k předmětu Patologická fyziologie. Klinika tělovýchovného lékařství a kardiovaskulární rehabilitace FN a LF UP Olomouc. Olomouc; 2020.

17. Kittnar O a kol. Lékařská fyziologie. 2. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2020.
18. Telek HH, Erdol H, Turk A. The Effects of Age on Pupil Diameter at Different Light Amplitudes. *Beyoglu Eye Journal*. 2018; 3(2): e80-85. doi: 10.14744/bej.2018.43534.
19. Hall CA, Chilcott RP. Eyeing up the Future of the Pupillary Light Reflex in Neurodiagnostics. *Diagnostics*. 2018; 8(1):e19. doi:10.3390/diagnostics8010019.
20. Sanchis-Gimeno JA, Sanchez-Zuriaga D, Martinez-Soriano F. White-to-white corneal diameter, pupil diameter, central corneal thickness and thinnest corneal thickness values of emmetropic subjects. *Surgical and radiologic anatomy*. 2012; 34(2):e167-70. doi: 10.1007/s00276-011-0889-4.
21. Rozsival P a kol. Oční lékařství. 2. vyd. Praha: Galén, 2017.
22. Řehák S. Oční lékařství. 2. vyd. Praha: Avicem, zdravotnické nakladatelství, n. p., 1989.
23. Schwartz SH. Geometrical and visual optics: a clinical introduction. 1. vyd. New York, N.Y.: McGraw-Hill, Medical Publishing Division, 2002.
24. Said FS, Sawires WS. Age dependence of changes in pupil diameter in the dark. *Optica Acta: International Journal of Optics*. 1972; 19:5, e359-361, doi: 10.1080/713818582.
25. Pluháček F. Fyziologická optika: Akomodace, presbyopie, afakie, amblyopie. Přednáška k předmětu Fyziologická optika. Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Olomouc; 2019.
26. Heissigerová J a kol. Oftalmologie. 1. vyd. Praha: Maxdorf s. r. o., nakladatelství odborné literatury, 2018.
27. Bělová Š. Webinars for professionals Baush + Lomb: Aplikace multifokálních kontaktních čoček. Certifikovaný vzdělávací webinář firmy Baush + Lomb, 2022.
28. Remón L, Pérez-Merino P, Macedo-de-Araújo RJ, Amorim-de-Sousa AI, González-Méijome JM. Bifocal and Multifocal Contact Lenses for Presbyopia and Myopia Control. *Hindawi: Journal of Ophtalmology*. 2020; 8067657, doi: 10.1155/2020/8067657.

29. Pluháček F. Fyziologická optika: Vliv zornice na optické zobrazení v oku, zraková ostrost. Přednáška k předmětu Fyziologická optika. Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Olomouc; 2019.
30. Čermáková S, Skorkovská Š. Aberace vyššího řádu u zdravé populace nad 40 let. Česká a slovenská oftalmologie. 2009;6:e223.
31. Vyšín I, Říha J. Paprsková a vlnová optika. Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci. Olomouc; 2012.
32. Rozsival P a kol. Trendy soudobé oftalmologie – svazek 5. 1. vyd. Praha: Galén, 2008.
33. Efron N. Contact lens practice. 2. vyd. Oxford: Butterworth Heinemann Elsevier, 2010.
34. Franklin A, Franklin N. Soft lens fitting. 1. vyd. Oxford: Butterworth Heinemann Elsevier, 2007.
35. Benjamin WJ, Borish IM. Borish's Clinical Refraction. 2. vyd. Oxford: Butterworth Heinemann Elsevier, 2006.
36. Papadatou E, Del Águila-Carrasco AJ, Esteve-Taboada JJ, Madrid-Costa D, Cerviño-Expósito A. Objective assessment of the effect of pupil size upon the power distribution of multifocal contact lenses. Int J Ophthalmol. 2017; 10(1):103-108. doi: 10.18240/ijo.2017.01.17.
37. Park HM, Ryu YU, Park IJ, Chu BS. Can Tinted Lenses Be Used to Manipulate Pupil Size and Visual Performance When Wearing Multifocal Contact Lenses? Clin Optom (Auckl). 2020;12:27-35. doi: 10.2147/OPTO.S245715.