

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY

AFOKÁLNÍ FOTOGRAFIE NA ŠTĚRBINOVÉ LAMPĚ

Diplomová práce

VYPRACOVALA:
Bc. Marcela Urbanová
Obor 5345R008 Optometrie
Studijní rok 2013/2014

VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE:
RNDr. Mgr. František Pluháček, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Mgr. Františka Pluháčka, Ph.D. za použití literatury a dalších informačních zdrojů uvedených v seznamu použité literatury.

V Olomouci 22.4.2014

Bc. Marcela Urbanová

Na tomto místě bych ráda poděkovala RNDr. Mgr. Františku Pluháčkovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, cenné rady a odborný dohled. Dále děkuji svému konzultantovi Dr. Ing. Zdeňku Řehořovi, za cenné připomínky, kterými přispěl k vypracování této diplomové práce. Na závěr bych ráda poděkovala Ing. Pavlu Kučerovi za věcné připomínky při zpracování praktické části práce.

Tento text vznikl za podpory projektu IGA PřF UP v Olomouci s názvem "Optometrie a její aplikace", č. IGA_PrF_2014015.

Obsah

Obsah.....	4
Seznam použitých veličin a jednotek.....	7
Úvod.....	9
1 Štěrbínová lampa.....	11
1.1 Osvětlovací systém.....	12
1.1.1 Osvětlení s filtry.....	13
1.2 Pozorovací systém (zvětšovací soustava).....	13
1.3 Mechanický systém.....	15
1.4 Osvětlovací techniky.....	16
1.4.1 Techniky přímého osvětlení.....	16
1.4.1.1 Difúzní osvětlení.....	17
1.4.1.2 Optický řez.....	17
1.4.1.3 Paralelní řez.....	18
1.4.1.4 Široký svazek.....	19
1.4.1.5 Kuželovitý svazek.....	20
1.4.1.6 Zrcadlový reflex.....	20
1.4.1.7 Šikmé osvětlení.....	21
1.4.2 Nepřímé osvětlení.....	22
1.4.2.1 Osvětlení blízkého okolí.....	22
1.4.2.2 Sklerální rozptyl.....	23
1.4.2.3 Zpětné osvětlení.....	23
1.5 Nastavení přístroje a umístění pacienta.....	26
1.5.1 Zaostření přístroje.....	26
2 Základy fotografie.....	28
2.1 Základní parametry ve fotografii.....	28
2.1.1 Clona a clonové číslo.....	28
2.1.2 Závěrka a čas expozice.....	30
2.1.2.1 Vliv expozičního času na výsledný snímek.....	30
2.1.3 ISO citlivost a šum.....	31
2.1.4 Reciprocita času, clony a citlivosti.....	32

2.1.4.1	Automatický režim.....	33
2.1.4.2	Poloautomatický režim.....	33
2.1.4.3	Časová automatika.....	33
2.1.4.4	Clonová automatika.....	33
2.1.4.5	Manuální režim.....	33
2.1.5	Měření expozice.....	34
2.1.5.1	Integrální měření.....	34
2.1.5.2	Selektivní měření.....	34
2.1.5.3	Bodové měření.....	34
2.2	Vlastnosti objektivu.....	35
2.2.1	Ohnisková vzdálenost.....	35
2.2.2	Světelnost objektivu.....	36
2.2.3	Rozlišovací mez.....	37
3	Digitální záznamová zařízení štěrbinových lamp.....	39
3.1	Záznam v primárním ohnisku.....	39
3.2	Afokální soustava.....	40
4	Zpracování digitální fotografie.....	42
4.1	Změna rozlišení.....	42
4.2	Rotace obrázku.....	43
4.3	Změna jasu a kontrastu.....	43
4.4	Oříznutí.....	44
4.5	Vyvážení barev.....	44
4.6	Redukce šumu.....	44
5	Praktická část.....	46
5.1	Úvod do problematiky.....	46
5.2	Vybavení pro afokální projekci a metodika.....	47
5.3	Výsledky a diskuse.....	50
5.3.1	Vliv aberací na výsledný snímek.....	50
5.3.2	Diskuse k aberacím.....	50
5.3.3	Difúzní osvětlení.....	52
5.3.4	Diskuse k difúznímu osvětlení.....	54
5.3.5	Optický řez.....	55

5.3.6 Diskuse k optickému řezu.....	56
5.3.7 Paralelní řez.....	58
5.3.8 Diskuse k paralelnímu řezu.....	58
5.3.9 Široký svazek.....	60
5.3.10 Diskuse k širokému svazku.....	61
5.3.11 Sklerální rozptyl.....	62
5.3.12 Diskuse ke sklerálnímu rozptylu.....	63
5.3.13 Zrcadlový reflex.....	64
5.3.14 Diskuse k zrcadlovému reflexu.....	64
5.3.15 Nepřímé zpětné osvětlení.....	66
5.3.16 Diskuse k nepřímému zpětnému osvětlení.....	66
5.3.17 Žlutý bariérový filtr.....	67
5.3.18 Diskuse k žlutému bariérovému filtru.....	68
Závěr.....	69
Seznam použité literatury.....	73

Seznam použitých veličin a jednotek

Použité veličiny:

a	předmětová vzdálenost
c	clonové číslo
D_{vs}	průměr vstupní pupily objektivu
f	ohnisková vzdálenost
f'	ohnisková vzdálenost objektivu fotoaparátu
λ	vlnová délka
β	zorný úhel
d	úhlopříčka senzoru
u	úhel odrazu
i	úhel dopadu
δ	velikost rozptylového kroužku
h	teoretická hloubka pole ostrosti
S	světelnost
ψ	úhlová vzdálenost
R	rozlišovací schopnost objektivu, prostorová frekvence
ρ	teoretická vzdálenost čar
Γ	úhlové zvětšení
Γ_s	zvětšení afokálního spojení
g	zvětšovací faktor

Použité jednotky:

mm	milimetr
°	stupeň
s	sekunda
rad	radián
cm	centimetr
palec	angl. inch, 1 inch odpovídá přibližně 2,54 cm
Mpx	megapixel

lx	lux
nm	nanometr
DPI	angl. dots per inch, rozlišení v bodech na jeden palec

Úvod

Štěrbinové lampy (ŠL) patří k základnímu vybavení každého oftalmologického i optometrického pracoviště. Tento relativně univerzální přístroj je pravděpodobně nejdůležitějším objektivním přístrojovým vybavením kontaktologické praxe. Nicméně je také důležitý při výkonu běžné praxe obecně. Umožňuje optometristovi či oftalmologovi objektivně posoudit zdravotní stav pozorovaného oka, zejména jeho předních partií. Pomocí přídatného příslušenství lze zvětšit rozsah možností vyšetření na štěrbinové lampě. Jedná se o gonioskop pro vyšetření přední oční komory, Volkovu čočku pro vyšetření očního pozadí, aplanační tonometr pro měření nitroočního tlaku a pachymetr pro měření tloušťky rohovky. Znalost jednotlivých technik osvětlení, které zařízení nabízí, přispívá k důkladnému a komplexnímu vyšetření všech očních tkání.

Stejný význam, jako provedení vyšetření, má rovněž zaznamenání jeho výsledků. Pokud při vyšetřování nebo pozorování oka shledá optometrista či oftalmolog cokoliv zajímavého či neobvyklého, je nutné si tento nálezný zaznamenat. V běžné praxi optometristy je zvykem používat grafické schéma pro ruční záznam doplněné slovním popisem, který má objektivně informovat o výsledku. To však bývá mnohdy nedostatečné a nepřesné. Proto může být digitální obrazový záznam cenným doplňkem zdravotnické dokumentace klienta. Výhodou pořízení digitálního záznamu je také možnost danou problematiku pacientům názorně objasnit.

V současnosti existují pouze dvě varianty, kterými může být štěrbinová lampa vybavena, aby poskytla optometristovi či oftalmologovi možnost poříditi digitální záznam nálezu. Jedná se o integrovanou kameru, která je součástí těla biomikroskopu či mikroskopické hlavy, nebo o připojení externího fotoaparátu či kamery přes dělič paprsků. Obě zmíněné varianty však zůstávají především v nemocničním sektoru. Pravděpodobně je to zapříčiněno vysokou pořizovací cenou štěrbinové lampy se snímacím systémem a častějším výskytem patologických stavů oka na očním oddělení.

Optometristé, kteří provozují oční optiky, musí být dnes vysokoškolsky vzdělaní odborníci, což samo o sobě představuje první nemalou investici. Nutně také vložili další finanční prostředky do stavebních úprav, pro naplnění legislativních požadavků ČR a

EU, nemluvě o pořízení nezbytného přístrojového vybavení. Tyto počáteční investice pak hrají významnou roli při rozhodování o pořízení štěrbinové lampy se snímacím zařízením. Podstatně levnější alternativou pro pořízení trvalého záznamu může být tzv. afokální fotografie na štěrbinové lampě při využití cenově dostupného vybavení. Technika afokální fotografie je založena na využití optické soustavy, která vytváří výstupní svazek paralelních paprsků.

Cílem praktické části práce je navrhnout a realizovat uspořádání pro afokální fotografii na štěrbinové lampě a ověřit jeho funkčnost. Dále zjistit optimální nastavení parametrů systému pro snímání při různých technikách vyšetřování.

1 ŠTĚRBINOVÁ LAMPA

Štěrbínová lampa (tzv. biomikroskop) je zdaleka nejpoužívanější a nejuniverzálnější zařízení pro optické vyšetření oka. Doposud žádný přístroj neměl takový dopad na klinickou praxi. Hraje důležitou úlohu, jak ve všech aspektech kontaktologické praxe, tak i při detekci a diagnostice očních onemocnění. Umožňuje detailní vyšetření předního segmentu oka, včetně přídatných struktur: rohovka, spojivka, bělima, duhovka, oční čočka a víčka. Za použití doplňkových příslušenství je neocenitelný taktéž při vyšetření zadních partií oka, komorového úhlu či k měření nitroočního tlaku.

Samotné zařízení se skládá z osvětlovací soustavy, pozorovacího systému a potřebného mechanického zařízení pro nastavení přístroje do nejvhodnější pozice pro vyšetření pacienta. Pokud jde o design, existují dvě provedení nazývané podle autora: typ Zeiss a typ Haag Streit (viz obr. 1).



Obrázek 1: Typy štěrbinových lamp – Haag Streit (vlevo), Zeiss (vpravo) [23]

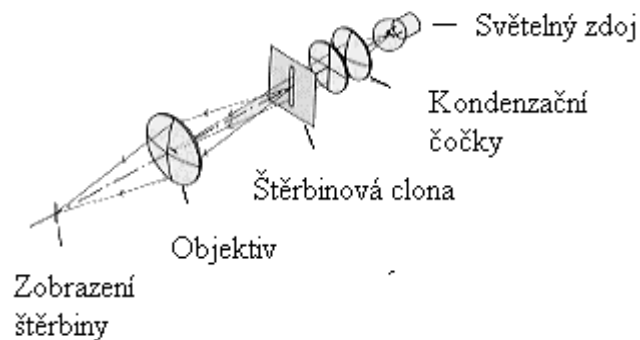
Oba typy pracují na obdobných optických principech, kde cílem je vytvořit homogenní osvětlení pozorované oblasti. [1, 3, 6]

- Typ Zeiss má umístěný světelný zdroj pod pozorovacím systémem. Pro odraz paprsku je v soustavě použitý hranol.
- Typ Haag Streit má umístěný světelný zdroj na horní straně přístroje. Pro odraz paprsku je v soustavě použito zrcadlo.

