

PŘÍRODOVĚDĚCKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI

KATEDRA OPTIKY

# NOČNÍ MYOPIE

Bakalářská práce

VYPRACOVAL:  
David Chytil  
obor 5345R008 OPTOMETRIE  
studijní rok 2013/2014

VEDOUcí BAKALÁŘSKÉ  
PRÁCE:  
Mgr. Lucie Machýčková

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vytvořil samostatně pod vedením Mgr. Lucie Machýčkové s použitím literatury, kterou uvádím v seznamu.

V Olomouci dne

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucí práce Mgr. Lucii Machýčkové za cenné rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

# Obsah

ÚVOD .....	6
1. DEFINICE A KLASIFIKACE MYOPIE .....	7
1.1. SYMPTOMY MYOPIE.....	7
1.2. ETIOLOGIE MYOPIE .....	8
1.3. KLASIFIKACE MYOPIE .....	9
1.3.1. DĚLENÍ MYOPIE DLE PŮVODU.....	9
1.3.2. DĚLENÍ MYOPIE DLE DIOPTRICKÉ HODNOTY .....	10
1.3.3. DĚLENÍ MYOPIE DLE PROGRESE.....	10
1.3.4. DALŠÍ TYPY MYOPIE .....	12
1.4. MOŽNOSTI KOREKCE MYOPIE .....	12
2. NOČNÍ MYOPIE.....	14
2.1. SÍTNICE .....	14
2.2. ADAPTACE NA TMU.....	17
2.3. TEORIE BAREVNÉHO VIDĚNÍ .....	19
2.4. SYMPTOMY NOČNÍ MYOPIE .....	21
2.5. PŘÍČINY VZNIKU NOČNÍ MYOPIE.....	21
2.5.1. ABERACE OVLIVŇUJÍCÍ VZNIK NOČNÍ MYOPIE.....	22
2.5.2. PURKYŇŮV JEV.....	23
2.5.3. AKOMODACE A JEJÍ PORUCHY PŘI SNÍŽENÉ SVĚTELNÉ INTENZITĚ	24
2.6. HISTORICKÝ NÁHLED NA NOČNÍ MYOPII.....	24
3. MOŽNOSTI VYŠETŘENÍ NOČNÍ MYOPIE .....	27
3.1. ANAMNÉZA.....	27
3.2. OBJEKTIVNÍ REFRAKCE.....	27
3.3. SUBJEKTIVNÍ REFRAKCE .....	28
3.4. BINOKULÁRNÍ SCREENING.....	33
3.5. WHITE POINT TEST (BÍLÝ BODOVÝ TEST).....	34
3.6. PŘÍSTROJOVÉ MĚŘENÍ NOČNÍ MYOPIE .....	35
4. MOŽNOSTI KOREKCE NOČNÍ MYOPIE .....	42
5. VZTAH MEZI JEDNOTLIVÝMI TYPY MYOPIÍ .....	44
5.1. PŘÍSTROJOVÁ MYOPIE.....	44
5.2. MYOPIE PRÁZDNÉHO POLE (EMPTY FIELD MYOPIA) .....	46
5.3. VZÁJEMNÉ FAKTORY MYOPIÍ.....	48
ZÁVĚR .....	50
LITERATURA A JINÉ ZDROJE.....	52

SEZNAM OBRÁZKŮ .....	55
SEZNAM TABULEK.....	56

# ÚVOD

Noční myopie je jeden z nejznámějších fenoménů optometrie, spousta lidí ji však zná pouze jako pojem, málo kdo ví, jaké příčiny mohou stát za jejím vznikem, ale především jak pomoci lidem, kteří trpí noční myopií a mají problém se zrakem v podmínkách se sníženou světelnou intenzitou. Obzvláště rizikovou skupinou jsou lidé, kteří vykonávají své profese v podmínkách se sníženým jasem, např. řidiči z povolání nebo piloti, kdy rychlost a pohotovost jejich reakcí může mnohdy být otázkou života a smrti.

Na úvod své práce bych se chtěl zabývat všeobecně sférickou refrakční vadou myopií, abychom nabyli potřebné znalosti a vědomosti jako základ pro další problematiku, protože noční myopie je speciálním případem klasické myopie. V další části této práce se budu zabývat strukturou oka přijímajícího světelné zrakové stimuly a popisu procesů a mechanismů, ke kterým dochází při adaptaci lidského zraku na tmavé prostředí. Střední pasáž je věnovaná popisu příčinám vzniku a obtížím spjatých s výskytem noční myopie, zásadám a postupům, které je třeba provést při měření této vady. V následující kapitole bych chtěl čtenářům nabídnout možnosti zhotovení korekční pomůcky a doporučení, která nám mohou usnadnit jízdu ve špatných světelných podmínkách. V závěru práce se budu zabývat charakteristikou a popisem dalších typů myopie, jako je přístrojová myopie a myopie prázdného pole (letecká) a vzájemným srovnáním těchto speciálních druhů myopií s noční myopií.

Cílem této práce je vytvořit „manuál“, který by nám radil jak postupovat, když se v praxi potkáme s člověkem postiženým noční myopií. Chtěl bych, aby po přečtení tohoto návodu byly všem zřejmé příčiny a mechanismy zodpovědné za vznik tohoto jevu. Ale hlavně abychom dokázali prakticky pomoc osobě vykazující symptomy tohoto postižení. Ostatně tohle je jedním z úkolů optometrie: snaha pomoci druhým lidem.

# 1.DEFINICE A KLASIFIKACE MYOPIE

Myopie neboli krátkozrakost je sférická refrakční vada, o které mluvíme, když rovnoběžné paprsky vstupují do neakomodovaného myopického oka a po průchodu očními optickými medii se lámou do ohniska, které se nachází před sítnicí. Předměty umístěné v nekonečnu vytvoří ostrý obraz v oblasti ohniska, ale v prostoru sítnici se vytvoří kužel divergentních paprsků, které vytvářejí neostrý a zvětšený sítnicový obraz vzdáleného objektu. [14, 16, 17]



Obrázek 1 Paprsky dopadající na sítnici emetropického a myopického oka [32, upraveno]

## 1.1. SYMPTOMY MYOPIE

Hlavním příznakem myopického oka je vnímání rozmazaného vidění do dálky, ale ostrého vidění do blízka. U nekorigovaných myopů dochází k přivírání očí do dálky. Odtud také pochází název myopie z řeckého názvu *myein*, znamená uzavřít, a *ops*, znamená oko. Z důvodu snahy navodit stenopeické vidění, a tím zmenšit rozptylový kroužek na sítnici. Myopické oko v klidovém stavu může ostře vidět pouze předměty umístěné ve vzdáleném bodě (*punctum remotum*). Blízký bod leží blíže oku než u emetropického oka, a proto při pozorování předmětů ležících mezi dalekým bodem R (*punctum remotum*) a okem je nutná nižší akomodace než u emetropa. Uzlový bod myopického oka leží ve větší vzdálenosti od sítnice, než je tomu v případě oka emetropického. [14, 16, 17]

Rozostření je částečně kompenzováno větším sítnicovým obrazem. Větší sítnicový obraz je také vysvětlením, proč je zachována dobrá zraková ostrost do blízka i u vyšších forem myopie. [14, 16, 17]

Nekorigovaný myop používá akomodaci mnohem méně než emetrop, což může způsobit její následné oslabení. U axiální myopie (myopie způsobená nesprávnou délkou oka) vyššího stupně se často vyskytuje exoftalmus (oko vystupující z očníce).

Myopické oko má slaběji vyvinutý ciliární sval a větší průměr zornice z důvodu menšího používání akomodace oproti oku emetropickému. [14, 16, 17]

Bez korekce se u myopů vyskytuje exoforie do blízka, která je způsobena nedostatečným příspěvkem akomodace ke konvergenci. U progresivních forem přibývá ztenčení skléry, zkapalnění sklivce a vznik atrofií v okolí papily. Astenopické potíže u již rozvinutých forem myopie nebývají časté, ale jejich výskyt může signalizovat počátek vzniku nové vady. [14, 16, 17]

## **1.2. ETIOLOGIE MYOPIE**

Existuje mnoho teorií, které se pokouší vysvětlit příčinu vzniku krátkozrakosti. I přes toto úsilí vynaložené při nejrůznějších výzkumech se dodnes nepodařilo přijít na přesnou příčinu vzniku myopie. Pravděpodobně neexistuje jediný faktor, který by byl zodpovědný za vývoj krátkozrakosti, ale při vzniku hraje roli více činitelů. [14, 18]

Za nejpravděpodobnější činitele se považují: zděděné dispozice hlavně u vyšších forem, zvětšení předozadní délky oka, s věkem přicházející změna indexu lomu optických médií a změna zakřivení refrakčních ploch. Mezi další možné faktory se dá také považovat vliv přizpůsobení na zvyšující se požadavky při práci do blízka při používání moderních technologií, jako jsou počítače, notebooky, tablety a mobilní telefony, které nám přináší moderní doba. [14, 18]

Globálně krátkozrakost postihuje 25 až 35 % dospělé populace v USA, Evropě a rozvojových zemích. V některých částech Asie je to až 40 % populace. Někteří vědci dochází k názoru, že je vyšší podíl výskytu myopie u žen než u mužů. [27]

### **Vliv dědičnosti na vznik myopie**

Mezi oftalmology a očními specialisty se vedou neustále diskuse o vlivu genetiky na vývoj krátkozrakosti. V některých publikacích existuje obecná shoda, že na výskyt patologické myopie mají větší vliv dědičné než environmentální faktory. Někteří odborníci se domnívají, že vysoká myopie (nad -6 D) je více determinována genetickými faktory než nízká myopie a jejich genetické profily se navzájem liší. Jiní vědci vysvětlují úlohu dědičnosti u krátkozrakosti jako citlivost lidského oka na velmi malé změny v jeho anatomické struktuře. Malé změny od přirozené fyziologické stavby



způsobují příznačné refrakční vady, je tedy obtížné stanovit přesný genetický nebo environmentální faktor jako příčinu. [26]

Od roku 1992 došlo k lokalizaci genetických markerů, které mohou být spjaty s geny způsobující myopii, na chromozomech 1, 2, 12 a 18. Na krátkém rameni chromozomu 2 byla taková informace nalezena u lidí vysoce krátkozrakých. Informace o nízké krátkozrakosti byly objeveny na krátkém rameni chromozomu 1. Není však známo, zda tyto markery ovlivňují strukturu samotného oka, anebo jen citlivost na environmentální faktory. Gen způsobující familiární výskyt vysoké krátkozrakosti byl prozkoumán na lidském chromozomu 18. Totožný gen, který má vliv na vznik vysoké myopie, byl objeven na chromozomu 12. [26]

Je obvyklé, že v rodinách, u nichž se krátkozrakost vyskytuje, je velmi vysoká pravděpodobnost vzniku této vady i u potomků. Jen 6 až 15 % dětí v populaci pochází z rodiny, ve které nemá myopii žádný z rodičů. V rodinách, u kterých je pouze jeden z rodičů krátkozraký, je 23 až 40% pravděpodobnost výskytu této vady u dětí. Pokud jsou oba z rodičů myopové, existuje potom 33 až 60% šance, že touto vadou budou trpět i jejich děti. Koincidence patologické myopie u jednovaječných dvojčat dosahuje 100 %, u dizygotních jen 25 %. Není však objasněné, zda myopické geny jsou autozomálně dominantní, či recesivní. [26]

### 1.3. KLASIFIKACE MYOPIE

Myopii lze dělit dle několika hledisek, které jsou popsány níže.

#### 1.3.1. DĚLENÍ MYOPIE DLE PŮVODU

**Axiální myopie** se vyskytuje nejčastěji. Je způsobena nepřiměřeně dlouhou předozadní délkou očního bulbu, jelikož růst oka se v procesu emetropizace včas nezastavil. Prodloužení bulbu o 1 mm vyvolá myopii o dioptrické hodnotě přibližně -3 D. [14, 18]

**Refrakční (kurvatorní) myopie** vzniká v důsledku nepřiměřeně vysoké lomivosti optických médií. Při zmenšení poloměru křivosti rohovky o 1 mm nastane myopizace o přibližné optické mohutnosti -6 D. Ke zmenšení poloměru zakřivení dochází při keratokonu nebo jiných onemocnění rohovky a čočky. Keratokonus je nadměrné vyklenutí a ztenčení centrální části čočky. Postižení bývá většinou oboustranné, i když

v různém stupni vývoje. Změna zakřivení se projeví mimo zvyšující se myopii také nepravidelným astigmatismem. [14, 18]

Kurvatorní myopie může být také způsobena zvětšením lentikulárního (čočkového) zakřivení. To však vzniká jen ojediněle. Dochází k němu u zadního a předního lentikonu vlivem zobtnání čočky v důsledku vysoké hyperglykemie, také při uvolnění napětí závěsného aparátu čočky vlivem poranění nebo při spasmu akomodace. [14, 18]

**Indexová myopie** je způsobena změnou indexu lomu očních médií. Může nastat například vlivem diabetu. Jeho působením dochází ke kolísání hladiny cukru v krvi, což se projevuje změnou indexu lomu jednotlivých optických očních médií a dochází ke snížení indexu lomu korových čočkových hmot. Indexová myopie může vzniknout také při šedém zákalu, kdy dojde ke zvýšení lomivosti jádra čočky. Indexovou myopií způsobuje i vysoký index lomu komorové vody a nízký index lomu sklivce. [14, 18]

### 1.3.2. DĚLENÍ MYOPIE DLE DIOPTRICKÉ HODNOTY

Myopii dle dioptrické hodnoty můžeme dělit

- **lehká** (*myopia simplex*) od -0,25 D až -3 D
- **střední** (*myopia modica*) od -3,25 D až -6 D
- **vysoká** (*myopia gravis*) od -6,25 D až -10 D
- **těžká** (*myopia degenerativa*) nad -10 D

[15]

### 1.3.3. DĚLENÍ MYOPIE DLE PROGRESE

Existují dva typy myopie dle způsobu rozvoje – stacionární myopie a těžká neboli progresivní myopie.

**Stacionární** myopie není doprovázena degenerativními změnami a zvyšuje se pouze během doby růstu člověka, které končí obvykle 20. rokem života. Nejčastěji dochází k výskytu axiální myopie, jenž se objevuje ve školním věku, a proto je velmi často také nazývána školní myopií. [15, 16]

Je spojena s prodlužováním oka začínajícím většinou v 6. až 7. roku života před začátkem puberty. Progrese obvykle není velká (0,25 D až 0,5 D/rok), ve věku 8 až 11 let oko doroste do emetrie, ale protože se růst nezastaví a oko roste dál,

vzniká myopie, jejíž hodnota se ustálí s ukončením tělesného vzrůstu. Mezi počáteční příznaky u dětí patří mhouření očí, aby lépe viděly na tabuli. Hodnotami obvykle spadá do lehké až střední myopie. Vzácně vzniká pozdní myopie, kdy se oko stává myopickým až kolem 18. roku života, ale jelikož se růst brzy zastaví, nedosahuje tento typ vysokých hodnot. [15, 16]

Stacionární myopie může být také vrozená (*myopia congenitalis*). Často bývá jednostranná a projevuje se již v prvním roce života. Dosahuje hodnot až -10 D a více, ale zpravidla se už nezhoršuje. Častěji se vyskytuje u dětí, které měly problém spojený s předčasným porodem a následnou retinopatií nedonošených. [15, 16]

**Těžká (progresivní) myopie** patří mezi závažné oční onemocnění, jejíž progresivní vývoj je dlouhodobý a vyvíjí se, oko roste dál i po 20. roce, dochází k velkému nárůstu refrakční vady (1 D až 4 D/rok), stabilizace nastává okolo 30. roku. Vlivem progresu vznikají degenerativní změny cévnatky, sítnice a sklivce, tkáně nezvládají následovat prodlužující se skléru. [15, 16]

Degenerativní změny se objevují po dobu celého života. Jejich progresu se většinou ukáže až v dospělém věku. Cévnatka a sítnice se stává prořídlou. U zadního pólu často vznikají atrofická ložiska. Těžké degenerativní změny vedou ke vzniku skotomů a až k náhlému zhroucení centrálního vidění, které je způsobeno krvácením do makuly, což je počátečním příznakem myopické makulární degenerace. Tato degenerace je způsobena jizevnatými pochody a pigmentovou proliferací (novotvoření pigmentových buněk). [15, 16]

Degenerace sklivce vede k pohybu opákných částic ve sklivcovém prostoru. Tyto jemné částice způsobují v myopickém oku na sítnici neobvykle veliký stín, který má rušivý efekt. Tyto degenerativní změny sklivce jsou způsobeny jeho zkapalněním. To spočívá v rozložení jeho vláknité struktury, tím nastává přeměna gelové substance v tekutou a dochází k jeho pohybu. Tento proces přeměny sklivce se nazývá retrakce sklivce. Degenerativními změnami sítnice a zkapalněním sklivce vzniká riziko vytvoření sítnicové trhliny a hrozí rhytmogenní odchlípení sítnice. Vysoká myopie je až ve 25 % případů spjata s výskytem glaukomu. [15, 16]

### 1.3.4. DALŠÍ TYPY MYOPIE

Mezi další typy myopie patří

- noční myopie
- přístrojová myopie
- myopie prázdného pole (letecká)

Tyto typy myopií budou blíže popsány v následujících kapitolách.

## 1.4. MOŽNOSTI KOREKCE MYOPIE

Všeobecně existuje pravidlo, že pacientovi s myopií předepisujeme korekci s nejslabší rozptylnou čočkou, se kterou již vidí ostře a přečte nejmenší řádek dálkového optotypu z předepsané vzdálenosti. [27]

U mladých pacientů s nízkou a střední myopií, kteří ještě netrpí vetchozrakostí, předepisujeme plnou ve smyslu subjektivně stanovenou korekci a doporučujeme její permanentní nošení. Pacienta uvědomíme, že na čtení a psaní brýle nejsou nezbytné, ale jejich používáním dochází k navození správné pracovní vzdálenosti. Používáním správné korekce do blízka napomáhá udržet ciliární sval ve správném napětí, a tím být akceschopný. [16, 27]

Podle některého druhu literatury jako např. Kraus a kol. [16] se uvádí, že u dospělých pacientů, kteří mají svou první myopickou korekci, je nutné očekávat slabší akomodační schopnost. Je-li třeba k jejich profesi či zálibám dlouhodobý pohled do blízka, je vhodné předepsat pacientovi mírně slabší korekci. Stejně tak u pacientů s vysokou myopií nebývá často plná korekce tolerována. Záležitost podkorigování však bývá striktně individuální, vždy jde o to, aby pokud možno bylo dosaženo nejlepší zrakové ostrosti a komfortního pocitu při pohledu přes korekční pomůcku. Z toho důvodu se u každého pacienta míra kompromisu nachází jinde a nedá se stanovit všeobecné pravidlo. [16, 27]

U myopů bývá překorigování vnímáno velmi záporně, protože zapojení akomodace do dálky není myopům příliš vlastní. U dětí se stanovuje plná korekce, včetně cylindrické korekce. Vzhledem k rychlé progresi myopie je nutné stanovit každých 6 měsíců kontrolní refrakci. Bývá dobré poučit rodiče o přirozené progresi této vady,

jejíž rychlost nesouvisí s nošením či nenošením brýlové korekce. Mnoho rodičů považuje totiž předpis silnějších brýlí za důvod dalšího zhoršení vady. [16, 27]

Při některých vážných případech těžké degenerativní myopie nedokáže ani správná korekce zlepšit zrakovou ostrost. Vizus do blízka je možné zlepšit dalekohledovými brýlemi nebo umístěním požadovaného textu do oblasti *punctum remotum*. [16, 27]



Obrázek 2 Vjem obrazu myopickým okem

Vlevo: obraz vnímaný myopickým okem se správnou korekcí -3 D; vpravo: obraz vnímaný myopickým okem bez korekce při myopii -3 D

### Možnosti řešení korekce

Po zjištění správné dioptrické hodnoty můžeme korigovat pomocí:

- dioptrických brýlí
- kontaktních čoček
- chirurgické řešení

## 2.NOČNÍ MYOPIE

Už po dlouhá staletí je známo, že oko za zhoršených světelných podmínek vidí hůře, jelikož dochází k posunu ohniskové sítnicové vzdálenosti k myopii a oko myopizuje. Během několika posledních desetiletí proběhla řada výzkumů a testů se snahou přijít na příčinu vzniku a způsoby korekce tohoto jevu. Tyto výzkumy nám přinesly mnohdy protichůdné výsledky a dodnes nám zcela neobjasnily, co konkrétně může za vznik noční myopie. Předpokládá se, že není zodpovědný jediný faktor, ale jejich vzájemná kombinace. Víme, že veškeré zrakové stimuly po průchodu očními médii jsou vnímány a zpracovávány na sítnici, odkud putují do mozkové části. Pro lepší pochopení je tedy v této kapitole nejprve uveden popis sítnice. [13, 25]

### 2.1. SÍTNICE

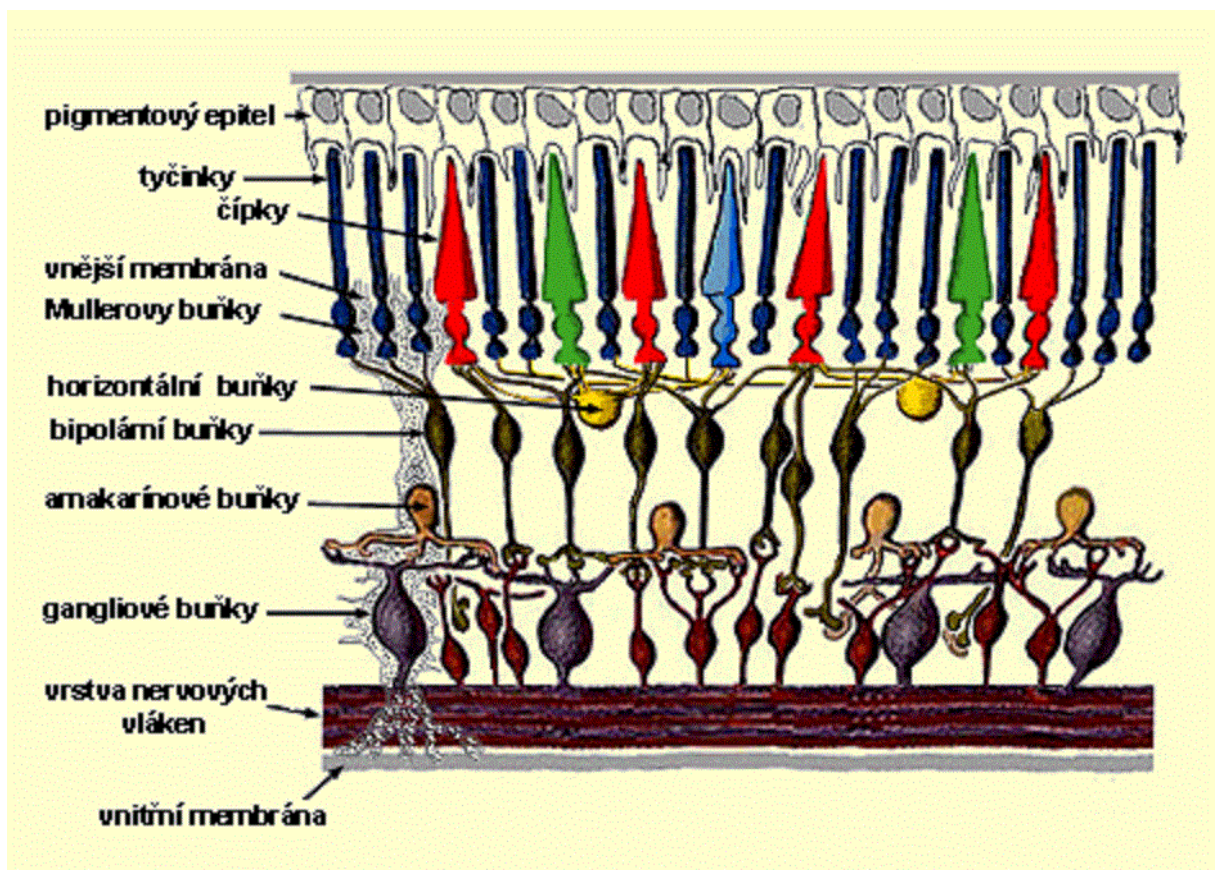
Sítnice (*retina*) je průhledná blanka o šířce 0,1 až 0,25 mm, která tvoří vnitřní vrstvu stěny oka. Její zadní část (*pars optica*) obsahuje světločivé buňky - tyčinky a čípky. Přední část sítnice pokrývající vnitřní stranu řasnatého tělesa a zadní plochu duhovky (*pars caeca retinae*) je slepá. Obě tyto části od sebe odděluje zubatá linie (*ora serrata*). Sítnice volně přiléhá k cévnatce a je fixována jen k okraji papily a k *ora serrata*. Na sítnici rozeznáváme dvě hlavní vrstvy - zevní a vnitřní. [24]

Zevní vrstvu tvoří pigmentový epitel a jeho bazální membrána (Bruchova membrána). Pigmentový epitel se nachází na *choriokapiláris* cévnatky a vytváří důležité rozhraní, které zajišťuje a kontroluje látkovou výměnu mezi *choriokapilaris* a zadními vrstvami sítnice, které se touto cestou vyživují. [24]

Vnitřní vrstva (*neuroretina*) se vyvinula z vnitřního listu embryonálního očního pohárku. Lze ji rozdělit do tří částí. První je tvořena světločivými buňkami (tyčinky a čípky), které leží na pigmentovém epitelu sítnice, jejichž vodivé výběžky směřují dovnitř a napojují se na dendrity malých bipolárních buněk, které dohromady tvoří *ganglion retinae*. Druhá část se skládá z bipolárních buněk. Krátké neurity bipolárních buněk se připojují na dendrity velkých multipolárních gangliových buněk, které ve svém celku představují *ganglion opticum*. Třetí část tvoří gangliové buňky, jejichž

vlákna jsou nejvnitřnější částí sítnice. Ty směřují k papile, kde se sbíhají a umožňují vznik druhému hlavovému nervu (*n. Optici*) a dále pokračují přes *chiasma opticum*, *tractus opticus* a směřují k zevnímu kolínkovitému tělísku (*corpus geniculatum laterale*), kde je primární zraková dráha ukončena. [24]

Kromě vertikálního spojení tvořeného po ose tyčinky a čípky - bipolární buňky - gangliové buňky, existuje mezi nimi i horizontální spojení, které zprostředkovávají horizontální a amakrinové buňky. Velký význam v struktuře sítnice mají podpůrné Mullerovy buňky, které se odvozují z glie. Jádra těchto buněk jsou obvykle uložena mezi bipolárními buňkami. Jejich výběžky prostupují napříč všemi vrstvami sítnice a jejich konce výběžků se spojují u zevní a vnitřní hraniční membrány (*lamina limitans externa et interna*). [24]



Obrázek 3 Struktura sítnice [3]

## **Fotoreceptory**

V lidské sítnici se vyskytuje kolem 5 milionů čípků a 140 milionů tyčinek. Stárnutím se počet čípků nemění, ale hustota tyčinek klesá o 30 %. Tyčinky jsou specializované pro vnímání světelných rozdílů i za velmi nízké hladiny osvětlení, kdežto funkce čípků je za jasného světla. Tyčinky mají velkou citlivost hlavně v modrozelené oblasti. Fotoreceptory se od sebe odlišují speciálními rysy, jako je tvar vnitřních a zevních segmentů, umístění jádra a tvar synaptických zakončení. Všechny fotoreceptory osahují zevní segment, ve kterém je uložen zrakový pigment a vnitřní segment, v němž probíhá metabolický proces. [17]

### **Žlutá skvrna (*macula lutea*)**

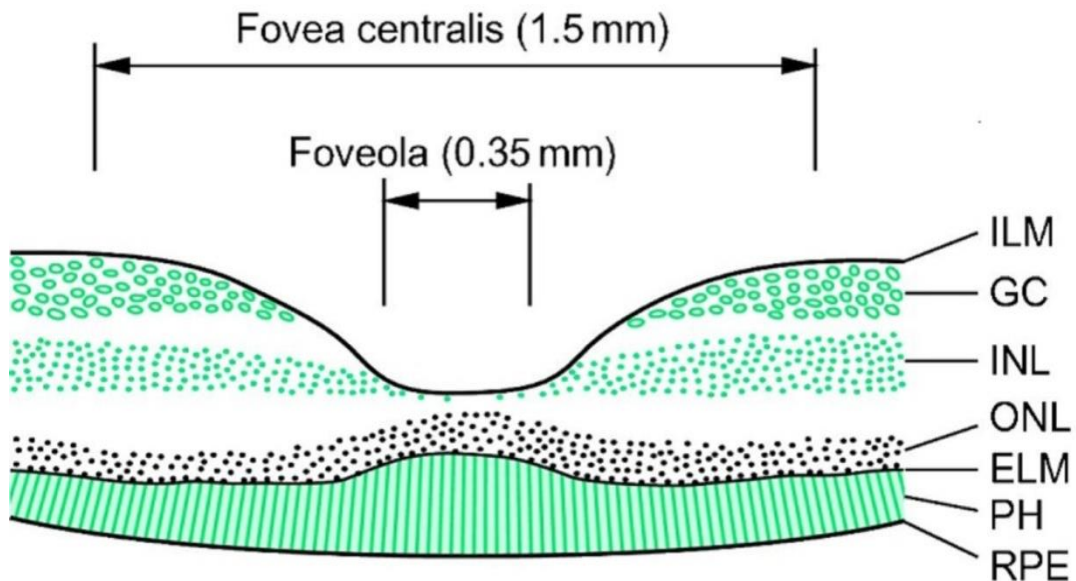
Centrální oblasti sítnice říkáme žlutá skvrna kvůli žlutému pigmentu xantofylu, který se v této oblasti nachází. Makula se ve své střední části prohlubuje ve *foveu centralis* o průměru 1,5 mm se dnem tohoto prohloubení. To nazýváme *foveola*, které je ze všech částí sítnice nejtenčí a má průměr 0,35 mm a obsahuje především čípky, které zde mají své bipolární a gangliové buňky ležící mírně odkloněné stranou. Hustota rozložení čípků je tedy největší ve *fovee*, ve které se vyskytuje přibližně 10 % všech čípků sítnice. V *makule* jejich hustota rapidně klesá, za jejími hranicemi je relativně konstantní, ale asymetrická. Vyšší je nazálně než temporálně. Světelné podmínky dopadající v této oblasti neprocházejí napříč všemi vrstvami sítnice, jako tomu je v ostatních částech *retiny*, ale dopadají přímo na čípky. Z důvodu této anatomické struktury je *foveola centralis* místem nejostřejšího vidění. [24]