Klíčový rozdíl mezi oběma typy spočívá v tom, že typ Haag Streit umožňuje vertikální náklon osvětlovacího systému, což typ Zeiss neumožňuje. Vertikální náklon se používá především při gonioskopii a během nepřímé oftalmoskopie pro zvětšení periferního zorného pole. [6]

1.1 Osvětlovací systém

Osvětlovací systém u obou typů štěrbinových lamp je založen na principu Köhlerova osvětlení. Při tomto osvětlení zobrazuje kondenzor světelný zdroj do roviny objektivu. Obraz světelného zdroje v objektivu se stává výstupní pupilou systému. Těsně vedle kondenzoru je umístěna štěrbinová clona, kterou se obraz zobrazí ve vyšetřovaném oku. Výsledkem je homogenní a maximální osvětlení vyšetřovaného oka, ležícího v předmětové rovině. Schéma osvětlovací soustavy je zobrazeno na obr. 2. [4]



Obrázek 2: Schéma osvětlovací soustavy [24]

Osvětlovací systém se skládá z těchto částí:

- Světelný zdroj - většinou tvořen halogenovou žárovkou, která je schopna vytvořit osvětlení až 600 000 lx. Halogenové žárovky poskytují kratší vlnové délky světla, které umožňují lepší vizualizaci drobných staveb tkáňě v porovnání s delšími vlnovými délkami světla wolframové žárovky. Halogenové žárovky produkují nejen intenzivnější a jasnější světlo s malou tvorbou tepla, ale mají také velmi dlouhou životnost.
- Kondenzor – skládá se ze dvou asférických plan-konvexních čoček obrácených k sobě vypuklými plochami (snížení chromatické aberace), které koncentrují

světlo v souměrném kuželu směrem k vyšetřovanému oku. Poněvadž obraz světelného zdroje má padnout do objektivu, je nutné, aby druhá čočka kondenzoru měla přibližně stejnou ohniskovou vzdálenost jako objektiv.

- Nastavitelná štěrbinová clona – umožňuje plynulou změnu výšky, šířky a rotaci štěrbinu do horizontální či vertikální polohy.
- Objektiv - multiasférická konstrukce čoček (snížení aberací), zajišťuje ostré zobrazení až do krajů. [3, 6]

1.1.1 Osvětlení s filtry

Součástí osvětlovací soustavy jsou filtry, které se vkládají do dráhy světla. Některé z nich jsou použity z ochranných důvodů, např. tepelný filtr, zatímco jiné mění chromatičnost pozorovaného obrazu. Setkat se můžeme i s tzv. neutrálním filtrem, který zeslabuje intenzitu záření víceméně rovnoměrně v celé pozorované oblasti.

Zelený filtr zvyšuje kontrast cév proti zeleně osvětlenému pozadí tím, že blokuje červenou oblast světla. Cévy a krvácení se jeví černě. Dále se používá ve spojení s barvením oka bengálskou červení. Vyšetření nám umožňuje zviditelnit odumřelé rohovkové epiteliální buňky. Barvicí látka v oku pacienta vyvolává pocit pálení a štípání. Červený filtr se používá při barvení oka s lisaminovou zelení. Oproti bengálské červení nevyvolává u pacientů pocity pálení a navíc nabízí lepší kontrast postižených míst než samotná červeň.

Modrý excitační filtr (490 nm) se používá při barvení fluoresceinem. Umožňuje sledovat defekty na rohovce, posoudit kvalitu slzného filmu, vyhodnotit usazení pevné kontaktní čočky během aplikace atd.. Pro zvýšení kontrastu při barvení fluoresceinem lze umístit před mikroskop ještě bariérový žlutý filtr (520 nm). Žlutý filtr blokuje modré světlo a nechává projít zelené světlo (550 nm). [3, 25]

1.2 Pozorovací systém (zvětšovací soustava)

Mikroskopy se skládají z objektivu a okuláru a totéž platí i pro štěrbinové lampy. Všechny štěrbinové lampy mají binokulární mikroskop, který poskytuje stereoskopicky zvětšený náhled očních struktur. Zvětšení se obvykle pohybuje v rozmezí 5x – 40x dle výrobce. Některé biomikroskopy (využívané při výzkumu) poskytují zvětšení dokonce

100x. Zvětšení je obvykle realizováno třemi konstrukčními typy:

- Greenoughův systém: Tento systém je pojmenovaný podle svého vynálezce Horatia Greenougha a využívá k vytvoření stereoeffektu dvou oddělených a symetrických optických kanálů obsahujících objektiv a okulár, které jsou společně uloženy v těle mikroskopu. Jejich optické osy spolu svírají konvergenční úhel očí, při fixaci předmětu v konvenční zrakové vzdálenosti, o velikosti $14^\circ - 16^\circ$. Výhodou pro vyšetřujícího je minimální namáhání očí. Tento systém disponuje dvoustupňovou volbou zvětšení.
- Galileův rotační systém: Tento systém se používá častěji. Optická dráha stereomikroskopu se skládá ze společného objektivu, který je sdílen dvěma okuláry. Světlo prochází objektivem a dále dvěma paralelními kanály až do okulárů. Rozdělení paprsků do těchto dvou kanálů je realizováno pomocí prizmatického efektu optického systému objektivu. Zvětšený obraz, vycházející z Galileova měniče zvětšení (rotační buben s Galileovými dalekohledy), je pozorován okulárem. Tento systém umožňuje střídání velikosti zvětšení v přesně daných poměrech (zpravidla v 5 krocích).
- Zoom: Tímto systémem jsou vybaveny nejnovější štěrbinové lampy. Na rozdíl od Galileova měniče zvětšení se v tomto případě o zvětšení stará zoomovací soustava čoček. Tato varianta dovolí vyšetřujícímu, aby si nastavil zvětšení přesně podle momentálních potřeb a zároveň měl v každém okamžiku pozorovaný objekt na dohled ve středu vyšetřovaného pole.

Zvětšovací systémy zachycuje obr. 3. Kromě toho mohou být štěrbinové lampy vybaveny doplňkovými okuláry, které umožňují širší rozsah zvětšení. Obecně platí, že čím větší má okulár zvětšení, tím bude celkové zvětšení biomikroskopu větší. S rostoucím zvětšením biomikroskopu se zmenšuje velikost zobrazovaného vyšetřovaného pole a klesá hloubka ostrosti. Proto je potřeba zvážit optimální požadavky na velikost zvětšení a požadované zobrazované pole pro danou vyšetřovací techniku. [2, 4, 6, 7, 8]



Obrázek 3: Zvětšovací systémy: Greenoughův systém (vlevo), Galileův rotační systém (uprostřed) a Zoomovací systém (vpravo) [6]

Nejdůležitějším rysem jakéhokoliv mikroskopu je rozlišení. Rozlišení mikroskopu je závislé na celé řadě faktorů:

- vlnová délka světla (kratší vlnové délky poskytují vyšší rozlišení)
- index lomu mezi vyšetřovaným okem a objektivem (čím vyšší, tím lépe)
- pracovní vzdálenost (čím kratší, tím lépe)
- průměr objektivu (čím větší, tím lépe)

První dva body v seznamu nemůžeme v případě štěrbinové lampy ovlivnit. Naopak pracovní vzdálenost měnit můžeme. Nevýhodou ale je, že pracovní vzdálenost je omezena potřebou vyšetřujícího předřadit další zařízení (např. gonioskopickou čočku) nebo provést potřebnou manipulaci s okem během vyšetření. Průměrná hodnota se pohybuje od 90 mm do 120 mm. Asi nejlepší způsob, jak zlepšit rozlišení mikroskopu, spočívá ve změně průměru objektivu. Bohužel, při použití velkého průměru se více projevují optické aberace, čímž dochází ke snížení kvality obrazu. V dnešní době se používají čočky s multi-asferickou konstrukcí, které tyto aberace výrazně snižují. Navíc se na čočky uvnitř pozorovacího systému nanáší antireflexní vrstva pro snížení reflexí a ztráty kontrastu. [3, 6]

1.3 Mechanický systém

Osvětlovací a pozorovací systémy jsou umístěny na jednom společném čepu tak, že se otáčejí horizontálními směry kolem bodu zaostření (např. oko). Proto je možné úhel mezi zdrojem světla a mikroskopem měnit. Vertikální umístění přístroje vzhledem k pacientovi se nastavuje pomocí vyšetřovacího křesla nebo stolu, na kterém je štěrbinová lampa nainstalovaná. Centrální nastavení hlavy vyšetřovaného se zajistí jemným vertikálním posuvem opěrky pro bradu. Vlastní přístroj je umístěn

na pohyblivém stojanu, který je opatřen joystickem. Joystick se používá k pohybu dopředu a dozadu (zaostření), stejně jako doleva a doprava. [2, 3]

Vertikální umístění přístroje je nezbytné nejen pro počáteční nastavení. Výška štěrbin u některých přístrojů dosahuje jen asi 9 mm, přestože vertikální průměr rohovky je 10 až 12 mm. Nedodržením centrálního nastavení hlavy pacienta bude mít vyšetřující potíže s prohlížením spodních a horních částí oka.

Šířka štěrbin je plynule měnitelná od 0 do 12 mm, i když se údaje liší podle výrobce.

1.4 Osvětlovací techniky

Pro zhodnocení předního segmentu oka je potřeba znát a provádět několik různých osvětlovacích technik. Lze tak posoudit transparentnost optických médií, struktury jednotlivých tkání a možný vznik patologií. Osvětlovací techniky dělíme do dvou hlavních kategorií:

- přímé osvětlení
- nepřímé osvětlení

1.4.1 Techniky přímého osvětlení

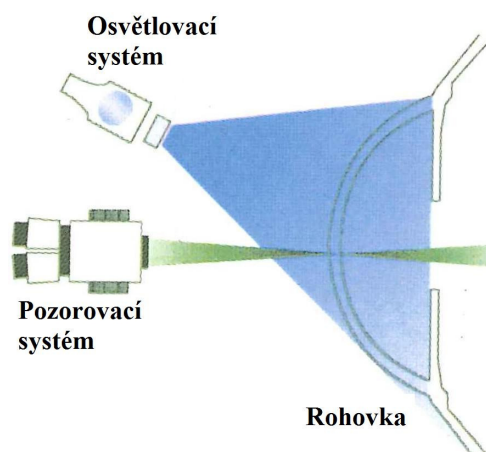
Přímé osvětlení, jak sám název napovídá, popisuje situaci, kdy je svazek paprsků i mikroskop zaostřen na stejný (pozorovaný) objekt. Změnou šířky štěrbin, stupněm zvětšení a úhlem mezi mikroskopem a paprskem, je možné přejít z obecného pohledu předního segmentu oka na trojrozměrné optické části rohovky, čočky nebo přední komory. Přímé osvětlení může být buď difúzní nebo fokální, které se dále člení na:

- optický řez
- paralelní řez
- široký svazek
- kuželovitý svazek
- zrcadlový reflex
- šikmé osvětlení

1.4.1.1 Difúzní osvětlení

Tato metoda se využívá pro celkové zobrazení předního segmentu oka. Oblast okolo očí, spojivky, skléry, rohovky, duhovky a víček může být rychle přezkoumána pro hrubé abnormality. Při vyšetření se používá malé zvětšení mikroskopu (6x nebo 10x), aby bylo zachováno dostatečně velké zorné pole. Široký paprsek světla (1 - 5 mm) je rozptýlený předřazeným matným filtrem (obr. 4). Osvětlující paprsek svírá s osou pozorování úhel mezi 10° až 70° . Intenzitu osvětlení lze regulovat změnou šíře štěrbinu nebo pomocí reostatu. [2, 3, 7]

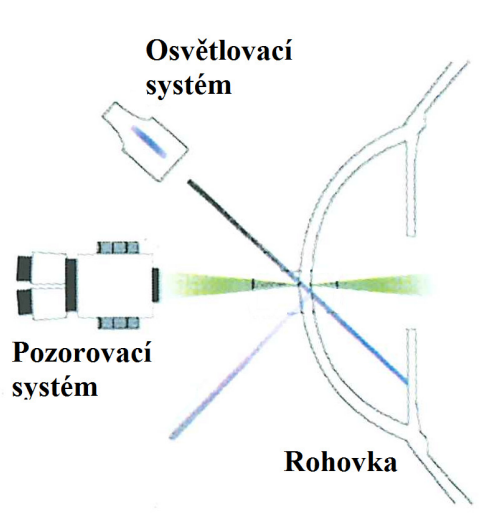
Pro podrobnější prohlédnutí očních struktur jsou použity specifitější osvětlovací techniky.