*Foveola* obsahuje asi 115 000 čípků, ale vlastní centrální vidění s nejlepší rozlišovací schopností zprostředkovává centrální svazek s pouhými 2 500 čípků. Směrem k periférii je každá bipolární a gangliová buňka napojena na část se stále větším množstvím tyčinek a čípků a tím směrem do periferie rychle klesá rozlišovací schopnost sítnice. [24]

Výživu sítnice nám zprostředkovává choroidální a sítnicový oběh, kde cévnatka zajišťuje výživu pigmentového epitelu a sensorického epitelu. Bipolární a gangliové buňky jsou extrémně náročné na zásobení kyslíkem, a proto jsou živiny přiváděny přímo z kapilárního řečiště sítnice. V sítnicovém oběhu nejsou přítomny kolaterály, tím



pádem uzavřením některé z větví sítnicových arterií vede k okamžité ztrátě schopnosti funkce v oblasti, kterou tato větev zásobuje. [24]



Obrázek 4 Struktura fovey centralis [10]

GC (gangliové buňky) a INL (bipolární, amakrimní a horizontální buňky) jsou posunuty na okraj prohlubně. ILM (vnitřní hraniční membrána), ONL (vnější nukleární vrstva - jádra tyčinek a čípků), PH (fotoreceptory), ELM (vnější hraniční membrána), RPE (retinální pigmentový epitel)

## 2.2. ADAPTACE NA TMU

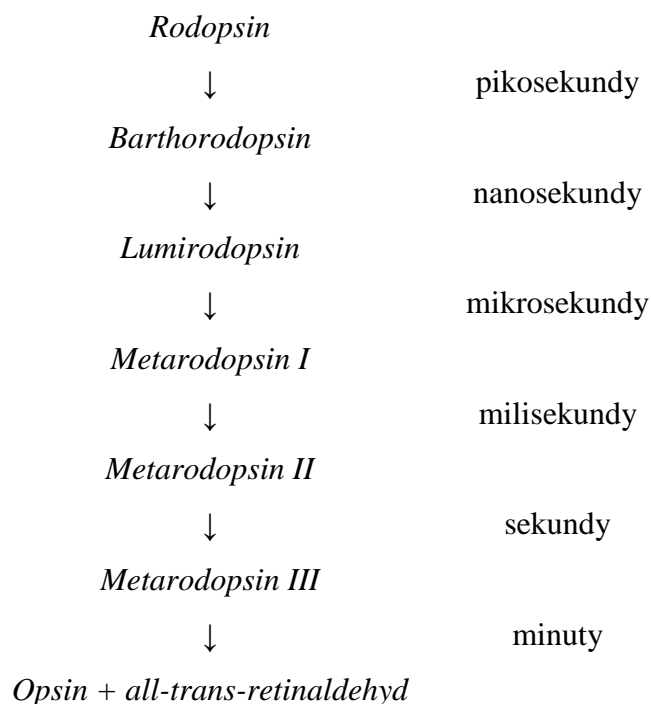
Při přechodu z osvětleného prostředí do tmavé místnosti nejsme schopni rozlišit detaily prostředí a mít plnou prostorovou orientaci. Schopnost vidět a rozlišovat zrakové podněty se nám zlepšuje během jedné hodiny. Tomuto jevu říkáme zraková adaptace na tmu. Budeme-li chtít vyjádřit závislost prahového vnímání sítnice na času, tak dostaneme dvoufázovou křivku adaptace na tmu (obr. 5). Adaptační křivka je složena ze dvou částí, v první fázi se citlivost sítnice zvyšuje až 100× a říkáme ji rychlá fáze nebo **čipková** adaptace sítnice. Druhá část křivky je pozvolnější, trvá až 45 minut, během kterých se citlivost sítnice na světelné podněty zvýší až 100 000×. Této fázi křivky se říká **tyčinková**. Předpokladem adaptace na tmu je syntéza rodopsinu ve světločivných buňkách sítnice. [17, 30]



Obrázek 5 Průběh adaptace na tmou pro tyčinky a čípky [7]

V zevním segmentu fotoreceptorů dochází k přeměně světelné energie na elektrický signál. V discích zevního segmentu se nachází pigmenty. Tyčinky jsou citlivé na světlo, protože jejich součástí je pigment *rodopsin*, který je schopný pohltit fotony. Rodopsin (zrková purpur) v discích je uspořádán jako jedna molekulární vrstva, která se skládá ze dvou částí. První je světlo absorbující *chromofor vitamín A aldehyd*, který se nazývá *retinal*. Chemicky je příbuzný s vitamínem A. Druhou část rodopsinu tvoří bílkovina jménem *opsin*. V čípkových buňkách jsou zrkové pigmenty, také složené ze dvou částí. Světlo absorbující molekula je podobná *retinalu*. K obnově zevního segmentu dochází během 10 dnů. [17, 30]

V regenerovaném stavu se *retynalaldehyd* vyskytuje v 11-cis formě, kdy jeho struktura přesně zapadá do *opsinové* části molekuly. Po absorpci světelných paprsků se přemění *11-cis retinal* a vznikne *prelumirodopsin*, který se následně mění na *lumirodopsin*, dále *metarodopsin I* a *metarodopsin II*. V závěrečné fázi dochází k hydrolyzaci *rodopsinu* na *transformu retinalu* a *opsinu*. Regenerace *rodopsinu* z vitamínu A a *opsinu* je podstatou adaptace na tmou. V první fázi dochází ke změně transformy retinalu na *cis formu* vitamínu A. V další fázi dochází ke změně vitamínu na aldehyd a posléze se naváže na *opsin*. Tento děj je energeticky náročný a vyžaduje energii ve formě *adenosintrifosfátu*. [17, 30]

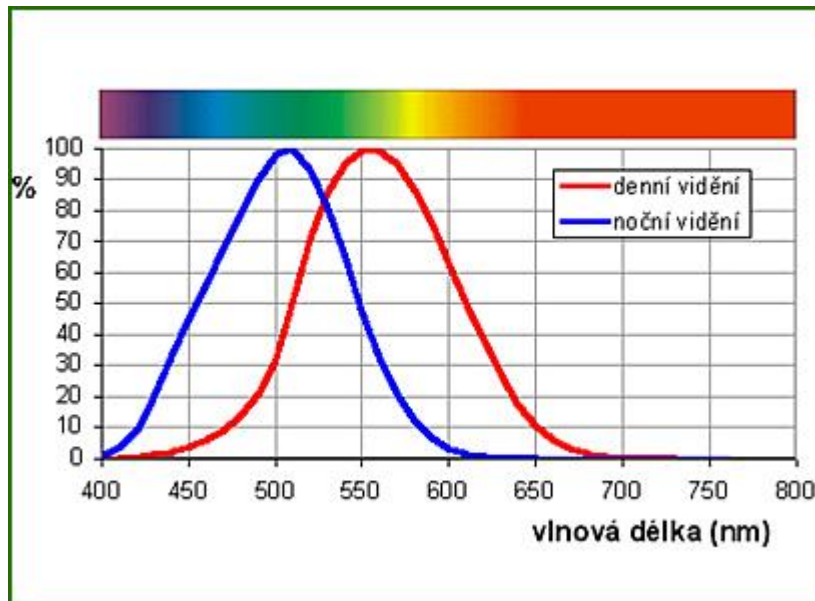


Obrázek 6 Štěpení rodopsinu včetně přibližného časového vyjádření [17]

## 2.3. TEORIE BAREVNÉHO VIDĚNÍ

Lidské oko vnímá světelné paprsky v oblasti spektra 400 až 760 nm. Paprsky kratší než 400 nm za běžné situace jsou pohlcovány čočkou. Při testování citlivosti oka na různé složky světelného spektra za fotopických podmínek (ve stavu adaptovaném na světlo) a za skotopických podmínek (ve stavu adaptovaném na tmu), dostaneme dvě rozdílné křivky citlivosti. [1, 30]

Maximum fotopické čípkové citlivosti se nachází při 555 nm (zelenožlutá oblast spektra) a skotopické maximum citlivosti se vyskytuje u kratších vln o vlnové délce 507 nm (modrozelená oblast spektra). Tyčinky nejsou citlivé na červenou barvu (oblast 650 až 750 nm). [1, 30]



Obrázek 7 Spektrální citlivost oka při fotopickém (denním) i skotopickém (nočním) vidění [28]

V lidské sítnici byly objeveny tři čípkové pigmenty s absorpčním maximem 445, 535 a 570 nm, které náležejí modrému, zelenému a žlutému pigmentu. Lidský zrak je schopný rozeznat změnu vlnové délky o 1 nm. Schopnost barevného vidění se vyskytuje pouze u čípků, ty k tomu ale potřebují určitou hladinu osvětlení. [1,30]

Při nižší úrovni osvětlení oko barvy nevnímá, jedná se tak o skotopické pásmo vidění. Barevné vidění probíhá ve fotopickém pásmu. Intenzitě osvětlení, kdy jsou funkční tyčinky i čípky, se říká mezopické pásmo. Za fotopických podmínek je zrak nejcitlivější na žlutozelenou barvu, které náleží vlnová délka 555 nm. U skotopického vidění je největší citlivost při 507 nm, této vlnové délce připadá modrozelená barva. [1,30]



Obrázek 8 Citlivost lidského oka na barvy [4]

## 2.4. SYMPTOMY NOČNÍ MYOPIE

Hlavním příznakem noční myopie je neostré vidění do dálky a snížená zraková ostrost v podmínkách s nízkou světelnou intenzitou a při přechodu ze světlého prostředí do prostředí se sníženou světelnou intenzitou i přes nošení správně změřené korekce do dálky. Vnímaný obraz se nám jeví rozmazaný, zešedlý a špatně jsou vnímány detaily předmětu. V periférii pozorovaných předmětů je vidět pouze přibližný obrys, ale nikoliv přesně ohraničený tvar. Okraj předmětu se jeví rozostřený a mlhavý. Nejméně čitelné bývají kulaté, kruhové, nebo oválné předměty jako pouliční osvětlení, silniční ukazatele a reflektory protijedoucích aut. V případě výskytu noční myopie nejenom, že špatně vidíme obrysově tvary, ale z těchto předmětů můžeme vidět vycházet paprsky v různých směrech, které nás mohou oslňovat. [25, 31]

## 2.5. PŘÍČINY VZNIKU NOČNÍ MYOPIE

Fenomén noční myopie vzniká, když se oko stává relativně krátkozraké za podmínek nižšího osvětlení. Nejčastější typ noční krátkozrakosti, se kterým se setkáváme, se vyskytuje v podmínkách nočního osvětlení. Když osvětlení je nižší než  $0,03 \text{ cd/m}^2$  může dojít ke změně dioptrické síly oka a ke vzniku krátkozrakosti. Velikost noční myopie se zdá být velmi variabilní mezi jednotlivci a v různých studiích se hodnoty pohybují od zanedbatelných hodnot, až po  $-4 \text{ D}$ . Průměrné hodnoty se ve většině literatury a studií pohybují kolem  $-0,75 \text{ D}$ , což je významné číslo, které by mělo výrazně snížit kvalitu obrazu. Noční myopie se začíná vyskytovat u zorniček

s průměrem od 2 mm. Mezi základní příčiny vzniku noční myopie se považují sférické aberace a osová chromatické aberace. Další činitelé, kteří se podílí na vzniku tohoto jevu, jsou Purkyňův jev a poruchy akomodace vznikající v tlumeném světle. [25, 31]

### **2.5.1. ABERACE OVLIVŇUJÍCÍ VZNIK NOČNÍ MYOPIE**

Lidské oko je po fyzikálně-optické stránce značně nedokonalé. Projevují se na něm všechny vady jednoduchého nekorigovaného čočkového systému. Avšak vlivem fyziologické a psychické kompenzace vnímáme prve nedokonalý sítnicový obraz jako ostrý a přesný. Je to zejména zásluhou fyziologického kontrastu, schopnosti akomodace, adaptace a říze. Tato skutečnost je však snížena při nižší intenzitě světla. [1]

#### **Difrakce světla**

Při průchodu světelné vlny prostorem okrajové vlny vykazují tendenci rozbíhat se. Tato skutečnost se obzvlášť projevuje u úzkých vln, např. procházejících zornicí. Na sítnici se z tohoto důvodu neobjevuje bodové zobrazení předmětu, nýbrž řada koncentrických kruhů světla s jasnou skvrnou v centru. Jestliže je průměr zorničky 2 mm, tak průměr této skvrny dosahuje 0,01 mm. Tato vlastnost světla nám vymezuje přesnost sítnicových obrazů bez ohledu na dokonalost optického systému. [1]

#### **Chromatické aberace**

Bílé světlo se skládá z paprsků s rozdílnou vlnovou délkou. Chromatické aberace jsou založeny na skutečnosti, že světelné paprsky krátkovlnné se lomí více než dlouhovlnné. Po lomu bílého světla je oko emetropické pro paprsky žlutého světla, myopické pro paprsky modrého světla a hypermetropické pro paprsky červeného světla. Díky této skutečnosti ohnisko fialových paprsků leží o 0,6 mm blíže rohovce než ohnisko červených paprsků. Na základě těchto skutečností nelze dosáhnout toho, aby se v oku bílý bod zobrazil jako bílý bod, ale vzniká barevná vada polohy a barevná vada velikosti. Barevná vada polohy se projeví tím, že pro daný paprsek se v předmětovém prostoru vytvoří celé spektrum obrazů, které odpovídají jednotlivým vlnovým délkám. Dochází k rozostření obrazu. Barevná vada velikosti vzniká při zobrazení mimoosových bodů předmětu. Velikost obrazu závisí na vlnové délce světla. Vytvořený obraz

předmětu je barevně lemován a obrazy vytvořené paprsky různé vlnové délky mají nestejnou velikost. [1, 29]

Pokud je průměr zornice 2 mm dopadá přibližně 70 % světla na plochu sítnice o průměru 0,005 mm. Přesnost sítnicových obrazů je tak snížena jen nepatrně. Negativní vliv tohoto efektu je snížen faktem, že oko je zaostřeno tak, aby paprsky o největší intenzitě (žluté) tvořily nejvíce ostrý obraz, kdežto barvy s kratší a delší vlnovou délkou a ohniskem tvoří kruhy o poměrně malé intenzitě, takže nedochází k přílišnému rušení obrazu. Nestejná refrakce světelných paprsků nemá za důsledek jen to, že se obrazy tvoří v různé vzdálenosti od rohovky, ale nachází-li se předmět poněkud stranou od optické osy, obrazy tvořené krátkovlnnými paprsky jsou menší než obrazy paprsků dlouhovlnných. Žlutá skvrna, místo nejostřejšího vidění je poněkud stranou od optické osy. Tento fakt má kladný vliv, neboť jsou tím ve značné míře neutralizovány vlivy chromatické aberace. [1, 29]

### **Sférické aberace**

Paprsky paralelní s optickou osou se nesbíhají po lomu na kulové ploše do jednoho ohniska. Okrajové paprsky mají kratší ohniskovou vzdálenost než centrální. Proto i bod, který svítí monochromatickým světlem, nedává vznik bodovému obrazu, nýbrž rozptýlnému kruhu. Sférické aberace čočky v oku jsou docela zanedbatelné. Převážná část je neutralizována tím, že centrální část čočky má vyšší lomivost než ta periferní a částečně dochází k odfiltrování okrajových paprsků úzkou zornicí. Rohovka také není kulovou plochou, ale její periferie je mírně zakřivená než centrum. [1]

### **2.5.2. PURKYŇŮV JEV**

Jestliže dojde ke snížení intenzity světla, dochází postupně ke změně relativní citlivosti oka k barvám. Maximum spektrální citlivosti oka se přitom posouvá směrem ke kratším vlnovým délkám s maximální citlivostí očí pro světlo s vlnovou délkou kolem 507 nm, tato vlnová délka odpovídá modrozelené oblasti barevného spektra. Máme-li tedy vedle sebe dva stejně světlé (nebo stejně tmavé) testové obrazce, jeden v barvě modré a druhý v červené, bude nám připadat při slabém osvětlení jako světlejší obrazec modrý, zatímco při přirozeném denním osvětlení obrazec červený. Při velmi slabém osvětlení nevidíme již barevně vůbec, protože vidíme jen pomocí tyčinek a nikoliv pomocí barvocitlivých čípků. [1, 14]

### 2.5.3. AKOMODACE A JEJÍ PORUCHY PŘI SNÍŽENÉ SVĚTELNÉ INTENZITĚ

Akomodace je schopnost oka měnit optickou mohutnost své dioptrické soustavy pomocí kontrakce ciliárního svalu a uvolnění závěsného aparátu čočky, čímž dojde k zesílení její lomivosti. V době narození je akomodace největší a dosahuje až k 30 D, s věkem ale dochází k jejímu lineárnímu poklesu přibližně o 0,25 D/rok a po 65. roce věku je akomodace téměř nulová. [24]

Akomodace se skládá z několika složek:

- **Tonická** – navozená klidovým *tonusem* (napětí) ciliárního svalu, dosahuje hodnoty + 0,75 D a oko je zaostřeno asi 1,5 až 3 metry před sebe.
- **Konvergenční CA** – navozená konvergencí.
- **Proximální** – navozená odhadem vzdálenosti.
- **Reflexní** – stimulem je rozmazaný obraz.
- **Volní** – vůlí ovládaná, obvykle spojena s volní konvergencí.

V podmínkách se sníženou světelnou intenzitou nebo ve tmě, kde oko nemá v daném zorném poli žádný adekvátní akomodační stimul, na který by se mohlo zaměřit, dochází k navození středního klidového (tonického) stavu akomodace. Potom jsou oči zostřeny 1,5 až 3 metry před sebe a podněty vyskytující se mimo tuto vzdálenost se jeví rozmazané a jejich zpozorování bývá provázeno prodlevou. V důsledku tohoto mechanismu se i emetropické oko může stát krátkozraké. [9, 23]

Mezi další vlivy, které mohou v souvislosti s akomodací způsobit myopizaci je možné považovat některé poruchy akomodace – excus a spasmus, popsané například v publikaci Anton [1] a Rozsival [24].

## 2.6. HISTORICKÝ NÁHLED NA NOČNÍ MYOPII

Již v roce 1789 anglický astronom Nevil Maskelyne při svých objevech zaznamenal, že viditelná vzdálenost za šera roste s použitím slabých rozptylných čoček. Pro sledování slabě svítivých hvězd je vyžadováno předložení rozptylných čoček o optické mohutnosti -1 D, poté vidíme objekty jasněji a zřetelněji než během dne. [31]



H.W.Leibowitz a D.A. Owens v roce 1975 vysvětlili noční myopii jako klidové zaměření očí do tmy. Za optimálního vidění je ohnisko zaostřeno na dioptrický vergenční podmět, ale při nedostatečném osvětlení vergenčního podmětu nastává klidový (tonický) stav. Při užití Badalova optometru (sloužícího k měření subjektivní refrakce, popis uveden v kapitole 3.6) zjistili, že nadměrná akomodace se zvětšuje při úbytku světla. Noční myopii si můžeme představit jako navození klidového (tonického) stavu při neadekvátním stimulačním podnětu. Liebiwitz a Owens zkoumali hodnotu klidového stavu jako základ pro předepisování brýlí pro řízení v noci. Použili laserový optometr ke změření hodnoty klidového stavu, zatímco pacienti sledovali simulované dopravní značky s proměnným jasem. [31]

Vizuální výkon za aktuálních podmínek pro vidění v noci se porovnal s normální korekcí a tou pro noční klidový stav. U více než 30 % subjektů se odhalila noční myopie o hodnotě větší než 1 D. Bylo objeveno, že polovina hodnoty klidového stavu bude stanovena jako záporná adice pro normální předepsanou vzdálenost, a tím je dosaženo nejvíce efektivního výsledku. Například pokud noční klidový stav zaostřil makulu na vzdálenost 1 m před oko, potom pro noční klidovou hodnotu -1 D se přidala adice - 0,5 D k normální korekci. [31]

I přes výše uvedené hodnoty potřebné ke korekci noční myopie u řidičů to není dostačující. Studie z roku 1968 provedená O.W.Richardsem zjistila, že pouze 12 % sledovaných subjektů prospívala negativní adice v rozsahu -0,5 až -1 D. [31]

Jiná studie vedena prof. Sheardem v roce 1976 zjistila u 1/3 subjektů, že malá negativní adice kolem -0,75 D byla nápomocná v podmínkách se zhoršeným osvětlením při řízení. Další 1/3 tvrdila, že adice byla neúčinná a zbytek v tom neviděl žádný výrazný rozdíl. Nesmíme zapomenout, že moderní pouliční osvětlení a automobilové světlomety poskytují poměrně jasné podmínky pro řidiče. [31]

Nedávné práce prof. Charmana došla k závěru, že velmi malá noční myopie se vyskytuje u mladých pozorovatelů při řízení v současných nočních podmínkách. V případě pochybností můžeme použít malou zápornou adici k normální korekci do dálky. Podle autorových zkušeností, si pacient specificky stěžuje na rozmazané vidění při řízení téměř vždy, když obvyklá myopická vada dosahuje hodnot 0,5 až 1 D. Kombinace malé hodnoty základní myopie a zvýšeného rozostření způsobeného větším

průměrem zorničky (*pupily*) v tmavých podmínkách může být dostačujícím důvodem, aby měl pacient problém zaostřit. Korekcí této základní myopie je téměř vždy dostačujícím krokem k vyřešení tohoto problému. Je nezbytné dávat pozor na podkorigování. [31]

## **3. MOŽNOSTI VYŠETŘENÍ NOČNÍ MYOPIE**

Na vyšetření noční myopie existuje několik druhů testů. Před začátkem jakéhokoliv testování je důležité, aby předcházela precizně provedená objektivní a potom subjektivní refrakce. Je nutné zkontrolovat, zda má pacient přítomné binokulární funkce.

### **3.1. ANAMNÉZA**

Při vyšetřování noční myopie je velmi významná podrobná anamnéza. Důležité je pokládat správné otázky se snahou objevit symptomy, které jsou typickými příznaky noční myopie. Velmi užitečné je také pozorně naslouchat pacientovi a snažit se vyčíst tyto příznaky z jeho slov, které používá k popisu obtíží. Typickým příznakem je stížnost na rozmazané vidění za špatného osvětlení a při sledování objektů v podmínkách se sníženou světelnou intenzitou. Dále nás zajímá zmínka o šeru nebo oparu kolem pozorovaných objektů a oslňování ze světlometů automobilů jedoucích za námi nebo proti nám, zejména za nepříznivých podmínek počasí jako je déšť, sníh, led, mlha. Někteří pacienti také ztrácí vnímání hloubky a do poslední chvíle nevidí díry a zatačky na silnici. [22]

### **3.2. OBJEKTIVNÍ REFRAKCE**

Objektivní refrakce oka nám hodnotí jen optický systém oka, ne zrakový systém. Získáváme z ní orientační údaje pro subjektivní refrakci, urychluje nám vyšetření a snižuje zatíženost vyšetřovaného. Po objektivním měření musí vždy následovat precizně provedené subjektivní vyšetření zraku. Podstatný význam má u osob, které nejsou schopny nebo ochotny s námi spolupracovat při vyšetření. Možné metody objektivní refrakce jsou:

- skioskopie
- (auto)refraktometr
- kerato(graf)metr

Nejčastěji se používá měření na (auto)refraktometru z důvodu rychlosti vyšetření a vybavenosti většiny pracovišť, proto se budeme dále zabývat jen jím. [21]

Při měření na **(auto)refraktometru** přístroj sám doladí ostrost oka tak, aby mělo optimální hodnotu, a navrhne korekci. Je však vždy nutné tuto navrženou korekci zkontrolovat na optotypu, jelikož některé (auto)refraktometry mají tendenci měřit nepřesné dioptrické hodnoty, protože oko může při náhlé změně ostrosti stimulačního podmětu v přístroji slabě přirozeně akomodovat a přístroj tak dává falešné výsledky. [21]

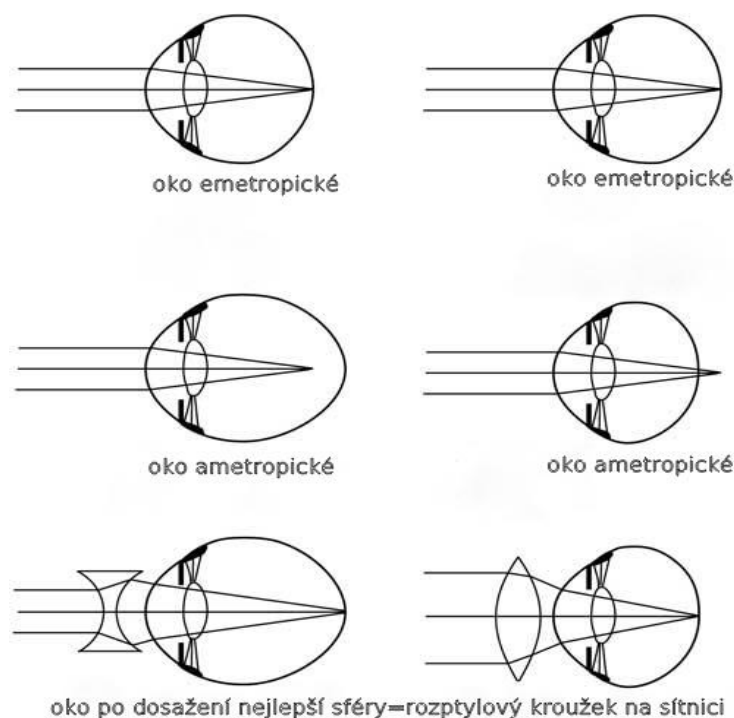
Mezi hlavní výhody měření na (auto)refraktometru patří: rychlé a jednoduché použití, nezatěžuje pacienta, možnost propojení s dalšími zařízeními jako digitální fotoaparát, digitální foropter a projektor. [21]

Mezi hlavní nevýhody patří: špatná kontrola akomodace, možnosti navození proximální akomodace, selhání při zákalech a nepravidelnostech očních médií, vysokých vadách a malých pupilách. Výsledek měření se navíc vztahuje jen k určité, malé oblasti zornice (měří bodově). Zavádějící výsledky u mládeže, zejména u hypermetropů. [21]

### **3.3. SUBJEKTIVNÍ REFRAKCE**

Následuje vždy po objektivní refrakci. Mezi základní podmínky a vybavení pro možnost vyšetření se považuje: přirozené denní (neutrální) osvětlení, přirozený postoj držení hlavy, vyšetřovací vzdálenost 5 až 6 m, vyšetřovací místnost, křeslo, zkušební obruba, refrakční sada, optotyp. [23]

Na začátku vyšetření nasadíme zkušební obrubu a vycentrujeme zkušební kříže, aby jejich středy měl pacient na středu rohovky. Po vycentrování zkusíme na optotypu, který řádek pacient bez korekce přečte, nejdříve monokulárně, posléze binokulárně. V případě již nošené korekce zkoušíme s ní. Po tomto testování zakryjeme pacientovi vždy jedno a potom druhé oko a monokulárně se snažíme stanovit nejlepší sféru. Cílem nejlepší sféry je posunout kroužek nejmenšího rozptylu na sítnici a u hypermetropů uvolnit akomodaci. [23]



Obrázek 9 Dosažení nejlepší sféry u ametropického oka [19, upraveno]

Standardně vždy začíná měření s předložením spojné sférické čočky, „spojky (+)“ při dokorigování a při neznámém typu vady. Až poté v případě potřeby použijeme rozptylné sférické čočky „rozptylky (-)“. Hodnota předložené sférické čočky se určuje podle dosaženého visus. Při dokorigování předkládáme  $\pm 0,25$  D, při špatných nebo téměř žádných reakcích  $\pm 0,5$  D a více. [23]

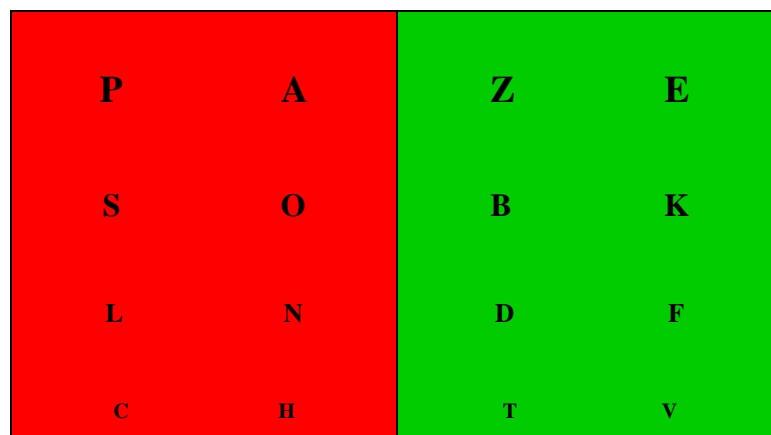
Tabulka 1 Odhad předložené sféry podle dosaženého visus

Visus	Předložená hodnota sférické čočky/D
< 0,05	Alespoň 2,00 D
0,05 - 0,2	1,00 D
0,2 - 0,5	0,50 D
> 0,5	0,25 D

**Spojky** předkládáme vždy, dokud se zrak nezhorší, a ptáme se u každého předložení, jestli je vnímaný obraz „horší nebo stejný?“. Pokud je horší → nepřidáváme. Pokud je stejný (lepší) → přidáme. Vždy při úpravě spojky nejdřív přidáme novou hodnotu a až následně vyjmeme původní. Nikdy nám nesmí klesnout hodnota pod konečný stav, proto užíváme výměnného triku. [23]

**Rozptylky** předkládáme vždy, dokud se zrak zlepšuje a ptáme se u každého předložení, jestli je vnímaný obraz „lepší nebo stejný?“. Pokud je lepší → přidáme. Pokud je stejný (horší) → nepřidáváme. Vždy u úpravy rozptylky nejdříve vyjmeme původní hodnotu a až potom přidáme novou. V případě že se visus nezlepšuje, můžeme použít pomocné otázky, jestli jsou písmena „jasnější, nebo jen menší a černější?“. Menší a černější znamená překorigování. [23]

**Jemné sférické dokorigování** provádíme po stanovení nejlepší sféry a po vyšetření JZC (Jacksonovými zkříženými cylindry), pomocí červeno-zeleného testu a max +/- min -. [23]



Obrázek 10 Červeno-zelený test

Na **červeno-zeleném testu** vyhodnocujeme kontrastnější text v barevných polích a ptáme se pacientů, jestli jsou písmenka v nějaké barvě „výraznější, jasnější, čitelnější, kontrastnější?“.