Obrázek 4: Difúzní osvětlení [37]

1.4.1.2 Optický řez

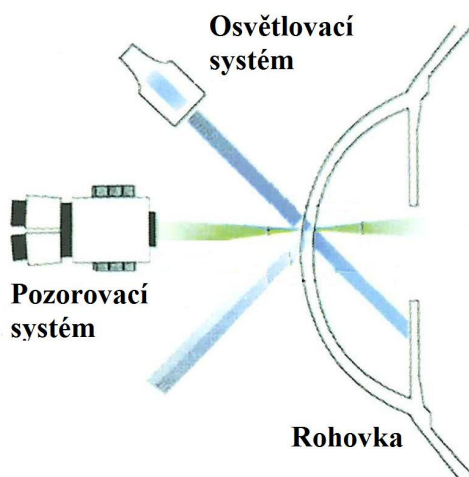
Při vyšetření optickým řezem se používá maximální intenzita osvětlení s využitím tenkého paprsku světla (0,02 – 0,1 mm), viz obr. 5. Obecně platí, že úhel, který svírá osvětlující paprsek světla s mikroskopem, by měl být kolem 30° až 60° , ale ke zvýšení velikosti řezu může být tento úhel dále zvětšen až na 90° . Čím větší úhel vyšetřující zvolí, tím bude větší řez, ale hůře rozliší objekty. Tato metoda je využívána pro vyšetření rohovky, změny epitelu, stromatu i endotelu. [3, 7]



Obrázek 5: Optický řez [37]

1.4.1.3 Paralelní řez

Technika paralelních řezů je nejčastěji používaná metoda přímého osvětlení. Tento způsob osvětlení umožňuje sledovat struktury trojrozměrně. Kromě toho lze pozorovat erozi epitelu, vaskularizaci, infiltráty, jizvy a strie. Jedná se o analogickou metodu předcházející techniky, pouze s užitím širšího řezu (obr. 6). Šířka štěrbinu se nastaví na 0,1 – 0,7 mm, což odpovídá síle rohovky. Zvětšení mikroskopu se nastavuje podle velikosti vyšetřovaného objektu. Intenzita osvětlení je používána střední až vysoká. [3, 7]



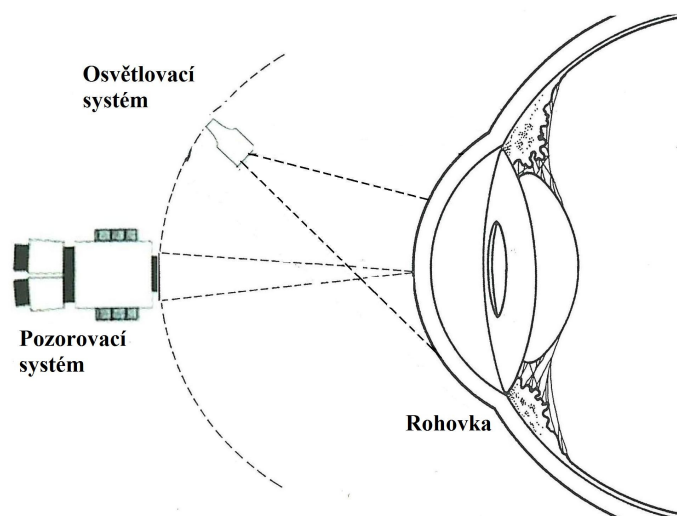
Obrázek 6: Paralelní řez [37]

1.4.1.4 Široký svazek

Při metodě širokého svazku se nastaví paprsek širší, než je síla rohovky (1 - 5 mm), viz obr. 7. Úhel pozorování i intenzitu vyšetřující upravuje podle potřeby. Zvětšení se u tohoto typu osvětlení volí střední. Tímto způsobem je pak možné pozorovat zákaly v rohovce, nervová vlákna rohovky, spojivkové anomálie a usazeniny pod kontaktními čočkami. [7]

V návaznosti na využití vitálního barvení s použitím širokého svazku je popsána metoda BUT (Break-Up Time – čas do roztržení slzného filmu) ke zhodnocení stability slzného filmu. Tato metoda vychází z toho, že stabilita slzného filmu se mezi jednotlivým mrknutím snižuje, čímž dochází k roztržení slzného filmu a na rohovce vznikají suchá místa. Základem této metody je široký svazek modrého světla, po jehož nastavení pohybujeme osvětlovacím ramenem přibližně do 45°. Intenzita světla se při této metodě volí maximální. Zvětšení se doporučuje nastavit na 10x až 16x. Pro zvýšení kontrastu obrazu je vhodné před mikroskop předřadit žlutý filtr. [25, 26]

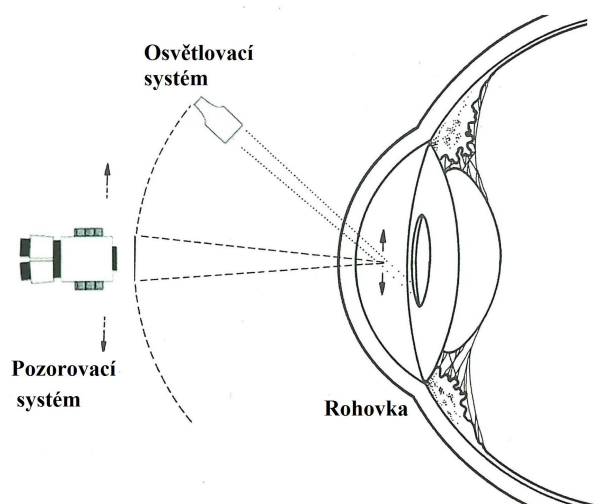
Při provádění této metody se aplikuje pacientovi fluorescein na bulbární spojivku navlhčeným fluorescenčním papírkem (navlhčení se provede pomocí sterilního roztoku např. fyziologického). Pacient je požádán, aby si zamrkal, tím se fluorescein rozprostře. Poté musí pacient setrvat s otevřenými očima a vyšetřující v zelenožlutém fluoresceinovém zabarvení sleduje, za jak dlouho dojde k prvnímu výskytu černých skvrn (roztržení slzného filmu). Tento čas si zaznamená. Za normální hodnoty testu se považuje čas nad 10 s. [25]



Obrázek 7: Široký svazek (upraveno) [27]

1.4.1.5 Kuželovitý svazek

Tato technika se používá pouze, pokud je podezření na přítomnost volných elementů nebo tyndalizace v přední komoře, např. u akutní přední uveitidy. Při vyšetření kuželovitým paprskem se používá střední zvětšení mikroskopu (25x). Šířka paprsku se nastaví na 0,1 mm a výška se sníží na 1,5 mm. Intenzita osvětlení má maximální hodnotu. Úhel mezi osvětlovacím a pozorovacím ramenem se proměňuje v rozmezí 30° - 60°. Chceme-li použít tuto techniku osvětlení, musí být v místnosti tma. Tato osvětlovací technika je znázorněna na obr. 8. [3, 7]



Obrázek 8: Kuželovitý paprsek (upraveno) [27]

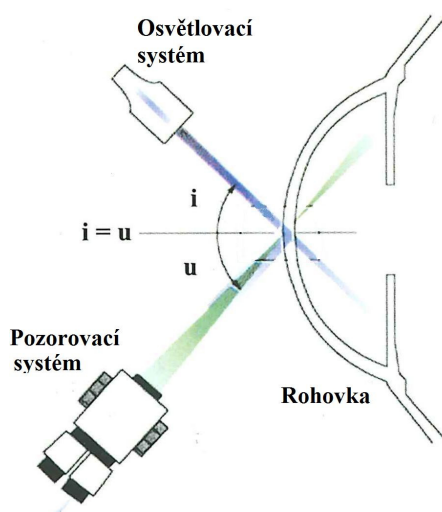
1.4.1.6 Zrcadlový reflex

Jedná se o další techniku přímého osvětlení, která využívá paralelních řezů. Na začátku vyšetření je použito malé zvětšení. Osvětlovací a pozorovací rameno je umístěno tak, aby se úhel dopadajícího světla (i) rovnal úhlu odrazu (u), viz obr. 9. Světlo se může odrážet na všech rozhraních:

- slzný film/epitel
- endotel rohovky/komorová voda
- komorová voda/čočka

Odražené světlo prochází pouze jedním okulárem a vytváří oslnivý (tzv. zrcadlový) reflex. Pozorování se pak provádí druhým okulárem při největším zvětšení, proto je tato technika monokulární.

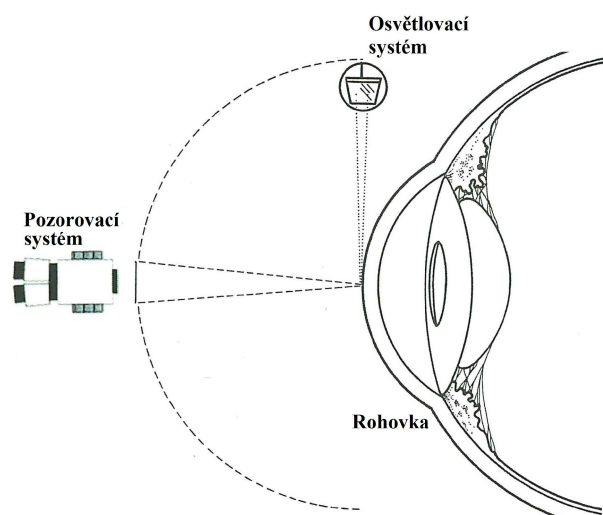
Tento způsob osvětlení je zvláště vhodný pro pozorování endoteliální mozaiky (např. polymegatismus). Při vyšetření se používá velké zvětšení mikroskopu, alespoň 40x, pro hrubé vyhodnocení. Pokud chceme pozorovat jednotlivé buňky, je zapotřebí zvětšení až 80x. Tato technika se dále využívá při vyšetření slzného filmu, kdy se hodnotí interference na lipidové vrstvě slzného filmu. Interferenční jevy se pozorují při velkém zvětšení na pozadí zornice. Bíložlutý a vícebarevný interferenční obrazec svědčí o dostatečné tloušťce lipidové vrstvy. Pokud obrazec obsahuje šedavé linky nebo je bezbarvý, tloušťka lipidové vrstvy je tenčí. [2, 3, 7, 26]