- Pokud je text výraznější v červené → přidat -0,25 D.
- Pokud je text výraznější v zelené → přidat +0,25 D.
- Stejný kontrast nebo mírně lepší v červené (dálka) / zelené (blízko) → správný stav.

Červeno-zelený test je nutno brát orientačně z důvodu subjektivního vnímání barev (ve stáří posun do červené barvy). Metodu **max +/- min -**, užíváme jako konečný test pro sférické dokorigování. Postupujeme metodou stejně jako u nejlepší sféry, předkládáme hodnoty  $\pm 0,25$  D s tím, že vždy začínáme s +0,25 D. Snažíme se dosáhnout stavu kdy s +0,25 D je vnímaný obraz mírně horší a s -0,25 D se nezlepší. [23]

Vyšetření astigmatismu by mělo vždy následovat po dosažení nejlepší sféry. Toto vyšetření provádíme pomocí **JZC**. Předpokladem tohoto vyšetření je, že kroužek nejmenšího rozptylu je posunut na sítnici. Mezi základní pravidla při vyšetřování patří:

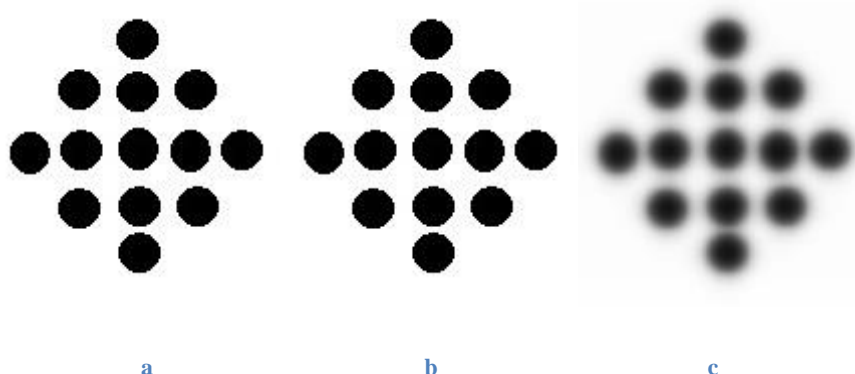
- Začínáme vždy s cylindrem o hodnotě  $\pm 0,25$  D. Při špatných reakcí volíme silnější JZC podle visu dle tabulky 2.

**Tabulka 2 Dioptrické hodnoty JZC v závislosti na visu**

Visus	Použitá hodnota JZC/D
< 0,2	$\pm 1,00$ (sph + 1,00 / cyl -2,0)
0,2 - 0,5	$\pm 0,50$ (sph + 0,50 / cyl -1,0)
> 0,5	$\pm 0,25$ (sph + 0,25 / cyl -0,5)

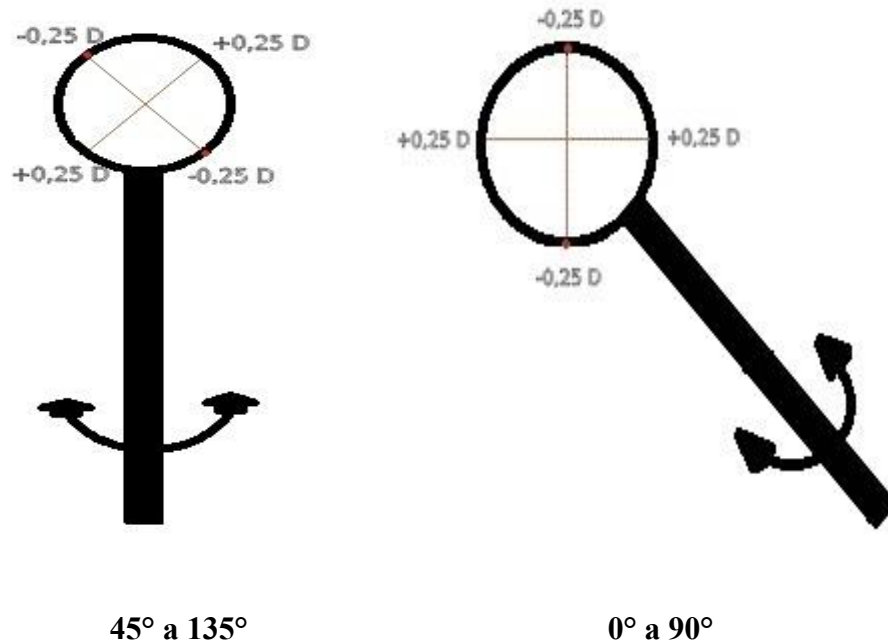
- Ke korekci používáme vždy jen záporné korekční cylindry, při změně cylindru o  $-0,5$  D změním sféru o  $0,25$  D (změníme sféru o  $1/2$  cylindru v opačném směru).
- Při zesílení záporného cylindru, nejdříve upravíme sféru, potom cylindr.
- Při zeslabení záporného cylindru, nejdříve upravíme cylindr, potom sféru.

Vyšetření provádíme na bodovém testu (tzv. sprcha, obr. 11a), ptáme se na srovnávání obou obrázků, „je lepší obrázek 1 nebo 2“ (obr. 11b, 11c). [23]



**Obrázek 11 Bodový test (sprcha)**

Na začátku vyšetření zjišťujeme přítomnost astigmatismu a jeho osu. JZC vládáme postupně do os:  $0^\circ$  a  $90^\circ$ ,  $45^\circ$  a  $135^\circ$



Obrázek 12 Jacksonův zkřížený cylindr

Přesnou hodnotu osy astigmatismu zjišťujeme tak, že JZC vkládáme ručkou do osy korekčního cylindru a zkoušíme  $\pm 0,25$  D a ptáme se na porovnávání obou obrázků. V případě, že jeden z obrázků je lepší, pootočíme osou korekčního cylindru na lepším obrázku za směrem záporné osy na JZC, která se vyskytuje blíže rukojeti. V momentě, kdy oba obrázky jsou stejné (stejně dobré, stejně rozmazané), zkoušíme sílu. Sílu zkoušíme tak, že obě osy JZC postupně přiložíme do osy korekčního cylindru a opět porovnáváme oba obrázky a podle toho zesílíme, nebo zeslabíme korekční cylindr. Po každé změně korekčního cylindru, by měla následovat kontrola osy. Po dosažení správné cylindrické korekce následuje jemné sférické dokorigování a kontrola na červeno-zeleném testu. [23]

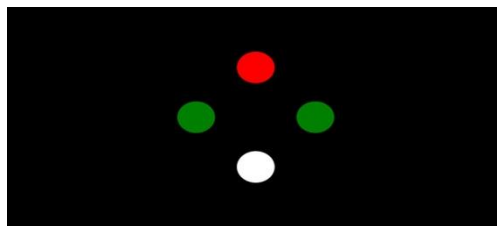
Dalším krokem je **binokulární vyvážení**, snaha je dosáhnout rovnovážného akomodačního stavu obou očí (do dálky obě oči bez akomodace, do blízka se stejnou akomodací). Obvykle se provádí monokulární sférická úprava za binokulárních podmínek. Nejčastěji používáme **Humphrisovu zamlžovací metodu**, kdy jedno oko zamlžíme  $+0,75$  D a pacient sleduje nejmenší řádek, který ještě přečte, a na druhém oku provedeme nejlepší sféru. Snaha je dosáhnout cílového stavu, kdy po předložení  $+0,25$  D  $\rightarrow$  obraz mírně horší a s  $-0,25$  D  $\rightarrow$  se nezlepší. Poté opakujeme se zmlžením druhého oka. Poslední krokem při subjektivní refrakci je stanovení binokulárně nejlepší sféry, binokulárně předkládáme  $+0,25$  D dokud se vidění nerozmaže, následně



binokulárně předsazujeme -0,25 D, dokud se zrak zlepšuje. Snažíme se dosáhnout nejlepší zrakové pohody vyšetřovaného. [23]

### 3.4. BINOKULÁRNÍ SCREENING

Po stanovení správné refrakce zkontrolujeme, zda má vyšetřovaná osoba přítomné binokulární funkce pomocí pár základních testů. Na **Worthových světlech** (obr. 13) zkontrolujeme, zda u vyšetřované osoby není přítomna *suprese* (utlumení vjemu jednoho oka). Do zkušební obruby nasadíme červený a zelený filtr a vyšetřovaná osoba sleduje čtveřici světel. Správný stav binokulárních funkcí je, když při binokulárním pohledu přes filtry jsou vidět všechny 4 znaky. Při zavření oka s červeným filtrem jsou viditelné znaky dole napravo a nalevo. Při zavření oka se zeleným filtrem vidíme znaky nahoře a dole. V případě jakéhokoliv jiného vjemu → porucha. [20]



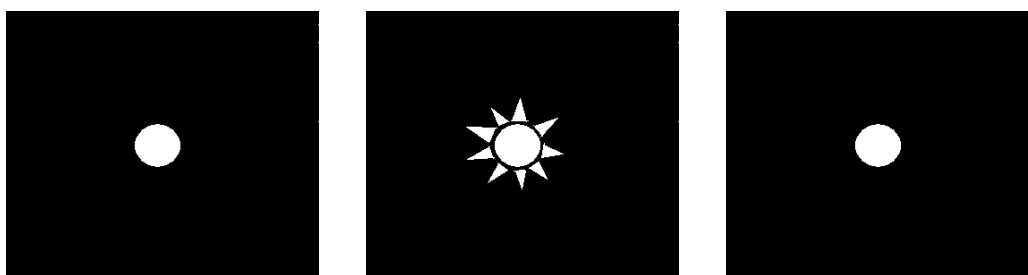
Obrázek 13 Worthova světla [33]

Dále provedeme zakrývací test **intermitentní** a **alternující**. Při obou testech pacient sleduje optotyp dle vizu horšího oka. U intermitentního testu zakrýváme a odkrýváme jedno oko a sledujeme druhé (nezakryté) při zakrytí prvního (2 až 3 s), pokud nastane pohyb odkrytého oka, jedná se o *tropii*. Ve správném případě pohyb odkrytého oka nenastane. Při alternujícím zakrývacím testu střídavě zakrýváme P a L oko při fixaci 2 až 3 sekundy s rychlým přesunem okluzoru a pozorujeme pohyb odkrytého oka. V případě pohybu odkrytého oka → *heteroforie*. Při optimálním stavu pohyb nenastane. Posledním testem BV, který provedeme, je kontrola motility. Tužkovou svítilnou, která reprezentuje fixační předmět, na vzdálenost 40 cm v rozsahu binokulárního zorného pole pacienta (cca 40° až 50°) opisujeme hvězdu, nebo široké písmeno H v 6 diagnostických směrech pohledu. Sledujeme rohovkové reflexy (symetrii pohybů, plynulost a přesnost) a ptáme se, jestli se světlo v nějakém bodě neztratí, nebo nerozdvojí. Ve správném stavu jsou reflexy plynulé a přesné, nenastane ztráta ani rozdvojení pozorovaného světla. [20]

V případě nalezení jakékoliv poruchy binokulárních funkcí, je dobré postupovat dle metod určených k řešení poruch binokulárních funkcí například dle Františka Pluháčka [22].

### 3.5. WHITE POINT TEST (BÍLÝ BODOVÝ TEST)

Před začátkem samotného testování vyšetřovaná osoba zůstává s precizně naměřenou korekcí ve tmě po dobu 20 minut, během kterých se oko musí přizpůsobit z jasného zorného pole denního k nižšímu jasu zorného pole nočního. Po 20 minutách strávených ve tmě, (což je podle zkušeností velmi nepohodlné pro pacienta i pro pozorovatele), je pacientovi představen **bílý bodový test**. [25]



a) zapnuté světlo

b) tmavá místnost

c) tma po přidání rozptylky

Obrázek 14 Bílý bodový test [25]

K tomu, aby mohl být tento test proveden, je nezbytné mít LCD displej nebo optotyp, který má ve svém základu vestavěny tyto znaky. Test se provádí nejlépe na LCD optotypu v negativním kontrastu, kde je základní pozadí plochy v černé barvě a kruh září bíle v centru. Je-li podezření na noční krátkozrakost, pacient nevidí svítivý bod (kruh) ostrý, ale tvrdí, že vidí stíny a odlesky kolem kruhu (obr. 14b). V tomto případě nasadíme vyšetřované osobě zkušební obrubu a binokulárně mu předkládáme sférické dioptrie  $-0,25$  D před každé oko a vždy postupně o  $-0,25$  D zvyšujeme, dokud pacient nevidí kruh dokonale čitelný s ostrými hranami bez oslnění, tzn. záření kolem kruhu je vyloučeno (obr. 14c). Tento test můžeme použít i v různých alternativních verzích, kdy místo bodového zdroje použijeme bíle osvětlené písmeno C nebo O na černém pozadí. Zbytek pravidel a postup zůstává stejný. [25]

Hodnota k vykorigování noční myopie, se nachází obvykle mezi  $-0,25$  D až  $-0,75$  D. Hodnota korekce noční myopie je hodnota, se kterou pacient dosáhne dobré vizuální ostrosti a jednotnosti kruhu, obrázek je bez oslnění a záření. Před testováním

a stanovením nového písemného předpisu korekce je nutné znát, že v případě starších pacientů dochází ke snížení citlivost na kontrast s věkem. Noční myopie je mnohem častější u mladších lidí, kteří jsou pak korigováni dle potřeby, kdežto u starších lidí je to spíše otázka schopnosti kontrastního vidění a všeobecné zrakové ostrosti. Pozor bychom si měli také dát na presbyopické osoby, kdy hodnota korekce noční myopie nesmí přesáhnout  $-0,5$  D z důvodu jinak výrazného snížení zrakové ostrosti do blízka. [25]