Obrázek 9: Zrcadlový reflex, úhel dopadu (i) se rovná úhlu odrazu (u)[37]

1.4.1.7 Šikmé osvětlení

Metoda šikmého osvětlení znovu vychází z paralelních řezů. Světelné rameno je otočené prakticky o 90° vůči mikroskopu, čímž získáváme tangenciální osvětlení (obr. 10). Tangenciální osvětlení pomáhá zvýšit kontrast a zviditelnit jemné nerovnosti a změny v oční tkáni. Toto osvětlení je užitečné zejména pro pozorování nádorů a névů oční duhovky. [3, 7]



Obrázek 10: Šikmé osvětlení (upraveno) [27]

1.4.2 Nepřímé osvětlení

Při použití nepřímého osvětlení je světelný paprsek zaměřen na pozici těsně vedle vyšetřované oblasti, čehož je docíleno pootočením prizmatu osvětlovacího systému mimo osu ramene. Vyšetřovaná oblast je pak pozorována poněkud ve stínu na základě rozptýleného světla. Tento postup je užitečný pro pozorování rohovkových afekcí (hlavička pterygia), pigmentových skvrn, edému nebo zákalu rohovky, mikrocyst či vakuol. Techniky nepřímého osvětlení lze dále rozdělit na:

- osvětlení blízkého okolí
- sklerální rozptyl
- zpětné osvětlení

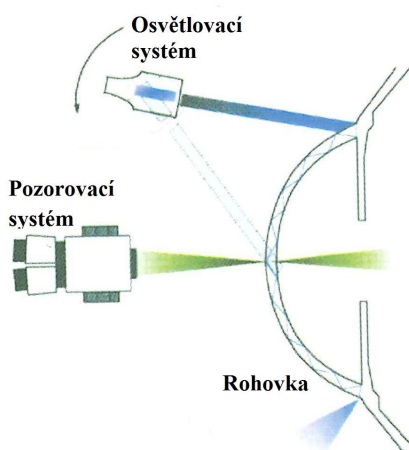
1.4.2.1 Osvětlení blízkého okolí

Technika osvětlení blízkého okolí dovoluje pozorovat charakter rohovky v okolí afekcí. U této techniky nastavíme paralelní řezy (šířka paprsku 0,1 – 0,7 mm) a poté pootočíme hranolem osvětlovací soustavy štěrbinové lampy. Světelný paprsek zaměříme k okraji pozorovaného objektu. Objekt je pozorován ve zpětném osvětlení. [3]

1.4.2.2 Sklerální rozptyl

Metoda sklerálního rozptylu využívá vnitřního odrazu od zornice nebo očního pozadí, zatímco mikroskop je zaměřen na rohovku. Světelný paprsek o šířce 1 - 1,5 mm je nastaven v úhlu $45^\circ - 60^\circ$ a prizmatem otočen k nasální (nebo temporální) oblasti limbu. Rozptýlené světlo bude zachováno kolem rohovkového limbu a na protilehlé straně osvětlu se objeví zář, tzv. haló efekt. Haló efekt je vyvolán odrazem světelného paprsku uvnitř v rohovce (obr. 11).

Rozptýlené nepřímé světlo zvýrazňuje velmi jemné rohovkové změny, jako jsou zjizvení rohovky, edém, infiltráty, zákaly nebo cizí tělesa. [2, 3, 7, 8]



Obrázek 11: Sklerální rozptyl [37]

1.4.2.3 Zpětné osvětlení

Jedná se o další techniku nepřímého osvětlení. Světlo se odráží od hlubších struktur oka (duhovky, přední plochy čočky nebo sítnice), zatímco mikroskop je zaměřen na rohovku. Struktury nebo léze jsou pozorovány ve světle odraženém. Zpětné osvětlení se dělí na přímé a nepřímé.

Přímé zpětné osvětlení

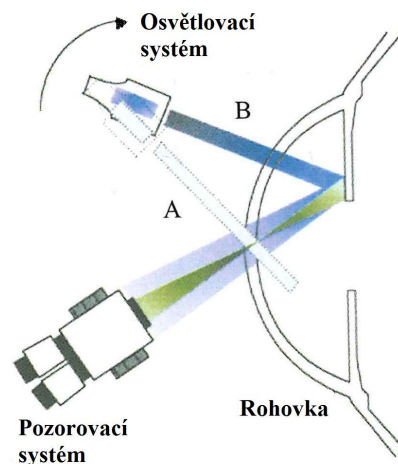
Při přímém zpětném osvětlení se objekty pozorují proti reflexu od duhovky či čočky nebo v červeném reflexu od pozadí sítnice. Objekty se jeví tmavě proti světlému pozadí, např. jizvy, depozita v rohovce či cévy. Podle typu reflexe tak dále rozdělujeme

techniky přímého zpětného osvětlení na:

- přímé duhovkového zpětné osvětlení
- přímé čočkové zpětné osvětlení
- přímé sítnicové zpětné osvětlení

Technika přímého duhovkového zpětného osvětlení

Technika se začíná shodně jako u přímého osvětlení, tj. svazek paprsků i mikroskop jsou zaostřeny na stejný (pozorovaný) objekt (na obr. 12 značeno písmenem A). Poté je osvětlovací paprsek posunut temporálně směrem do místa, kde od duhovky odražený paprsek rozjasní část rohovky, která má být pozorovaná (na obr. 12 značeno písmenem B). Pozoruje se ve žlutém poli duhovkového reflexu. [26]



Obrázek 12: Přímé duhovkové zpětné osvětlení: výchozí postavení zdroje světla (A), postavení zdroje světla pro pozorování v duhovkovém reflexu (B) [37]

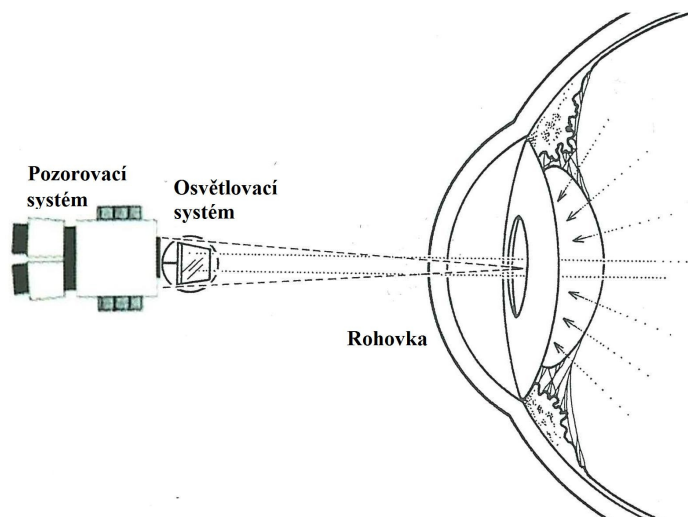
Technika přímého čočkového zpětného osvětlení

Odrazem světelného paprsku od přední plochy čočky se získá našedlé až bílé světlo, ve kterém jsou pozorovány objekty. Tato technika se využívá pro vyhodnocení povrchových rohovkových defektů a jizev. [26]

Technika přímého sítnicového zpětného osvětlení

Při tomto osvětlení je mikroskop zaostřen na sledovaný objekt a osvětlovací

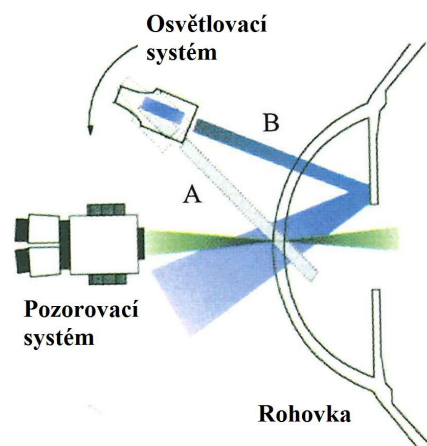
svazek paprsků je posunut na pupilární okraj (obr. 13). Šířkou světelného paprsku se mění světelná intenzita pozadí. Čím širší je světelný paprsek, tím je větší světelná intenzita pozadí, ale menší průměr zornice. Proto se vyšetření provádí po předchozí mydriáze (rozšíření zornice). V případě odrazu světla od pupily zrakového terče může získat pozadí oranžovou barvu oproti obvyklé červené. [26, 27]



Obrázek 13: Přímé sítnicové zpětné osvětlení (upraveno) [27]

Nepřímé zpětné osvětlení

Při nepřímém zpětném osvětlení se opět využívá odražený paprsek od duhovky. Osvětlovací a pozorovací soustava je nastavena jako při přímém osvětlení (na obr. 14 značeno písmenem A) a poté je světelný paprsek horizontálně decentrován (na obr. 14 značeno písmenem B). Odražený paprsek jde mimo sledovaný objekt. Objekty (rohovkové jizvy a dystrofie) se pozorují proti tmavému pozadí, které vytváří pupila. Tato metoda je užitečná také pro posouzení velikosti a hustoty zákalu, nikoli však pro určení jeho lokalizace. [3, 7, 8, 27]



Obrázek 14: Nepřímé zpětné osvětlení [37]

1.5 Nastavení přístroje a umístění pacienta

Před usazením pacienta za štěrbinovou lampu je třeba vyčistit opěrky hlavy a brady dezinfekčním přípravkem. Následně vyšetřující usadí pacienta k přístroji. Pozice pacienta vůči přístroji by měla být pohodlná a vyrovnaná, což usnadní průběh vyšetření. Výškově nastavitelný stolec pod štěrbinovou lampou se nastaví tak, aby se pacient mírně nakláněl dopředu do tvarované opěrky pro fixaci hlavy. Brada pacienta je opřena v opěrce pro bradu. Pohybem joysticku ve směru nahoru a dolů vyšetřující nastaví výšku měřicí hlavy tak, že postranní značka na opěrce pro hlavu bude ve výšce očního koutku pacienta. [1, 5]

Po dokončení nastavení a umístění vyšetřující poučí pacienta, aby se zaměřil na jeho ucho nebo objekt na druhé straně místnosti. Delší užití fixační značky není vhodné z důvodu zvýšené konvergence a vyšší únavy. [1]

1.5.1 Zaostření přístroje

Správné nastavení okuláru je zcela nezbytné pro dosažení přesného krytí obrazů levého a pravého oka. Pro binokulární vidění se okuláry nastaví na pupilární vzdálenost (PD) vyšetřujícího. Často je zapotřebí tuto vzdálenost zmenšit, protože může dojít k proximální akomodaci a konvergenci, což může vést ke zvýšené únavě nebo vyvolat akomodační spasmus. [2, 3]

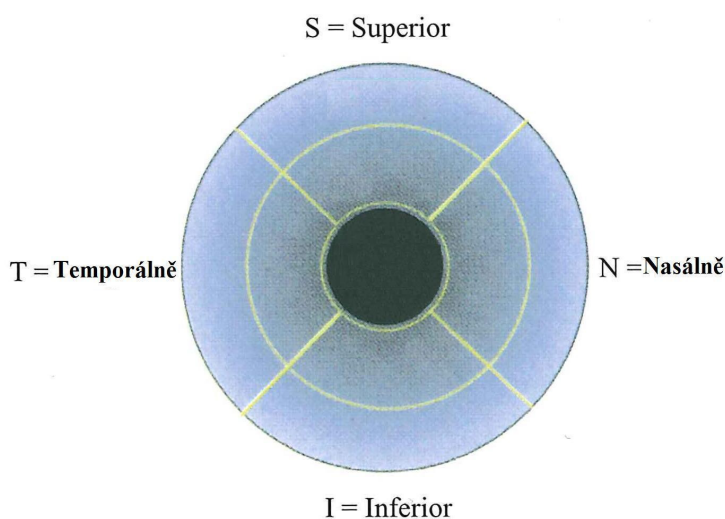
Nastavení dioptrické hodnoty okulárů se provádí pomocí fokusační tyčinky tímto způsobem:

- Fokusační (zaostřovací) tyčinka se vloží do drážky.
- Okuláry se vytočí proti směru hodinových ručiček, tj. ve směru "+", až na doraz.
- Každý okulár se nastavuje samostatně. Zavře se jedno oko a druhým okem se pozoruje fokusační tyčinka a pomalu se otáčí čočkou po směru hodinových ručiček, ve směru "-", dokud není viděna tímto okem zřetelně.
- Stejným způsobem se provede dioptrické nastavení pro druhé oko.
- Pro jemné zaostření se pozoruje tyčinka očima a posuvem se optimalizuje ostrost.

Po provedení všech výše uvedených náležitostí může začít samotné vyšetření. Velmi důležité je, aby si optometrsta či oftalmolog vytvořil systematický sled úkonů, které mu umožní pokrýt všechny aspekty vyhodnocení.

2 ZÁKLADY FOTOGRAFIE

Digitální fotografie může být cenným doplňkem elektronické dokumentace v běžné praxi oftalmologa i optometristy. Pokud při vyšetřování nebo pozorování oka shledá optometrista či oftalmolog cokoliv zajímavého nebo neobvyklého, je nutné si tento nález zaznamenat. Pro ruční záznam se využívá schéma na obr. 15. I sebedůkladnější popis nebo náčrtek však nikdy nenahradí reálnou fotografii. Pořízený snímek je možné archivovat pro budoucí srovnání dalších změn v nálezu.



Obrázek 15: Schéma pro grafický záznam nálezu [37]

2.1 Základní parametry ve fotografii

Ve fotografii, ať už klasické nebo digitální, jsou důležité následující proměnné, kterými je určena podoba a v jisté míře také kvalita získaného obrazového záznamu.

2.1.1 Clona a clonové číslo

Podstatnou mechanickou součástí fotografického objektivu tvoří irisová clona, která se skládá z jednotlivých lamel, jejichž vzájemná poloha vytváří v ideálním případě kruhový otvor. Čím větší je počet lamel, tím více se otvor clony blíží kruhovému tvaru. V současné době se používá nejméně 5 lamel. Velikost tohoto otvoru lze plynule měnit a regulovat tak množství světla, které clonou prochází. Množství světla dopadajícího na senzor je tedy závislé na průměru vstupní pupily objektivu (D_{vs}) a na ohniskové vzdálenosti použitého objektivu (f'), tj. vzdálenost clony od senzoru. Čím

je clona dál od senzoru, tím méně světla dopadne na senzor. Velikost otvoru se vyjadřuje clonovým číslem (c), pro které platí: [10, 11, 17, 22]

$$c = \frac{f'}{D_{vs}}$$

Clonová čísla tvoří řadu, v níž každé následující číslo je $\sqrt{2}$ násobně větší než číslo předcházející (tj. cca 1,4x větší): 1 - 1,4 - 2 - 2,8 - 4 - 5,6 - 8 - 11 - 16 - 22. Platí tedy následující pravidlo: čím vyšší je clonové číslo, tím menší je průměr clony a tím méně světla objektiv propustí. [17]

Výraz $\frac{D_{vs}}{f'}$ se nazývá relativním otvorem objektivu. Jedná se vlastně o převrácenou hodnotu clonového čísla, které odpovídá největšímu otevření objektivu. Udává, jak je daný objektiv „světelný“ (viz Vlastnosti objektivu). [17]

Změna clonového čísla (velikost průměru clony) má kromě regulace světelného toku ještě jednu významnou vlastnost a tou je změna hloubky pole ostrosti. Hloubka pole (ostrosti) udává rozmezí vzdáleností, v němž jsou předměty zobrazeny „ostře“ (tj. s danou tolerancí neostrosti). Jako kritérium ostrosti obrazu se používá velikost tzv. rozptylového kroužku δ . Obrazy bodových předmětů jsou považovány za ostré, pokud je jejich průměr menší než určitá hodnota δ . U fotografického objektu se udává nejčastěji hodnota $\delta \approx 0,03$ mm. [9, 17]

Čím je clonové číslo vyšší, tím je větší i hloubka pole a obráceně. Malá hloubka pole znamená, že je ostrý pouze objekt, na který jsme se zaměřili. Vše, co je mimo zaostřený objekt (dále či blíže), je zpravidla méně ostré nebo dokonce neostré. Tato funkce umožňuje zvýraznění nebo potlačení některých prvků v návaznosti na jejich roli v obraze. Naopak velká hloubka pole zaručuje, že všechny objekty na fotografii jsou (v rámci daného kritéria) ostré.

Hloubka pole je závislá také na:

- Ohniskové vzdálenosti objektivu. Čím je ohnisková vzdálenost kratší, jinými slovy, čím méně je objekt přiblížen zoomem, tím je větší hloubka pole ostrosti a obráceně.
- Vzdálenosti objektivu od fotografovaného objektu. Čím se objekt nachází dále, tím je hloubka pole ostrosti větší a opačně. [17, 18]

Teoretickou hloubku pole ostrosti h při dané toleranci neostrosti δ je možno přibližně vypočítat ze vztahu:

$$h \approx 2c\delta \left(\frac{a}{f}\right)^2 \quad [18]$$

kde a označuje předmětovou vzdálenost.

Pokud je objektiv zaostřen na nekonečno, zobrazí se vše ostré (s tolerovanou neostrotí) od ∞ do vzdálenosti, jež se nazývá hyperfokální (G). Pokud objektiv zaostří na hyperfokální vzdálenost, jsou ostře zobrazeny předměty od ∞ do jedné poloviny hyperfokální vzdálenosti ($G/2$). [17]

2.1.2 Závěrka a čas expozice

Závěrka fotografického přístroje řídí časovou složku expozice, tj. dobu, po kterou světlo, jehož množství je už regulováno clonou, dopadá na světlocitlivý senzor. Rozlišujeme závěrky centrální, šterbinové a elektronické. Centrální závěrky bývají zabudované přímo do objektivu nebo těsně za objektivem. Nevýhodou centrálních závěrek je omezený rozsah expozičních časů (od 1 s do 1/500 s). Šterbinové závěrky jsou umístěné těsně před senzorem a dosahují velmi krátkých expozičních časů, většinou 1/2000 s. Dále mají také tu výhodu, že nejsou součástí objektivu, ale těla přístroje, takže se používají u přístrojů s výměnnými objektivy. Elektronická závěrka není tvořena žádnou mechanickou součástí, ale využívá systému, který se nazývá „vyjmutý signál“. V okamžiku expozice je vyjmuta elektronickým systémem část plynulého signálu a uložena na digitální medium jako datový soubor. Výhodou těchto závěrek je schopnost zachycovat snímek v extrémně krátkých časech (až 1/10000 s). Čím delší je čas expozice, tím více světla na senzor dopadne. Při špatných světelných podmínkách nebo ve tmě se expoziční čas prodlužuje a naopak za dobrých světelných podmínek se expoziční čas zkracuje. [9, 11, 22]

2.1.2.1 Vliv expozičního času na výsledný snímek

Dlouhé expoziční časy zvyšují pravděpodobnost rozmazání snímků. Nelze jednoznačně určit, jaká hodnota času je hraniční pro zachycení ostré fotografie bez rozhýbání snímku anebo pohybové neostrosti. Rozhýbání (stržení) snímku vzniká

v důsledku nechtěných pohybů fotoaparátem (třes rukou). Obecně je za hranici, kdy je fotograf schopen udržet fotoaparát, aniž by „strhl snímek“, považován expoziční čas rovný převrácené hodnotě aktuálního ohniska. Čím delší je použité ohnisko (větší zoom), tím více se pohyby projeví. Například při fotografování „z ruky“ objektivem 100 mm by měl být čas závěrky kratší než 1/100 s. Tato hodnota však nemusí odpovídat skutečnosti v případě použití stabilizátoru, stativu nebo monopodu (teleskopická tyč s držákem fotoaparátu), kdy se může čas prodloužit. Fixace fotoaparátu prostřednictvím různých zařízení snižuje pohotovost k záběru. [9, 10, 22]

Pohybová neostrost naopak vzniká vlivem pohybu fotografovaného objektu, např. běžící zvířata, hráči při fotbale. Aby se všechny pohybující objekty zachytily ostré, volí se co nejkratší čas. Pokud jsou potřebné časy pro vyfocení tak krátké, že je nelze zvolit (např. málo světla), používá se panning (švenkování). Švenk je pohyb fotoaparátem po kružnici kolem osy fotografa. Zaostřovaný bod fotoaparátu je tak na stejném místě po celou dobu expozice. Díky panningu se dá fotografovat s delšími expozičními časy. Tato technika se používá pro zvýšení důrazu na pohybující se objekt a současně pro větší rozostření pozadí. [9, 10, 22]

2.1.3 ISO citlivost a šum

Citlivost určuje senzibilitu digitálního snímače ke světlu. Hodnota citlivosti se označuje ISO. Se změnou hodnoty ISO se mění síla signálu získaná ze snímače. Čím vyšší je hodnota citlivosti, tím zesílenější je signál. Hodnota ISO je nepřímo úměrná expozičnímu času, tzn. kolikrát větší citlivost, tolikrát kratší doba expozice. Při zdvojnásobení citlivosti (např. z ISO 200 na ISO 400) tedy stačí pro stejnou expozici pouze poloviční množství světla. Hodnotu ISO je možné měnit po každém snímku. Základní stupnice ISO je dána hodnotami: 50, 100, 200, 400, 800, 1600 atd. Každá hodnota ISO je 2x tak větší (či menší) než hodnota vedlejší. Obecně platí pravidlo, že čím méně světla dopadá na senzor, tím vyšší ISO je potřeba nastavit. [9]

Při nastavení vyšší citlivosti senzoru (vysoké ISO) je senzor citlivější na všechny zachycené hodnoty. Tyto hodnoty podléhají šumu, který vznikl zahříváním snímače a také je dán samotným elektronickým obvodem ve fotoaparátu. Digitální šum je ve většině případů nevídaná interference v elektrickém signálu, která se v celé ploše snímku projeví jako náhodně barevné body. Nejvíce jsou postiženy tmavší oblasti a

kontury obrazu. Hlavním projevem šumu je snížení ostroty. Digitální šum však vzniká i z mnoha dalších faktorů, než jen z navýšení citlivosti snímače. [9, 12, 22]

Vliv na zvýšení šumu má:

- velikost plochy pixelu (menší plocha je více náchylnější ke vzniku šumu, než velká)
- teplota snímacího čipu (se vzrůstající teplotou čipu se zvyšuje šum)
- expozice (snímky pořízené pomocí dlouhých expozičních časů, delší než 1 s, vykazují více šumu, než snímky pořízené krátkým časem)
- vnější teplota (šum klesne na polovinu při každém snížení teploty o 8 - 10°C)
- velikost snímku (čím je soubor se snímkem větší, tím víc šumu obsahuje)

Tabulka č. 1: Vliv hodnoty ISO na digitální šum snímku s technologií roku 2008. [12]

Hodnota ISO	Šum na fotografii
nejnižší	Takřka žádný
200 - 600	Velmi nízká hladina šumu
600 - 1000	Šum již může být na pohled patrný
Vyšší než 1000	Šum je zcela zřetelný

2.1.4 Reciprocita času, clony a citlivosti

Mezi výše popsanými parametry, tedy clonou, expozičním časem a citlivostí senzoru, existuje těsná vazba, která vyplývá ze skutečnosti, že mají vliv na totéž, tedy na výslednou expozici snímku. Pokud se zvedne o jeden krok clona, musí se o jeden krok snížit čas nebo ISO, aby na senzor dopadalo stejné množství světla. Rovněž to platí i pro ISO a čas. Proto se lze spolehnout na reciprocitu (záměnnost) účinku změny clony, expozičního času a ISO. V praxi to znamená, že lze poskládat různé varianty těchto tří parametrů se stejnou expozicí.