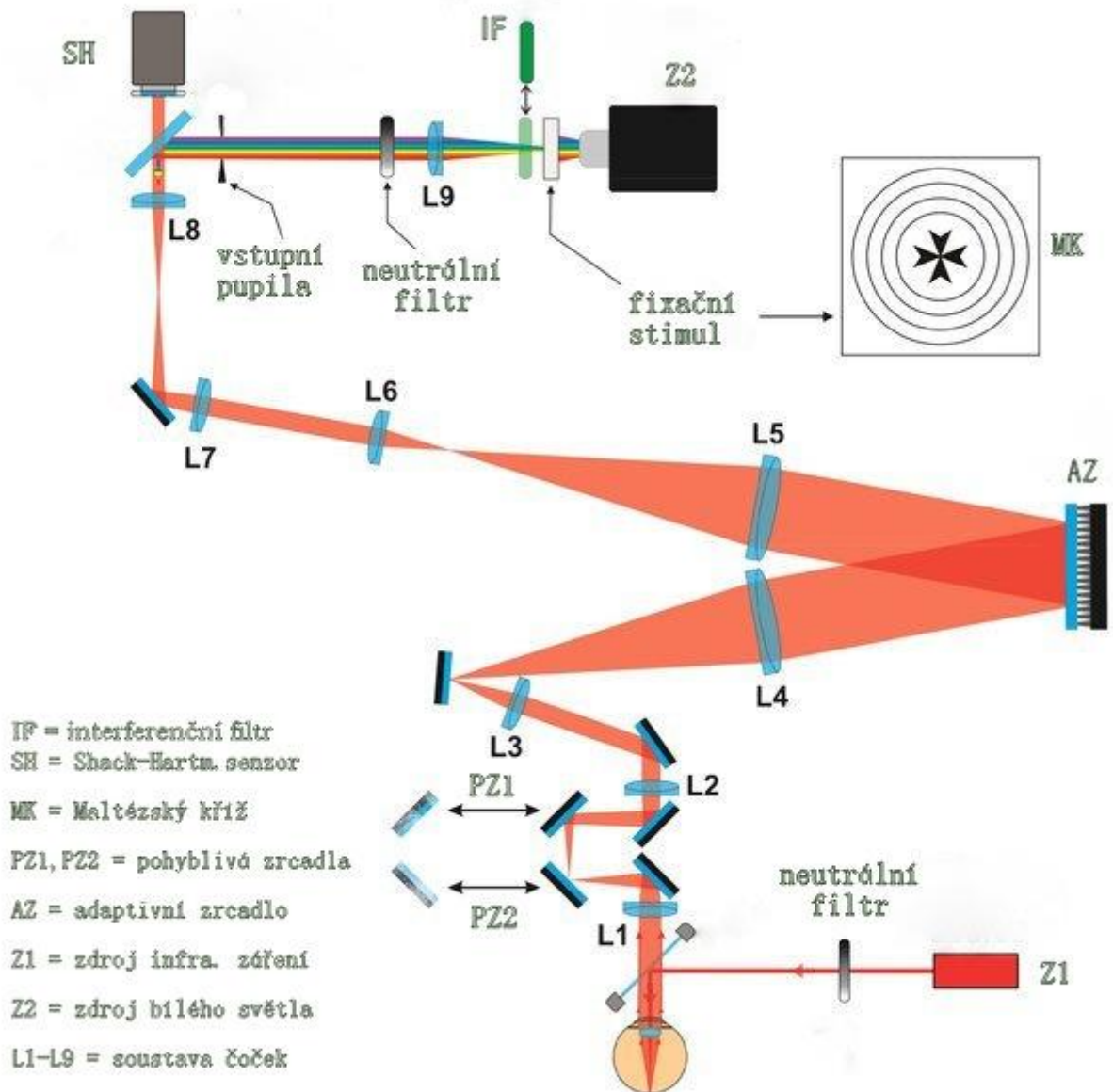
### 3.6. PŘÍSTROJOVÉ MĚŘENÍ NOČNÍ MYOPIE

Nejnovější studie noční myopie proběhly ve Španělsku, kde se pokusili změřit noční myopii pomocí Badalova optometru s přídatnými zařízeními adaptivní optiky. Cílem bylo zjistit, jaký hrají vliv jednotlivé faktory způsobující tento jev a skutečné hodnoty, kterých noční myopie dosahuje. [2]

Optometr je přístroj, který měří refrakční stav oka. Existují dva hlavní typy optometrů: subjektivní a objektivní. Subjektivní optometry spoléhají na rozhodnutí subjektu (vyšetřované osoby), na jeho vlastním vnímání ostrosti nebo rozmazání obrazu, zatímco objektivní optometry obsahují optický systém, který určuje vergenci světla odraženého od sítnice testované osoby. U elektronických optometrů jsou všechny údaje zobrazeny digitálně během krátkého časového úseku poté, co vyšetřující aktivuje signál. Objektivním typům říkáme také (auto)refraktory nebo (auto)refraktometry. [2]

**Badalův optometr** je jednoduchý, subjektivní optometr skládající se z jedné spojné čočky (objektivu) a pohyblivé testové značky (testu). Vyšetřovaná osoba je poučena, aby přesunula pohyblivou testovou značku směrem k objektivu z polohy, kdy je rozmazaná, do polohy, kdy dojde k jejímu zaostření. Tato poloha odpovídá dalekému bodu soustavy oka a objektivu přístroje. Odtud je možné po odečtu optické mohutnosti objektivu stanovit refrakci vyšetřovaného oka. Optometr je hrubý a nepřesný nástroj, ve kterém je měření ovlivněno akomodací a dochází ke změnám ve velikosti retinálních obrazů v závislosti na poloze pohyblivé testové značky. Badalovo zlepšení spočívalo v umístění čočky tak, aby se její ohniskový bod shodoval s uzlovým bodem oka nebo s předním ohniskem oka nebo vstupní pupilou, a tím došlo k eliminaci problému měnící se velikosti sítnicových obrazů. [2]

Konkrétní použitá experimentální sestava je schematicky prezentována na obr. 15. Oproti klasickému optometru obsahuje zařízení prvky adaptivní optiky, které ve spojení s použitým detekčním senzorem umožňuje v reálném čase korigovat sférickou aberaci měřeného oka. Měření probíhá v neviditelném infračerveném záření a následně je přepočteno do viditelné oblasti, což umožňuje zobrazit podněty (stimuly) za kontrolovaných podmínek jasu bez vlivu na výsledky měření. [2]



Obrázek 15 Experimentální sestava [2]

Přístroj se skládá z vlnového senzoru (Shack-Hartmanova senzoru, SH) pro měření očních aberací včetně zbytkového rozostření optické soustavy oka (akomodační chyby) v reálném čase a deformovatelného adaptivního zrcadla (AZ), schopného korigovat

aberrace optické soustavy. Pro měření optického stavu je použito infračerveného záření o vlnové délce 1050 nm generovaného zdrojem Z1 a detekovaného po průchodu systémem pomocí Shack-Hartmanova senzoru, opticky sdruženého s vyšetřovanou zornicí. Pozici ohniska systému je možné měnit pohybem dvou zrcadel (PZ1, PZ2) v konfiguraci Badalova optometru. Testovaná osoba má přístup k nastavení polohy Badalova optometru pomocí počítače. Testovanému je prezentován příslušný zrakový stimul v podobě testové značky (Maltézského kříže, MK) pomocí zdroje bílého světla (Z2), jehož jas, případně barva může být modifikována představením vhodných barevně neutrálních filtrů v hodnotách 1,35, 1,64, 3,14, 3,64, 4,14 a 4,64 log cd/m<sup>2</sup>, případně pomocí vhodného barevného interferenčního filtru. Testování tedy bylo prováděno v podmínkách přirozeného denního osvětlení (asi 20 cd/ m<sup>2</sup>) až po podmínky skotopické (22×10<sup>-6</sup> cd/m<sup>2</sup>). Popsaný systém pracuje v pasivní formě, kdy testovaná osoba pozoruje stimul s přirozenými aberacemi, nebo je nastaven tak, aby pomocí adaptivního zrcadla korigoval sférické vady každé testované osoby. Měření bylo provedeno u 8 jedinců s normálním zrakem. Rozsah věku byl 24 až 49 let, průměrná sférická vada byla -1,25 D a cylindrická - 0,25 D. [2]

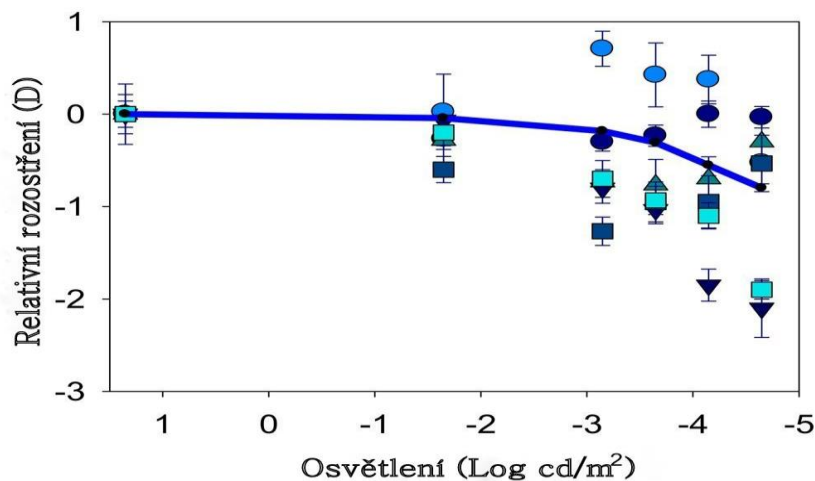
Všechna měření byla prováděna za přirozené velikosti zornice, tj. bez cykloplegie. Testovaná osoba byla požádána, aby při pozorování stimulu (MK) za daných podmínek nastavila pozici zrcadel PZ1 a PZ2 Badalova optometru tak, aby byl subjektivní vjem optimálně zaostřen, přičemž pozorování začínalo z relativně hyperopické (dalekozraké) pozice. Proběhlo pět sekvenčních opakování pro každé nastavení stimulu, měřená data byla reprezentována stanovanou průměrnou hodnotou a směrodatnou odchylkou. Pro každou ze šesti zmíněných jasových podmínek proběhlo navíc srovnání měření při bílém a monochromatickém (zeleném) světle a dále při normální a korigované sférické aberaci. [2]

Při subjektivním nastavení soustavy (subjektivním zaostřením obrazu stimulu) bylo průběžně zaznamenáváno objektivní zaostření optické soustavy oka, takže mohla být sledována skutečná akomodační odezva (akomodační nedostatek nebo nadbytek). Vzhledem k proměnné velikosti zornice byly všechny výsledky přepočítány na jednotný průměr zornice 6 mm. Průměrná hodnota sférické aberace při uvažované standardizované velikosti zornice byla 0,15 μm. V případě podmínek nízkého jasu se ponechala testovaná osoba adaptovat na tmu po dobu 30 minut v experimentální

místnosti při naprosté tmě. Experiment byl řízen počítačem z vedlejší místnosti a ke komunikaci s pacientem docházelo přes skype, takže pacient v průběhu celého testu zůstal adaptovaný na tmu. [2]

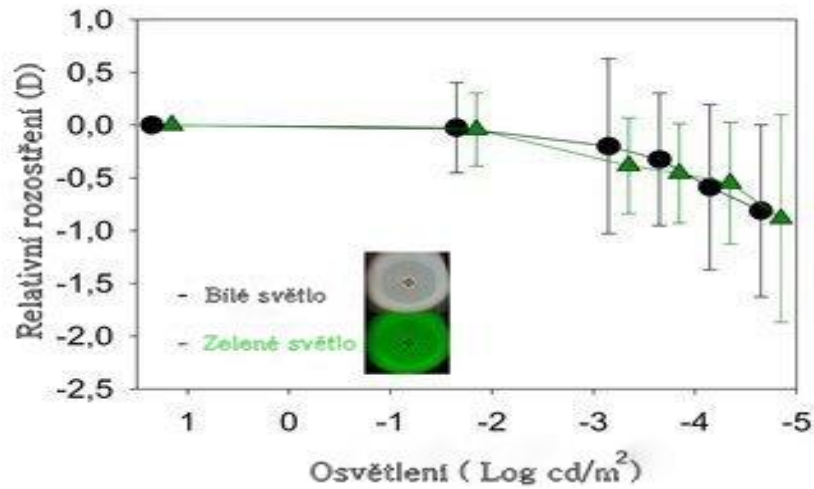
Výsledky jednotlivých testovaných osob jsou odlišeny pomocí různých geometrických symbolů, plná čára spojuje průměrné hodnoty získané za různých jasových podmínek. [2]

Výsledky získané v bílém světle při přirozených aberacích jsou znázorněny na grafu (obr. 16). Při nejnižších jasových podmínkách byl zjištěn průměrný myopický posun přibližně -0,81 D. Za vyšších jasů byl tento posun menší (např. pro 0,00022 cd/m<sup>2</sup> byl jen - 0,3 D, přitom asi u poloviny testovaných se neukázaly žádné významné změny). [2]



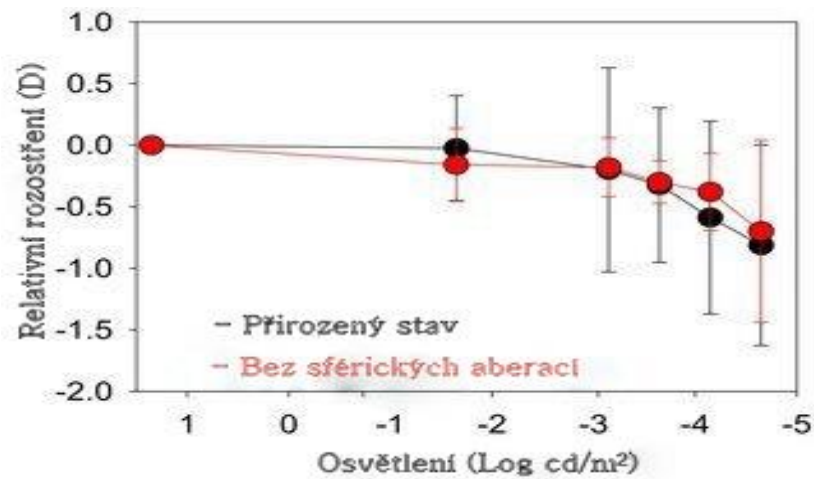
Obrázek 16 Graf závislosti relativního rozostření optické soustavy oka na jasu stimulu [2]

Stěžejní výsledky jsou prezentovány ve formě obrázků 17, 18, 19. Měřené hodnoty za různých jasových podmínek byly vždy srovnávány s hodnotami získanými při normálním denním osvětlení. Na základě srovnání bylo stanoveno relativní rozostření optické soustavy oka. [2]



Obrázek 17 Graf závislosti relativního rozostření na bílém a zeleném světle.[2]

Graf znázorňuje závislosti průměrného relativního rozostření optické soustavy oka na jasu stimulu měřené v bílém světle (černé symboly) ve srovnání s průměrnými výsledky pro měření v zeleném světle (zelené symboly). Svislé tečky reprezentují dvojnásobek velikosti příslušné směrodatné odchylky měřených hodnot.

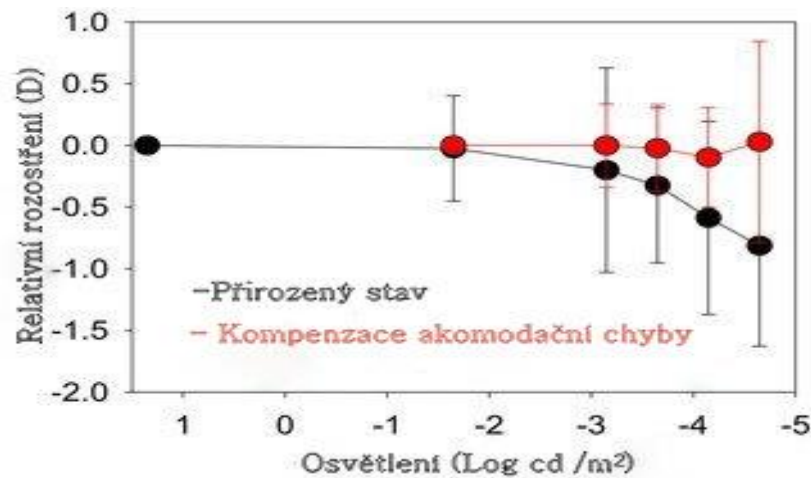


Obrázek 18 Graf závislosti rozostření na vlivu přítomnosti sférických aberací [2]

Graf znázorňuje závislosti průměrného relativního rozostření optické soustavy oka na jasu stimulu měřené bez korekce sférické aberace (černé symboly) ve srovnání s průměrnými výsledky pro měření s korigovanou sférickou aberací (červené symboly). Svislé úsečky reprezentují dvojnásobek velikosti příslušné směrodatné odchylky měřených hodnot.