Pojem expozice znamená proces vystavení senzoru množství dopadajícího světla. Pokud senzor zachytí světla příliš, snímek bude přeexponován. A stejně tak naopak, pokud senzor zachytí světla málo, snímek bude podexponován. K tomu, aby fotoaparát dokázal správně vyhodnotit, jaké množství světla má dopadnout na senzor (správně nastavit parametry), provádí měření expozice (viz Měření expozice). Nastavení expozice se provádí podle typu, kvality a výrobce následujícími režimy. [9, 10, 12]

2.1.4.1 *Automatický režim*

Dle očekávání se jedná o nejjednodušší a v případě kvalitních přístrojů také o nejrychlejší způsob získání a zároveň využití správných expozičních hodnot. V automatickém režimu fotoaparát podle elektronických impulzů ze senzoru zvolí optimální kombinaci clony a expozičního času, případně aktivuje zapnutí blesku podle přesně stanoveného programu (např. sport nebo portrét). Tyto programy se řídí vloženým matematickým algoritmem. Algoritmy se vytváří na základě specifických požadavků: sport – rychlá závěrka, portrét – malé clonové číslo apod.

Hlavní nevýhodou tohoto režimu je nedostatek reálií, kterými by procesor mohl reagovat na specifickou situaci, např. rychlý pohyb, západ slunce, noční snímky. [10, 12]

2.1.4.2 *Poloautomatický režim*

Na fotoaparátu se nejčastěji značí jako „P“. Tento režim má velice blízko k plně automatické. Fotoaparát sám nastaví hodnotu clony a expoziční čas. Fotograf dle potřeby nastavuje zbývající parametry snímku, např. citlivost, použití blesku, způsob ostření, vyvážení bílé atd. [10, 12]

2.1.4.3 *Časová automatika*

Značí se jako "S" (Shutter = závěrka). Jedná se o režim, kdy si fotograf stanoví expoziční čas, podle kterého potom fotoaparát, konkrétně jeho procesor, zvolí odpovídající hodnotu clony. Využívá se především při fotografování pohybujících se objektů. Nevýhodou je, že nelze pracovat s hloubkou ostrosti. [10, 12]

2.1.4.4 *Clonová automatika*

Je základní režim pro práci s hloubkou ostrosti. Fotograf zvolí fixní hodnotu clony (clonové číslo) a automatika fotoaparátu přiřadí odpovídající expoziční čas. Značí se jako "A" (Aperture = clona). [10, 12]

2.1.4.5 *Manuální režim*

Manuální režim umožňuje fotografovi nastavit libovolnou kombinaci clonového čísla a expozičního času. Expoziční automatika fotoaparátu v tomto režimu funguje jako

pomocník a má doporučující charakter. Tento režim se využívá především ve složitějších světelných podmínkách, kde automatické nastavení může selhat. Značí se "M" (Manual = ruční). [10, 12]

2.1.5 Měření expozice

Expozici fotografovaného objektu lze ve většině případů změřit třemi různými způsoby:

- integrálně (celoplošně)
- selektivně (výběrově)
- bodově (viz obr. 16).

2.1.5.1 Integrální měření

Tato metoda změří průměrnou hodnotu osvětlení celé plochy snímaného pole nebo jeho značné části. Výsledky bývají dobré, pokud je fotografovaná scéna rovnoměrně osvětlena a neobsahuje velké rozdíly mezi světly a stíny. Použití je vhodné pro rychlou práci nebo nezkušeného fotografa.

2.1.5.2 Selektivní měření

Selektivní měření se provádí při složitějších světelných podmínkách. Měří se jen středová část snímaného pole (zóna je definována jako kruh o ploše 30 - 40 % snímaného pole), která má být na výsledném snímku správně exponovaná. Ostatní předměty fotografované scény jsou ignorovány. Použití vyžaduje jistou zkušenost a přesně definovaný záměr fotografa.

2.1.5.3 Bodové měření

Při bodovém měření se měří pouze malá definovaná oblast záběru (2 - 12 % plochy) a zbytek scény je ignorován. Metoda se používá při specifickém osvětlení a vyžaduje kvalifikovanou obsluhu. [12]



Obrázek 16: Měření expozice: integrální (vlevo), selektivní (uprostřed), bodové (vpravo) [14]

2.2 Vlastnosti objektivu

Základní a nejcennější částí fotografického přístroje je objektiv. Objektiv tvoří spojnou optickou soustavu, která je složena z jednoduchých nebo tmelených čoček. Složitá soustava je nutná k eliminaci optických vad objektivu.

Vlastnosti a kvalita objektivu jsou charakterizované celou řadou parametrů, z nichž základní jsou ohnisková vzdálenost, světelnost a rozlišovací mez.

2.2.1 Ohnisková vzdálenost

Ohnisková vzdálenost, značená f' , je vzdálenost ohniska od středu čočky (objektivu). U složitější soustavy, jako je např. fotografický objektiv složený z 8 čoček, se zavádí tzv. efektivní ohnisková vzdálenost. Definuje se jako vzdálenost ohniska od hlavní roviny optické soustavy. Udávána je v milimetrech a určuje, jak velký obraz se na senzoru vytvoří. Konstrukčně se objektivy dělí na objektivy s pevnou a proměnnou ohniskovou vzdáleností, zvané jako zoomovací objektivy. Ohnisková vzdálenost se u nich mění vzájemným posouváním čoček objektivu. Každé ohniskové vzdálenosti odpovídá také zorný úhel. Je to úhel, který svírají okrajové paprsky dopadající na světlocitlivý senzor. [13, 18]

Fotografické objektivy se podle ohniskové vzdálenosti rozdělují do tří základních typů (vztaženo ke kinofilmu): [13, 18]

- Širokoúhlé objektivy s malou ohniskovou vzdáleností (do 28 mm) a velkým zorným úhlem např. 94°
- Normální objektivy s ohniskovou vzdáleností přibližně rovnou k úhlopříčce snímacího média (asi 50 mm) a zorným úhlem 46°.
- Teleobjektivy s velkou ohniskovou vzdáleností od 80 mm. Zorný úhel bývá

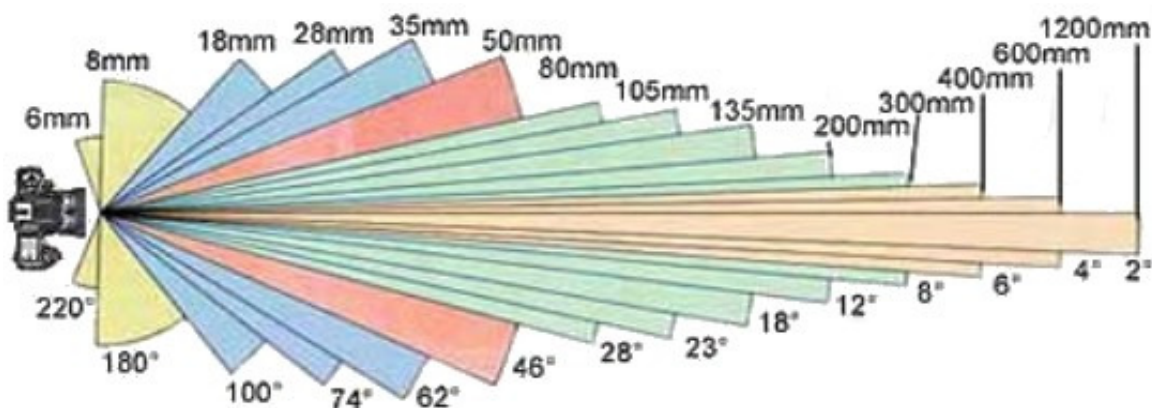
menší než 30°.

Mezi ohniskovou vzdáleností a zorným úhlem platí nepřímá úměra, která může být popsána následující funkcí:

$$\beta = 2 \arctan \frac{d}{2f'}$$

kde β je zorný úhel [°] a d je úhlopříčka senzoru [mm].

Vždy platí: čím je větší ohnisková vzdálenost, tím je menší úhel záběru a také šířka zobrazeného prostoru. Poměr mezi ohniskovou vzdáleností a zorným úhlem objektivů zobrazuje obr. 17.



Obrázek 17: Zorný úhel v závislosti na ohniskové vzdálenosti [18]

2.2.2 Světelnost objektivu

Světelnost objektivu je hodnota, charakterizující osvětlení obrazu (senzoru), tvořeného tímto systémem. Na objektivěch se tato hodnota obvykle vyjadřuje zlomkem ohniskové vzdálenosti (např. $f/2,8$). Přestože se jedná o obrazovou ohniskovou vzdálenost, při značení objektivů se nepoužívá f' ale jenom f . Čím je tato hodnota větší, tím je daný objektiv „světelnější“. Pokud je objektiv s proměnným ohniskem, uvádí se dvě hodnoty, např. $f/2,8 - 5,9$ pro nejkratší a nejdelší ohniskovou vzdálenost. Na světlocitlivý senzor dopadne tím více světla, čím je větší průměr vstupní pupily objektivu a čím je ohnisková vzdálenost menší. Množství světla, které projde objektivem, je úměrné druhé mocnině průměru vstupní pupily. Osvětlení ubývá s druhou mocninou vzdálenosti, takže osvětlení je úměrné druhé mocnině relativního

otvoru, tj. $\left(\frac{D_{vs}}{f'}\right)^2 = \frac{1}{c^2}$ [17]

Světlo dopadá na senzor nerovnoměrně, kdy směrem k okrajům osvětlení značně klesá, jednak vlivem odclonění (vinětace), ale také vlivem šikmostí dopadu paprskového svazku. Vinětace je způsobena fyzikálními vlastnostmi objektivu, konstrukcí, nebo jednoduše okraji objektivové objímky. Projevuje se tím více, čím je objektiv delší a čím je větší zorný úhel. Relativně je největší, je-li clona úplně otevřena. Při zaclonění objektivu se vinětace zmenšuje. V druhém případě platí, že jsou více zeslabovány paprsky lámající se s větším úhlem (dále od optické osy). Tomuto přirozenému úbytku světla se nelze vyhnout. Jeli světelnost ve středu zorného pole S_0 , pak světelnost S při zorném úhlu 2τ je dána vzorcem: [17]

$$S = S_0 \cos^4 \tau$$

Např. při zorném úhlu 60° ($S = 0,56$) je úbytek světla proti středu 44%.

U fotografických objektivů je snahou dosáhnout co největší propustnosti, tj. snížit podstatně ztráty světla odrazem, proto se na povrch objektivů nanáší antireflexní vrstva. [13, 17]

2.2.3 Rozlišovací mez

Rozlišovací mez fotografického objektu je nejmenší úhlová vzdálenost dvou sousedních stejně jasných předmětových bodů, jejichž obrazy, vytvořené objektivem, jsou okem právě rozlišeny. Z teorie Fraunhoferova ohybu na kruhovém otvoru při použití Rayleighova kritéria plyne, že objektiv o průměru D_{vs} zobrazí odděleně dva body, je-li jejich úhlová vzdálenost ψ rovna alespoň [17, 18]

$$\psi = \frac{1,22 \lambda}{D_{vs}} \quad [\text{rad}]$$

Rayleighovo kritérium říká, že dva body jsou rozlišené, pokud centrální difrakční maximum jednoho bodu splývá s minimem druhého bodu. Rozlišovací schopnost fotografických objektivů se měří pomocí různých typů testovacích obrazců, které umožňují charakterizovat čárové struktury předmětu s různou prostorovou frekvencí R [čar/mm].

Teoretická vzdálenost (ρ) dvou sousedních rozlišených čárek v ohniskové rovině má hodnotu: [17]

$$\rho = f' \cdot \psi$$

Rozlišovací schopnost objektivu je převrácenou hodnotou veličiny ρ , tj.: [17]

$$R = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{\psi f'} \quad [\text{čar/mm}]$$

3 DIGITÁLNÍ ZÁZNAMOVÁ ZAŘÍZENÍ ŠTĚRBINOVÝCH LAMP

Digitální záznamová zařízení umožňují přesně zachytit vzhled vyšetřované tkáně. Na dnešním trhu existují pouze dvě varianty, kterými může být štěrbinová lampa vybavena, aby poskytla optometristovi či oftalmologovi možnost pořídit digitální záznam nálezu. Jedná se buď o integrovanou kameru, která je součástí těla biomikroskopu či mikroskopické hlavy, nebo o připojení externího fotoaparátu či kamery přes dělič paprsků k štěrbinové lampě. U obou variant je pozorovaný obraz zaznamenáván v primárním ohnisku biomikroskopu. To znamená, že obraz vytvářený optickou soustavou biomikroskopu je při správném zaostření promítán přímo na snímač fotoaparátu či kamery.

3.1 Záznam v primárním ohnisku

Častěji používanou variantou záznamového zařízení obrazu je digitální zařízení připojené přes dělič paprsků ke štěrbinové lampě. Při spojování děliče paprsků a fotoaparátu, nesmí mít fotoaparát nasazený objektiv (využívá se pouze tělo fotoaparátu). Proto lze použít pouze digitální zrcadlovku nebo specializované kamery, nikoliv kompaktní fotoaparát. Dělič paprsků (většinou umístěný mezi mikroskopem a okuláry) je optické zařízení, jehož hlavní funkcí je rozdělit procházející světlo na dva svazky v určitém poměru pro vyšetřujícího a pro připojenou kameru či fotoaparát. Nejčastěji se setkáváme s děličem s poměrem paprsků 70:30, kde 70 % svazku je odkloněno směrem k fotoaparátu (kameře) a zbývající část (30 % svazku) prochází v původním směru k vyšetřujícímu (přes okulár). Dělič snižuje intenzitu procházejícího světla jen u jednoho z okulárů. Výjimku tvoří bilaterální dělič, který má dva samostatné děliče a umožňuje připojení dvou asistenčních prvků: příkuku pro asistenta a fotoaparátu. Pokud při běžném vyšetření není nutné provést digitální záznam, dělič paprsků umožňuje uzavřít digitální zařízení, čímž do okuláru začne směřovat 100 % světelného toku. Nevýhodou takového děliče je, že každý výrobce potřebuje jiný typ fototubusu, takže je nutné se v případě pořizování digitálního fotoaparátu držet již zvoleného výrobce. U kamer je tato situace jednodušší, protože se zde využívá standardního průměru objímky, tím pádem může být využita kterákoli kamera, která má standardní závit. Možnost výměny externího digitálního zařízení umožňuje dosáhnout různé kvality a

rozlišení fotografií a to až po velmi vysoká rozlišení, která poskytují kvalitní zrcadlovky či kamery. Tato varianta však vyžaduje znalost nastavení jednotlivých funkcí digitálního fotoaparátu. [6, 36]

Integrované kamery mají dělič paprsků zabudovaný přímo v sobě. Výhodou těchto kamer je, že nikde nepřekážejí a jako celek vypadají více profesionálně. Další výhodou je jednoduchá obsluha. Výrobce dané zařízení optimalizuje pro konkrétní použití a tudíž není nutné zvládat nastavení jednotlivých parametrů jako v případě použití těla zrcadlovky, která je naopak velice univerzálním zařízením. Nevýhodou však je nemožnost nebo velice obtížná možnost upgradu takového zařízení.

Společnou nevýhodou těchto konstrukčních variant jsou vysoké pořizovací náklady. Jako výrazně levnější se nabízí využití kompaktního fotoaparátu, který obvykle dokáže nabídnout dostatečnou kvalitu fotografií. Základní konstrukční rozdíl spočívá v nemožnosti oddělit objektiv kompaktního fotoaparátu od jeho těla. Fotografie v primárním ohnisku pomocí děliče svazku tak není možná, ale řešením je afokální uspořádání.

3.2 Afokální soustava

Afokálním systémem obecně je taková optická soustava, která vytváří paralelní svazek paprsků, jinými slovy má nekonečnou efektivní ohniskovou vzdálenost. Svazek paralelních paprsků, vstupující do soustavy, je zpracován a vystupuje opět jako svazek paralelních paprsků, ale o jiné šířce. Přestože nedojde ke změně kolimace svazku, důsledek změny jeho šířky se projevuje jako zvětšení. Předmět ležící v nekonečnu se tak zobrazí jako obraz opět v nekonečnu, ale s příslušným zvětšením. [34]

Technika afokální fotografie je založena na využití optické soustavy, která vytváří výstupní svazek paralelních paprsků. Objektiv fotoaparátu, zaostřený na nekonečno, využívá paralelní svazek paprsků vytvářený okulárem zobrazovací soustavy (dalekohledu nebo mikroskopu), tzn. svazek paprsků mezi okulárem zobrazovací soustavy a objektivem fotoaparátu nebo kamery je paralelní. [35]

Každou šterbinovou lampu tvoří dvojice optických soustav, osvětlovací a zvětšovací (mikroskop). Přístroj s víceúrovňovou volbou zvětšení je tvořen objektivem, měničem zvětšení (Galileův rotační systém), čočkovým tubusem (spojuje rovnoběžný

svazek paprsků vycházející z Galileova rotačního systému a vytváří obraz v předmětové rovině okuláru) a dvojicí okulárů, které poskytují stereoskopický obraz. Místo toho, aby pozorovatel přiložil oči k okuláru, přiloží k jednomu okuláru objektiv fotoaparátu tak, aby jeho optická osa byla totožná s optickou soustavou biomikroskopu. Využitím jednoho z okulárů pro afokální fotografii sice přijdeme o možnost stereoskopického vidění, ale získáme možnost souběžného monokulárního vidění a záznamu obrazu pomocí fotoaparátu či kamery.

Úhlové zvětšení biomikroskopu je potom:

$$\Gamma = \frac{f_2}{f_1} \cdot g \cdot \frac{250}{f_3}$$

kde f_1 , f_2 a f_3 jsou po řadě ohniskové vzdálenosti hlavního objektivu, čoček tubusu a okuláru udávané v mm. Parametr g je zvětšovací faktor. Hodnota 250 reprezentuje konvenční zrakovou vzdálenost 250 mm. [21]

Při afokálním způsobu fotografování je nutné počítat s tím, že zorné pole fotoaparátu bude lemované černým okrajem v důsledku kulatého zorného pole okuláru šterbinové lampy. Proto je výhodnější použít kompaktní fotoaparát, který má průměr objektivu malý, resp. odpovídající průměru okuláru biomikroskopu. Oba průměry ovlivňují vinětaci, tj. rozsah černého zbarvení na okrajích snímku. Zároveň je výhodné přiložit fotoaparát s objektivem těsně za okulár pro dosažení ideálního zorného pole. [9]

Každý kompaktní fotoaparát je vybaven objektivem s funkcí zoom, čehož lze využít k získání dodatečných zvětšení, která samotný binokulární mikroskop neposkytuje. Při využití zoomu se ohnisková vzdálenost objektivu zvětšuje, čímž se zvětšuje celková ohnisková vzdálenost soustavy, roste zvětšení, ale dochází ke snížení hloubky ostrosti a zmenšení zorného úhlu. Efektivní ohnisková vzdálenost celé soustavy je dána součinem zvětšení biomikroskopu a ohniskové vzdálenosti objektivu fotoaparátu. [19]

Zvětšení afokálního spojení (Γ_s) šterbinové lampy a fotoaparátu lze vyjádřit vztahem:

$$\Gamma_s = \frac{f'}{f_3}$$

kde f' je ohnisková vzdálenost obektivu fotoaparátu.

4 ZPRACOVÁNÍ DIGITÁLNÍ FOTOGRAFIE

Digitální data lze v počítači, částečně i ve fotografickém přístroji, zpracovávat a tím je podle určitých pravidel a postupů měnit. Toho lze využít při nápravě nekvalitní digitální fotografie nebo pro zvýraznění či potlačení některých nežádoucích jevů. U běžné fotografie postačí k úpravě základní nástroje jako: změna rozlišení, rotace obrázku, změna jasu a kontrastu, oříznutí, úprava barevného vyvážení a redukce šumu.

4.1 Změna rozlišení

Pro úpravu digitálních obrazů je klíčové porozumět vztahům mezi počtem pixelů (obrazových bodů, ze kterých je obraz sestaven), výslednou velikostí obrazu (v cm) a rozlišením (DPI - dots per inch), které udává počet obrazových bodů na délku jednoho palce výsledného obrazu (1 palec = 2,54 cm).

DPI = počet obrazových bodů/délkový rozměr v palcích

DPI popisuje potřebné rozlišení pro výstupní zařízení, které použijeme pro zobrazení (monitor, tiskárna, apod.). Rozlišení běžné počítačové obrazovky je 72 DPI, zatímco rozlišení inkoustových tiskáren se pohybuje v rozmezí 300 – 600 DPI a v případě laserových tiskáren může být rozlišení až 1800 DPI. Rozlišení výstupního zařízení je závislé na technických parametrech daného zařízení.

Při změně rozlišení se, za předpokladu zachovaného počtu pixelů, musí změnit velikost obrázku. Pokud se stejný digitální obrázek zobrazí na monitoru s rozlišením 72 DPI a zároveň vytiskne na tiskárně s rozlišením 300 DPI, potom výsledná velikost (v délkových jednotkách) obrázku vytištěného na tiskárně bude cca 4x menší (300/72). Pokud bychom chtěli dosáhnout stejné velikosti výsledného obrázku na dvou výstupních zařízeních s odlišným rozlišením, potom je nutné provést přepočet, tzv. převzorkování (resampling). Při podvzorkování, kdy dochází ke snížení počtu pixelů, zároveň dochází ke ztrátě příslušné části informace (snižuje se kvalita obrazu). Naopak při zvýšení počtu pixelů nedochází k získání nové informace, protože příslušný počet pixelů musí být uměle dopočítán použitím vhodného matematického algoritmu. Pokud je kvalita původního digitálního obrazu malá (malý počet pixelů), může být výsledek při snaze o dosažení větších výsledných rozměrů obrazu neuspokojivý,

např. zřetelně bodová struktura. [28, 30]

4.2 Rotace obrázku

Rotace obrázku je potřeba při změně polohy fotoaparátu na výšku, přesněji snímacího prvku s obdélníkovým tvarem, kdy delší stranu bude tvořit vertikála. Digitální fotoaparát ukládá vždy pořízené snímky položené klasicky na šířku, tudíž při následném otevření v počítači jsou otočeny doleva či doprava. Takový obrázek je potom nutné otočit o 90° v příslušném směru. V tomto případě jde o jednoduchou rotaci. Některé digitální fotoaparáty disponují funkcí pro automatickou rotaci.