Obrázek 17 ukazuje vliv barevné vady na rozostření. Proložené křivky jsou téměř totožné. Minimální rozdíl vykazují i křivky na obrázku 18, kde je srovnán průběh rozostření za přirozených podmínek a při korigované sférické aberaci. Z uvedeného

grafu je zřejmé, že barevná vada ani sférická aberace neměly v daném experimentu na vznik noční myopie významný vliv. [2]



Obrázek 19 Graf závislosti rozostření na stavu akomodace [2]

Graf znázorňuje průměrné hodnoty relativního rozostření v závislosti na jasu, kdy byla akomodační chyba přítomna (černé symboly) ve srovnání, kdy byla akomodační chyba kompenzována (červené symboly).

Pro sledování vlivu akomodační chyby na noční myopii byly hodnoty rozostření korigovány vzhledem k objektivně naměřené reálné akomodační odezvě oka a srovnány s hodnotami za přirozených (nekompenzovaných) podmínek (obr. 19), z průběhu získaných křivek je vidět, že akomodační chyba má významný vliv na noční myopii. [2]

Z výsledků prezentovaného experimentu vyplývá, že praktický význam noční myopie je omezenější, než se všeobecně uznává. Přes velké množství příspěvků v literatuře, kdy hodnoty dosahovaly až -6 D, tak z testu vyplývá velká variabilita výsledků a nízké hodnoty krátkozrakého posunu při nízkém jasu. U poloviny pacientů nebyl krátkozraký posun zřejmý a maximální posun byl kolem -2 D u jednoho pacienta, průměrný krátkozraký posun činil -0,8 D při nejnižším uvažovaném jasu. Malé hodnoty vykazované u většiny pacientů byly patrné pouze za velmi nízkých jasových podmínek, které jsou neobvyklé v běžných podmínkách. Chromatické aberace oka v kombinaci s vlnovou délkou v závislosti na citlivosti sítnice, vyvolávají podle získaných údajů jen malé rozostření a to při velmi nízkém jasu. Sférické aberace taktéž nehrají při vzniku noční myopie významnou roli. Jako hlavní příčinou noční myopie se tedy jeví akomodační chyby, které při zhoršených podmínkách narůstají. Pro tento fakt svědčí i skutečnost, že starší testované osoby zařazené do studie vykazovaly menší velikost



posunu. Výsledky získané měřením na přístroji však mohly být ovlivněny určitou mírou přístrojové myopie. [2]

## 4. MOŽNOSTI KOREKCE NOČNÍ MYOPIE

Jedním z hlavních důvodů proč se ve světě mluví o noční myopii a snažíme se ji vykorigovat, je její souvislost s pracemi a činnostmi, které lidé vykonávají za podmínek snížené světelné intenzity. Nejrozšířenější činností, která je globálně vykonávaná, je řízení auta v noci a za podmínek snížené světelné intenzity, které jsou u mnohých spjaty s nejrůznějšími obtížemi a mnohdy i ohrožují naši bezpečnost za volantem. O tom vypovídají i statistiky, ze kterých je zřejmé, že míra úmrtnost za volantem v noci (v čase od 18.00 hod až 06.00 hod) je až třikrát vyšší než za denních podmínek. Dopravní nehody za účasti chodců jsou ještě výraznější, neboť chodci se stávají 3× až 7× zranitelnější v noci a podle Národní rady pro bezpečnost až 90 % reakcí řidiče závisí na jeho zraku. Zraková nepohoda se vyskytuje u více než poloviny (53 %) Američanů nosících zrakovou korekci, která je většinou způsobené nepohodlným pocitem při řízení auta v noci. Téměř pro jednu třetinu z nich (32 %) je to velmi obtížné. V minulém roce, téměř polovina dotázaných Američanů (48 %) tvrdila, že zažili oslnění nebo zvýšenou citlivost na světlo při jízdě ve tmě. Více než šest z deseti (61 %) uvádí, že je obtěžovaly světlomety z protijedoucího auta nebo z auta za nimi a téměř tři z deseti lidí (28 %) viděli svatozáře nebo odlesky kolem světel. Je nutné podotknout, že tyto obtíže nejsou způsobeny jen noční myopií, ale hrají roli i další faktory jako: věk, kontrastní citlivost, katarakta, refrakční operace LASIK a koncentrace vitamínu A v krvi. [5, 6]

Ve snaze zamezit těmto obtížím spojeným s řízením za podmínek snížené světelné intenzity je nejlepším řešením nechat otestovat svůj zrak na noční myopii, v případě nálezu může být pacientovi doporučena brýlová korekce. U mladých pacientů (před nástupem presbyopie) maximální hodnota obvykle dosahuje kolem  $-0,75$  D a v presbyopickém věku by neměla přesáhnout  $-0,5$  D. Korigujeme vždy s nejslabší rozptýlkou, se kterou již vidí pacient ostře. Tato korekce by se měla používat výlučně jen v podmínkách špatného osvětlení nebo v nočních podmínkách. Vhodné je použít dioptrická skla, na kterých je nanášena antireflexivní vrstva, která napomáhá eliminovat nežádoucí odlesky a svatozáře světelných zdrojů a poskytuje přesnější pohled. Výhodou je také zvolit typ čoček se žlutým nebo žluto-oranžovým podbarvením (filtrem) a s vysokou propustností světla, které přidají obrazu kontrast a lepší barvy. Právě žlutá barva zvyšuje kontrast tmavě modré a zelené barvě bez změny vnímání barev. [5,6]

Další možnosti, jak zlepšit svůj zrak v noci při řízení:

- Před jízdou nesmíme pospíchat a musíme dopřát našim očím, aby se přizpůsobily na tmavé podmínky (alespoň 20 minut).
- Je vhodné nastavit zpětné zrcátko tak, aby nás neoslňovaly paprsky ze světel aut jedoucích za námi.
- Je dobré mít v autě vypnuté všechny vnitřní zdroje světla, aby nedocházelo k rušení.
- Stejně tak důležité je mít důkladně vyčištěné vnější sklo, aby nedocházelo k rozptylu paprsků přes nečistoty na skle.
- Nápomocné je mít vyváženou stravu bohatou na ovoce a zeleninu s nízkým obsahem nasycených tuků a vysokým podílem vitamínu A.

[5, 6]

## 5. VZTAH MEZI JEDNOTLIVÝMI TYPY MYOPIÍ

Mezi další typy myopií patří přístrojová myopie a myopie prázdného pole (letecká).

### 5.1. PŘÍSTROJOVÁ MYOPIE

Přístrojová myopie je charakterizována přetrvávajícím stavem nadměrné akomodace, ke které může dojít při pozorování přes optický přístroj, jako je dalekohled nebo mikroskop. Tato nadměrná akomodace má průměrnou hodnotu asi 2,25 D s rozsahem 0,5 D až 5 D. Přístrojová myopie má sice podobný vliv jako noční myopie a myopie prázdného pole, ale na rozdíl od nich k ní dochází během sledování předmětů s vysokým kontrastem bohatým na detaily. Hlavní skupinou lidí, které postihuje a znepríjemňuje jim život, jsou vědečtí a lékařští pracovníci používající mikroskopy a astronomové. [12, 13]

Navzdory různým výzkumům a studiím se doposud nepodařilo zjistit přesné příčiny způsobující tento jev, ale za nejpravděpodobnější činitele přístrojové myopie se považuje: omezené zorné pole, proximální akomodace (z důvodu uvědomění si blízkosti pozorovaného objektu během mikroskopování) a nesprávné nastavení mikroskopu. Existuje mnoho dalších faktorů, které mohou mít vliv na velikost přístrojové krátkozrakosti a akomodace. Patří mezi ně pupilární vzdálenost (vzdálenost mezi okuláry), zvětšení obrazu, směr zaměření mikroskopu, zkušenosti s mikroskopováním uživatele a střední klidový (tonický) odpočinkový stav akomodace. [12, 13]

V experimentální studii R.T. Hennessy [12] byly zkoumány tři možné příčiny přístrojové myopie. První sledovanou příčinou byla možnost, že periferní podněty, které mají vliv na akomodaci, by mohly být zodpovědné za přístrojovou myopii. Druhá hypotéza vycházela z toho, že vnímání vzdálenosti může přispět ke vzniku přístrojové myopie. Třetí experiment zkoumal možnost, že přístrojová krátkozrakost vyplývá z tendence oka přejít do středního klidového (tonického) stavu při absenci adekvátního podnětu pro akomodaci. [12, 13]

První experiment prokázal, že objekty v blízkosti obvodového zorného pole mohou stimulovat akomodaci. Dále vliv periferního prostoru působí na akomodaci tak, že

pokud se prostor nachází za fixačním podnětem, může vyvolat pokles akomodace, pokud se vyskytuje před fixačním podnětem, může dojít ke zvýšení akomodace. Ačkoli periferní podněty mají vliv na akomodaci, nevyvolávají změny akomodace tak velké, aby objasnily přístrojovou myopii. [12, 13]

Nejvýznamnějším zjištěním byla vysoká korelace mezi přístrojovou krátkozrakostí a klidovým (tonickým) stavem akomodace. Předchozí výzkumy na přístrojovou myopii se soustředily především na nalezení charakteristických stimulačních rysů, které způsobí, že oko akomoduje při pohlížení pomocí optického přístroje. Současný výklad popírá, že by takové funkční stimuly existovaly. Při druhém experimentu dvacet dva emetropických pacientů sledovalo jako cíl mřížku přes mikroskop pomocí tří metod ostření. První pohyb těla mikroskopu byl vzhůru (krátkozraké zaměření, tj. z pozice, která by měla mít tendenci k vyvolání akomodace), druhý pohyb těla mikroskopu byl pohyb klesající (dalekozraké ostření), třetí pohyb byl ve směru nahoru a dolů, jak požaduje oscilační zaostřování. Průměrný rozdíl mezi krátkozrakým a dalekozrakým zaměřením byl pouze 0,44 D, to znamená, že akomodace reaguje jen slabě na rozostřený obraz, zatímco dochází k pohybu mikroskopu. [12, 13]

Hypotéza založená na klidovém (tonickém) akomodačním stavu může vysvětlovat další aspekty přístrojové myopie. Dle Le Granda [34] oko "šetří svou akomodaci", to znamená, že oko bude mírně slaběji akomodovat na blízko a mírně nadměrněji akomodovat pro vzdálené cíle. Jinými slovy, akomodace inklinuje k mezistupni a směr akomodačních chyb bude záviset na tom, zda je objekt fixován blíže nebo dále než je vzdálenost, která odpovídá střednímu klidovému (tonickému) stavu akomodace. Tento účinek byl patrný z experimentu, kdy se vzdálenost cíle pohybovala v rozmezí od 0 do 3 m, potom akomodace subjektu byla vždy větší než nula a menší než 3 D. Tento efekt může být snadno vysvětlen hypotézou středního klidového (tonického) stavu, podle kterého je oko nejlépe schopno zachovat akomodaci při akomodačním úsilí, které by nemělo být ani pozitivní ani negativní. [12, 13]

Je známo, že zkušenější pracovníci při mikroskopování dosahují menších hodnot přístrojové myopie než mladší a nezkušení. Ve snaze zamezit problémům s přístrojovou myopií při práci, existuje pár postupů, které nám pomohou zlepšit výsledný zrakový vjem:

1. Nastavíme okulár na šířku našich očí. Nastavení vzdálenosti mezi dvěma okuláry dle velikosti pupilární vzdálenosti vyšetřující osoby bude minimalizovat konvergenci, protože vizuální osy obou očí se budou blížit paralelně. To pomáhá ke snížení akomodace, ke které dochází při pohledu do mikroskopu.
2. Nastavíme oba okuláry mikroskopu na naši dioptrickou hodnotu korekce, tak abychom viděli ostře.
3. Nastavíme mikroskop na nejvyšší zvětšení. To přiměje oči uživatele k dosažení nejvyšší akomodace a na tomto zvětšení si mikroskop seřídíme na ostrý obraz. Během práce, budeme s největší pravděpodobností používat nižší zvětšení, a proto každá vyvolaná akomodace v důsledku zvětšení by měla být v rámci předem nastavené amplitudy.
4. Znovu nastavíme jemné ovládání zaostření tak, že jej dáme do neutrální polohy.
5. Přiblížíme mikroskop na takovou úroveň, aby zaostřil tu část objektu, kterou potřebujeme.
6. Aniž bychom měnili zaostření mikroskopu pohybem nahoru a dolů, změníme zvětšení na nejnižší pozici, každý okulár by měl být zaměřen vytočením ciferníku ven, aby došlo k zamlžení, a potom otáčet dovnitř, dokud není dosaženo nejlepšího zaostření.
7. Ujistíme se, že pacient po nastavení mikroskopu nezměnil polohu hlavy.  
[12, 13]






## **5.2. MYOPIE PRÁZDNÉHO POLE (EMPTY FIELD MYOPIA)**

Myopie prázdného pole, též někdy označována jako **letecká myopie** je stav, kdy oči nemají žádný zrakový stimul v rámci dostupného zorného pole, na který by se mohly soustředit a tak se automaticky soustředí v rozsahu řádově několika metrů dopředu.

Detekce objektů mimo toto omezené zorné pole je zpožděná, a pokud nějaký předmět vstoupí do tohoto omezeného zorného pole, je obtížné rozlišit jeho velikost nebo rozsah. Normální funkce čočky je soustředit světlo z pozorovaného objektu na sítnici. Má-li k tomu dojít, musí být oko stimulováno obrazem. Myopie prázdného pole se projevuje, když je lidské oko v pasivním stavu bez stimulů, v důsledku toho dochází k zaměření ohniskového bodu oka do klidového (tonického) stavu. V klidovém stavu je oko obvykle zaměřeno na bod ve vzdálenosti 1,5 až 3 m v průměru před sebe. Mohou se ovšem vyskytovat i velké rozdíly ve vzdálenosti tohoto zaměření až několik metrů. Z tohoto důvodu se i emetropické lidské oko stává krátkozraké. Vizuálně prahový obraz letadla viditelného v siluetě jako tmavý flíček nebo relativně světlé tečky, může být rozložen na velké oblasti sítnice a stát se nedostatečným stimulem pro zaostření oka. Studie lidských faktorů ukazuje, že tečka velmi blízká prahovému vjemu v prostředí prázdného pole může náhle zmizet, protože byla nedostatečným podnětem pro oko, který by zabránil nastolení jeho klidového (tonického) stavu. [9]

Dalším faktorem, který přispívá k méně přesnému zaostření, je šířka naší zorničky. Jelikož v špatných světelných podmínkách má zornička oka tendenci se rozšířit a důsledkem toho je, že hloubka ostroty našeho zaměření je menší. Za těchto podmínek se pro naše oči stává velmi únavné, aby správně zaostřily, a tak mají snahu upadnout do podobného stavu jako při myopii prázdného pole a nesoustředí se více než na 1,5 až 3 m před sebe. Mezi rizikové podmínky prostředí pro řízení letadel patří:

- Dny, kdy obloha je nevýrazná a viditelnost je 10 km nebo více.
- Při velmi temné noci s žádnými stimulačními podněty mimo kokpitu.
- V mlhavých podmínkách, kdy optické vlastnosti atmosféry mění vzhled letadla a terénu.
- V jasném světle a záři, kdy je let prováděn ve velmi slunečných podmínkách přes vrstvu mraků.
- Létání přes zasněžené a pouštní plochy s převážně nevýraznými pozemním reliéfem a u velkých vodních ploch. [8, 9]

Vzdálenost letadla		Doba do nárazu
1NM		14 sek.
1/2 NM		7 sek.
1/4 NM		4 sek.
1/8 NM		2 sek.
1/16 NM		1 sek.

Obrázek 20 Vzdálenost cíle od letadla a čas do nárazu [9]

Chceme-li bojovat s oslabenou schopností oka zůstat zaměřené na vzdálené cíle, existuje pár tipů, které by nám mohly pomoci:

- Zaměřme se často na vzdálené viditelné objekty, např. na obrysy terénu nebo objekty v blízkosti jeho horizontu, což napomáhá stimulovat zrak, aby zůstal zaostřen do dálky.
- Stimulujme oči pomocí sledování vlastních částí letadla, jako jsou křídla.
- Pokud to je možné létejte nad oparem smogové vrstvy.
- Je výhodné používat periferní vidění k detekci jiných letadel, protože periferní vidění reaguje lépe, pokud jde o odhalování slabých podnětů spojených s lehkým pohybem než centrální vidění.

[8, 9]

### 5.3. VZÁJEMNÉ FAKTORY MYOPIÍ

Vyjma prosté myopie, která je zapříčiněna chybami ve fyziologickém vývoji oka, jako je jeho nadměrná délka, nepřirozeně vysoká lomivost optických médií nebo změna



indexu lomu jednotlivých jeho částí, tak noční, přístrojová a letecká myopie může postihnout i jinak zcela zdravé emetropické oko. Tyto speciální druhy myopií nejsou zapříčiněny vývojovými chybami, ale podmínkami, ve kterých se právě oko nachází, a jeho přirozenými reakcemi a přizpůsobením se na tyto situace. [2, 8, 9, 12, 13, 25, 31]

Noční a letecká myopie mají společného činitele a to je prostředí, ve kterém se vyskytují minimální stimulační podněty pro akomodaci a z toho důvodu oči přecházejí do klidového (tonického) stavu se zaměřením 1,5 až 3 m před sebe a stávají se krátkozraké. K tomu ještě napomáhá rozšíření zornice v podmínkách s nízkou světelnou intenzitou, v jehož důsledku dochází ke snížení hloubky ostrosti našeho zaměření. U noční myopie to ještě umocňují chromatické a sférické aberace s Purkyňovým jevem. U přístrojové myopie pozorujeme zvětšené detaily předmětu, ale při pohlížení přes přístroj dochází k omezení zorného pole a navození proximální akomodace, což může způsobit myopizaci oka. K tomu ještě mohou přispívat aspekty, jako je nesprávné nastavení mikroskopu a velikost zvětšení obrazu. Společným a nejvýznamnějším faktorem všech těchto myopií jsou problémy s akomodací, v jejichž důsledku dochází k myopizaci oka a zhoršení zraku.[ 2, 8, 9, 12, 13, 25, 31]

## ZÁVĚR

Tato práce se zabývala sférickou refrakční vadou myopií, stěžejní část této práce byla věnovaná noční myopii, příčinám jejího vzniku, možnostem vyšetření a její korekci. V závěrečné části práce byly popsány další typy myopií, jako je přístrojová myopie a myopie prázdného pole (letecká).

Navzdory tomu, že dodnes nejsou zcela známé příčiny noční myopie, pokusili jsme se po těchto příčinách pátrat. Zjistili jsme, že noční myopie se začíná vyskytovat u zorniček s průměrem od 2 mm. S rozšířením zorniček v prostředí se špatnou světelnou intenzitou se začínají projevovat sférické aberace z důvodu, že paprsky paralelní s optickou osou se po lomu na kulové ploše (rozšířená zornička) nesbíhají do jednoho ohniska. Okrajové paprsky mají kratší ohniskovou vzdálenost než centrální. K tomu se přidávají chromatické aberace a to proto, že bílé světlo se skládá z paprsků s rozdílnou vlnovou délkou a světelné paprsky krátkovlnné se lomí více než dlouhovlnné. Dalším faktorem ovlivňujícím noční myopii je Purkyňův jev, který způsobuje, že ve tmě dochází k posunu maxima citlivosti pro světlo o vlnové délce 507 nm (modrozelená oblast). Tyto faktory dohromady mohou vyvolat malý rozostřený posun při nízkém jasu. Za hlavní příčinu noční myopie se považují chyby akomodace z důvodu neadekvátního zrakového stimulu a navození středního klidového (tonického) stavu se zaměřením očí 1,5 až 3 m před sebe.

Pokud se setkáme s osobou, která vykazuje příznaky noční myopie, můžeme provést měření, která byla popsána v této práci. Nejdříve precizně provedeme objektivní a poté subjektivní refrakci, zkontrolujeme binokulární funkce a následně provedeme testování na Bílém bodovém testu. Po tomto měření může být pacientovi doporučena brýlová korekce dle naměřených dioptrií. Hodnota této korekce se obvykle vyskytuje -0,25 D až -0,75 D. Vždy je nutno pacienta upozornit, že tato korekce by se měla nosit výhradně jen v podmínkách se sníženou světelnou intenzitou. Pozor si musíme dát na pacienty již nebo brzy v presbyopickém věku, kdy korekce nesmí přesáhnout -0,5 D.

V závěrečné kapitole jsme se věnovali popisu přístrojové myopie a myopie prázdného pole. Spolu s noční myopií mají společného původce, kterého představuje chybná

akomodace z důvodu slabých zrakových stimulů a klidového (tonického) zaměření očí. Dodnes ještě nejsou zcela objasněné všechny mechanismy v ději akomodace, ale existují jen uznávané a velmi pravděpodobné teorie o funkčním průběhu akomodace. Možná až se jednou obeznámíme se všemi funkčními procesy tohoto děje, lépe porozumíme i důvodům vzniku těchto specifických druhů myopií.

# LITERATURA A JINÉ ZDROJE

- [1] ANTON, Milan. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. Vyd. 3., přeprac. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. 96 s. ISBN 80-7013-402-X.
- [2] ARTAL, Pablo, SCHWARZ, CÁNOVAS a MIRA-AGUDELO. *Night Myopia Studied with an Adaptive Optics Visual Analyzer*. Plosone [online]. [cit. 2014-02-08]. Dostupné z: <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0040239>
- [3] *Barevné vidění: Druhý pohled*. In: Paladix [online]. [cit. 2014-01-24]. Dostupné z: <http://www.paladix.cz/clanky/barevne-videni-druhy-pohled.html>
- [4] *Barva a vyvážení bílé: Barva a její obraz v PC*. In: Fotografování [online]. [cit. 2014-01-18]. Dostupné z: <http://www.fotografovani.cz/fotopraxe/zakladni-postupy1/barva-a-vyvazeni-bile-1-barva-a-jeji-obraz-v-pc-151818cz>
- [5] BEDINGHAUS. Night Driving: Tips to Improve Your Night Vision. In: *About.com: Health vision* [online]. [cit. 2014-02-12]. Dostupné z: [http://vision.about.com/od/eyehealthandsafety/qt/Night\\_Driving.htm](http://vision.about.com/od/eyehealthandsafety/qt/Night_Driving.htm)
- [6] *Blinded by the Night*. In: Harvard Health Publications: Harvard Medical School [online]. [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: [http://www.health.harvard.edu/newsletters/Harvard\\_Womens\\_Health\\_Watch/2007/June/Blinded-by-the-night](http://www.health.harvard.edu/newsletters/Harvard_Womens_Health_Watch/2007/June/Blinded-by-the-night)
- [7] *Color vision*. In: Handprint [online]. [cit. 2014-02-12]. Dostupné z: <http://www.handprint.com/HP/WCL/color4.html>
- [8] *Empty Field Myopia*. [online]. [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: [http://www.paul.moggach.yorksoaring.com/GliderInstructorGSX/empty\\_field\\_myopia.html](http://www.paul.moggach.yorksoaring.com/GliderInstructorGSX/empty_field_myopia.html)
- [9] *Empty Field Myopia*. In: SKYbrary [online]. [cit. 2014-01-27]. Dostupné z: [http://www.skybrary.aero/index.php/Empty\\_Field\\_Myopia](http://www.skybrary.aero/index.php/Empty_Field_Myopia)
- [10] *Foveola*. In: The free dictionary: by Farlex [online]. [cit. 2014-02-24]. Dostupné z: <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/foveola>
- [11] HENNESSY R.T. and. LEIBOWITZ H.W.: *Journal of the optical society of America* 60, 1700 (1970)
- [12] HENNESSY, Robert T. Instrument myopia. *Journal of the optical society of America*. October 1975, č. 10
- [13] CHI-WAH RUDY YUNG, Talia KOLIN a BAILEY. Instrument and microscope myopia: What's all the focus about?. In: *Eye World* [online]. [cit. 2014-02-17].

- Dostupné z: <http://www.eyeworld.org/article-instrument-and-microscope-myopia--what-s-all-the-focus-abou>
- [14] KOLÍN, Jan. *Oční lékařství*. 2., přeprac. vyd. Praha: Karolinum, 2007. 109 s. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze. ISBN 978-80-246-1325-3.
- [15] *Krátkozrakost (myopie)*. In: Cocky-online.cz [online]. Dostupné z: <http://www.cocky-online.cz/informace/kratkozrakost-myopie.html>
- [16] KRAUS, HANUŠ A KOLEKTIV: *Kompendium očního lékařství*, Praha, Grada Publishing 1997, ISBN 80-7169-079-1
- [17] KUCHYNKA A KOLEKTIV: *Oční lékařství*, Praha, Grada Publishing 2007, ISBN 978-80-247-1163-8
- [18] KVAPILKOVA, K.: *Přehled chorob zrakového ustroji*, Brno, Národní centrum ošetřovatelství a nelekárských zdravotnických oborů 2003, ISBN 80-7013-380-5
- [19] MANN, Michael D. Vision: Chapter 7. In: MANN, Michael D. *Michaeldmann* [online]. [cit. 2014-01-03]. Dostupné z: <http://michaeldmann.net/mann7.html>
- [20] PLUHÁČEK, F. *Normální binokulární vidění – výukové materiály k předmětu Korekce zraku I*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc
- [21] PLUHÁČEK, F. *Objektivní refrakce – výukové materiály k předmětu Korekce zraku I*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc
- [22] PLUHÁČEK, F. *Vyšetřovací postupy BV a akomodace – výukové materiály k předmětu Korekce zraku II*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc, 2009
- [23] PLUHÁČEK, F. *Základní postupy subjektivní refrakce – výukové materiály k předmětu Korekce zraku I*, Katedra optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci, Olomouc
- [24] ROZSÍVAL, Pavel et al. *Oční lékařství*. 1. vyd. Praha: Galén, ©2006. 373 s. ISBN 80-7262-404-0.
- [25] SEVER, Ania. Night myopia. In: MAJER, Jiří. *Sborník přednášek 2. celostátní studentské konference optometrie*. Brno, 2010.
- [26] SMETKA, Tomáš. Dědičnost krátkozrakosti (myopie). In: *Oční vady* [online]. 2010 [cit. 2013-12-28]. Dostupné z: <http://ocnivady.cz/novinky-a-clanky/dedicnost-kratkozrakosti-myopie>
- [27] SMETKA, Tomáš. Oční vada krátkozrakost (myopie). In: *Oční vady* [online]. [cit. 2013-12-28]. Dostupné z: <http://ocnivady.cz/ocni-vada-kratkozrakost-myopie>

- [28] SRVO: Základy světelné techniky. In: *Profi elektřina* [online]. [cit. 2014-01-12]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/srvo-zaklady-svetelne-techniky>
- [29] SÝKORA, Milan. Vady zobrazení. In: *Paladix* [online]. [cit. 2014-02-18]. Dostupné z: <http://www.x-pozice.cz/clanky/vady-zobrazeni.html>
- [30] SYNEK, Svatopluk a SKORKOVSKÁ, Šárka. *Fyziologie oka a vidění*. Vyd. 1. Praha: Grada Publishing, 2004. 93 s., [8] s. barev. obr. příl. ISBN 80-247-0786-1.
- [31] TUNNACLIFFE Alan H. *Introduction to Visual Optics* (1993).. Association of British Dispensing Opticians. ISBN 0-900099-28-1.
- [32] VALEŠOVÁ, Lucie. Předoperační vyšetření: Základ dobrého výsledku laserové operace očí. In: VALEŠOVÁ, Lucie. *DuoVize: Oční klinika Praha* [online]. [cit. 2014-02-10]. Dostupné z: <http://www.duovize.cz/aktuality/499-predoperacni-vysetreni-zaklad-dobreho-vysledku-laserove-operace-oci/>
- [33] *Worth 4 dot test*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-01-31]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Worth\\_4\\_dot\\_test](http://en.wikipedia.org/wiki/Worth_4_dot_test)
- [34] Y. LeGrand, *Form and Space Vision* (Indiana U.P., Bloomington, Ind., 1967)

# SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1 PAPRSKY DOPADAJÍCÍ NA SÍTNICI EMETROPICKÉHO A MYOPICKÉHO OKA .....	7
OBRÁZEK 2 VJEM OBRAZU MYOPICKÝM OKEM.....	13
OBRÁZEK 3 STRUKTURA SÍTNICE.....	15
OBRÁZEK 4 STRUKTURA FOVEY CENTRALIS .....	17
OBRÁZEK 5 PRŮBĚH ADAPTAČE NA TMU PRO TYČINKY A ČÍPKY.....	18
OBRÁZEK 6 ŠTĚPENÍ RODOPSINU VČETNĚ PŘIBLIŽNÉHO ČASOVÉHO VYJÁDRĚNÍ .....	19
OBRÁZEK 7 SPEKTRÁLNÍ CITLIVOST OKA PŘI FOTOPICKÉM (DENNÍM) I SKOTOPICKÉM (NOČNÍM) VIDĚNÍ ..	20
OBRÁZEK 8 CITLIVOST LIDSKÉHO OKA NA BARVY .....	21
OBRÁZEK 9 DOSAŽENÍ NEJLEPŠÍ SFÉRY U AMETROPICKÉHO OKA .....	29
OBRÁZEK 10 ČERVENO-ZELENÝ TEST .....	30
OBRÁZEK 11 BODOVÝ TEST (SPRCHA).....	31
OBRÁZEK 12 JACKSONŮV ZKŘÍŽENÝ CYLINDR .....	32
OBRÁZEK 13 WORTHOVA SVĚTLA .....	33
OBRÁZEK 14 BÍLÝ BODOVÝ TEST .....	34
OBRÁZEK 15 EXPERIMENTÁLNÍ SESTAVA.....	36
OBRÁZEK 16 GRAF ZÁVISLOSTI RELATIVNÍHO ROZOSTŘENÍ OPTICKÉ SOUSTAVY OKA NA JASU STIMULU ..	38
OBRÁZEK 17 GRAF ZÁVISLOSTI RELATIVNÍHO ROZOSTŘENÍ NA BÍLÉM A ZELENÉM SVĚTLE.....	39
OBRÁZEK 18 GRAF ZÁVISLOSTI ROZOSTŘENÍ NA VLIVU PŘÍTOMNOSTI SFÉRICKÝCH ABERACÍ .....	39
OBRÁZEK 19 GRAF ZÁVISLOSTI ROZOSTŘENÍ NA STAVU AKOMODACE .....	40
OBRÁZEK 20 VZDÁLENOST CÍLE OD LETADLA A ČAS DO NÁRAZU .....	48

# SEZNAM TABULEK

TABULKA 1 ODHAD PŘEDLOŽENÉ SFÉRY PODLE DOSAŽENÉHO VISU.....	29
TABULKA 2 DIOPTRICKÉ HODNOTY JZC V ZÁVISLOSTI NA VISU.....	31