V případě, kdy je obrázek správně natočený (na výšku či na šířku), ale vyfocený nakřivo, nastavuje se hodnota velikosti úhlu otočení (vyrovnání). V rámci rotace dochází k určitému rozostření obrazu, protože jednotlivé pixely mění vzájemnou polohu oproti původnímu obrazu a obraz se převzorkuje. Při jedné rotaci je to téměř nepostřehnutelné, ale při několikanásobné rotaci se kvalita obrázku zhorší. Samozřejmě to neplatí při otočení o 90° , kdy se pravoúhlý rastr přepočítávat nemusí, dojde pouze k jeho překlopení. [33]

4.3 Změna jasu a kontrastu

Tato funkce upravuje intenzitu světla pro všechny body obrazu. Slouží k zesvětlení či ztmavení obrazu. Při regulaci jasu přechází obrázek do světlejšího, nebo naopak tmavšího odstínu. Takto lze upravit např. fotografii, kde na temné ploše není možné rozeznat, co vlastně bylo předmětem zájmu fotografa. Při zpracování je nutné vždy kontrolovat histogram (grafické vyjádření, kolik pixelů snímku má jaký jas), pokud se přiřadí více bodům (pixelům), s původně odlišným jasnem, stejný jas (zejména v důsledku saturace), dochází k omezení jasové stupnice, což povede ke ztrátám barevné informace. Pro vyvážení světel a stínů v obrazu je tedy vhodné použít jasový histogram, který umožní změnit úroveň jasu jen v některých částech obrazu. Výsledkem je pak zesvětlený obraz bez ztráty kontrastu. Kontrast zvětšuje rozdíly mezi světlými a tmavými pixely obrazu. Při zvyšování kontrastu (zvětšení rozdílu mezi šedými pixely) budou světlé body ještě světlejší (přepaly) a tmavé body ještě tmavší (podpaly). Při snižování kontrastu je tomu naopak. Ve skutečnosti dochází ke snížení počtu odstínů, které obrázek obsahuje. [29, 32]

4.4 Oříznutí

Ořez obrázku (vyříznutí části snímku) se využívá zejména pro zvýraznění hlavního motivu (určité části) snímku, nebo pokud se nám z nějakého důvodu nehodí část snímku, např. zbytečně velké okraje. Použitím této funkce přichází nový snímek o pixely. [30]

4.5 Vyvážení barev

Digitální fotoaparáty pracují s obrazem v barevném modelu RGB. Model se skládá ze tří kanálů, kde základními složkami je červená (red), zelená (green) a modrá (blue) barva. Každý pixel lze charakterizovat konkrétní barvou (barevným odstínem), která je vytvořena kombinací tří základních barev s různou intenzitou. U většiny digitálních fotoaparátů je vyhrazeno pro jednotlivou barevnou složku 8 bitů, což odpovídá rozsahu hodnot 0 - 255 (256 odstínů složky). Přitom 0 odpovídá minimální intenzitě dané barvy, hodnota 255 intenzitě maximální. Popis barvy jednoho pixelu tedy vyžaduje $3 \times 8 = 24$ bitů. To odpovídá celkovému počtu 256^3 barevných odstínů.

Funkce vyvážení barev mění celkové poměry barev v obraze a tím dojde k barevnému posunu celé fotografie. Tyto změny je možné provádět ve třech úrovních jasu: ve stínech, středních tónech a světlech. Při lehkém doladění barev na fotografii stačí pracovat pouze ve středních tónech. Pokud ale chceme zásadně změnit náladu fotografie, je lepší provést dílčí změny ve všech třech úrovních jasu. [31]

4.6 Redukce šumu

Příčin vzniku šumu je mnoho. Mezi hlavní příčinu patří nedostatečně osvětlená scéna při snímání, která vyžaduje zvýšení hodnoty citlivosti ISO či použití dlouhých expozičních časů. Vzniklý šum snižuje rozlišení detailů, ostrost hran i kontrast a tím klesá výsledná kvalita snímku. Nežádoucí šum lze částečně redukovat i ve fotoaparátu, nebo ve speciálních softwarových programech určených pro úpravu fotografií. V těchto programech by se měl redukovat šum hned na začátku před jakoukoli úpravou, protože následné digitální úpravy zvýrazňují šum. Funkce redukce šumu, kterou nabízejí některé fotoaparáty, nejčastěji pracují na principech: [9]

- Porovnání hodnot obrazových informací sousedních snímacích pixelů na čipu.

Pokud pixel vybočuje z barvy pixelů svého okolí, nahradí se váženým průměrem jeho barvy a barvy všech sousedních pixelů. [39]

- Dvojité expozice s otevřenou a uzavřenou závěrkou. Fotoaparát v režimu redukce šumu pořídí dva snímky, jeden běžný a druhý se stejným nastavením expozice, ale uzavřenou závěrkou. Poté může v oblastech šumu provést potřebnou kompenzaci. [38]

Při redukci šumu vždy hrozí ztráta informací a tudíž je lepší vzniku šumu předcházet než ho následně eliminovat. Existují také pokročilé techniky k odstranění šumu, které se využívají ve specifických případech. Jedná se o příliš sofistikované metody, které jsou díky své složitosti zcela mimo rámec této práce.

Digitální úprava snímku je jen možnou alternativou pro zlepšení její kvality. Rozhodně ale není cílem práce, jejímž výsledkem má být rychlá, jednoduchá a spolehlivá metoda pro získání fotodokumentace vyšetřovaného oka klienta. Navíc je vždy lepší využít možnost nastavení parametrů expozice tak, aby byl výsledný snímek uspokojivý, než následně nedostatečnosti nastavení eliminovat digitálními úpravami.

5 PRAKTICKÁ ČÁST

V souvislosti se snahou o řešení vysokých pořizovacích nákladů šterbinových lamp se snímacím systémem se nabízí otázka ověření funkčnosti a použitelnosti techniky afokální fotografie.

5.1 Úvod do problematiky

Fotografování oka poskytuje alternativní a přesný prostředek pro zaznamenávání vzhledu tkáně. Nejjednodušší přístroje nám umožňují přímé pozorování, ale bez možnosti obraz zaznamenat. Díky jednoduché konstrukci je cena těchto přístrojů relativně nízká. V případě potřeby zaznamenat pozorovaný obraz je nutné zvolit jiný typ přístroje. Pozorovaný obraz je nejčastěji zaznamenáván pomocí kamery či fotoaparátu v primárním ohnisku. Toto uspořádání vyžaduje další člen v optické dráze, který zajistí nasměrování paprsku na snímací čip. Takové rozšíření (dělič svazku, kamera nebo tělo digitální zrcadlovky) může způsobit dramatický nárůst ceny. Vysoké náklady odradí mnoho optometristů od pořízení ŠL se snímacím systémem. Jako alternativa se nabízí technika afokální fotografie, jejíž hlavní výhodou jsou relativně nízké pořizovací náklady na vybavení. Přístrojové uspořádání pro afokální fotografii může vypadat méně profesionálně, nicméně cílem práce je posoudit, zda jsou získané fotografie z odborného hlediska srovnatelné s fotografiemi získanými v primárním ohnisku na přístroji s děličem svazku. Mezi výhody afokální fotografie patří především:

- nízké pořizovací náklady
- snadné použití bez složitého nastavení
- kompatibilita se šterbinovými lampami na našem trhu
- k fotoaparátu směřuje 100 % světelného toku a k jeho zeslabení dochází pouze průchodem optickými členy (okulárem ŠL a objektivem fotoaparátu). Při použití děliče paprsku směřuje ke kameře pouze 50 % či 70 % světelného toku.
- možnost využití automatického ostření fotoaparátu
- zvětšení, resp. efektivní ohniskovou vzdálenost celé sestavy lze měnit hned dvěma způsoby: výměnou okuláru a tím změnou zvětšení šterbinové lampy nebo použitím zoomu objektivu fotoaparátu.

Cílem praktické části práce je navrhnout a realizovat uspořádání pro afokální fotografii na štěrbinové lampě a ověřit jeho funkčnost. Dále zjistit optimální nastavení parametrů systému pro snímání při různých technikách vyšetřování.

5.2 Vybavení pro afokální projekci a metodika

Výstupní pupila štěrbinových lamp se pohybuje v rozmezí od 0,8 do 2,9 mm dle zvětšení. Vzhledem k požadavku, aby průměr vstupní pupily objektivu fotoaparátu odpovídal výstupní pupile okuláru biomikroskopu, byl k realizaci sestavy zvolen digitální kompaktní Panasonic Lumix DMC-LS85, který má vstupní pupilu objektivu při ohniskové vzdálenosti 5,5 mm přibližně velkou 2 mm. Kromě velikosti vstupní pupily objektivu splňuje fotoaparát i další požadavky jako jsou: malé rozměry, jednoduché ovládání a nízká pořizovací cena. Fotografuje pomocí CCD snímače s celkovým rozlišením 8,32 Mpx a úhlopříčkou 1/2,5". Fotografovat je tedy možno v maximálním rozlišení 3264 x 2448 bodů, v ostatních rozlišeních pak 2560 x 1920, 2048 x 1536, 1600 x 1200 a 640 x 480 bodů. K dispozici je celkem pět citlivostí: ISO 100, 200, 400, 800, 1600. Použitá optika přístroje nabízí 4x optický zoom, jehož ohniskový rozsah je 5,5 - 22,0 mm se světelností $f/2,8 - 5,9$. Fotoaparát disponuje volbou expozičních časů v rozmezí od 1/2000 s až do 8 s, přičemž volba není možná manuálně, ale fotoaparát ji vyhodnocuje automaticky. Kompaktní fotoaparát je vybaven funkcí inteligentní automat, která je schopna zajistit nastavení veškerých parametrů expozice. Vzhledem k tomu, že princip této funkce spočívá v odhadnutí režimu fotografované scény, může u takto specializovaných snímků dojít k nepředvídatelnému nastavení váhy jednotlivých parametrů expozice. Proto není vhodné tento režim využívat. Pro fotografování byl proto využit poloautomatický režim označovaný jako běžné snímky, ve kterém je možné zdůraznit váhu příslušného parametru expozice přímým nastavením jeho hodnoty. Zejména se jedná o parametry citlivost a režim ostření. Poloautomatický režim navíc nabízí funkci kompenzace expozice, která může být částečně využita u některých snímků jako náhrada za nemožnost manuální volby expozičního času a zároveň neschopnost bodového měření expozice.

Dále byl použit tzv. univerzální afokální nástavec BAADER Digiscoping Adapter (MicroStage II), viz obr. 18, jehož prostřednictvím byl fotoaparát připojen na štěrbinovou lampu Carl Zeiss SL 120. Technické specifikace zvětšovací soustavy

jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tabulka č. 2: Technické specifikace zvětšovací soustavy (Carl Zeiss SL 120)
[data pro vytvoření tabulky získaná z literatury č. [21]

Binokulární mikroskop konvergentní	s úhlem 12,5 stupňů
Zvětšení	5x, 8x, 12x, 20x, 32x
Zvětšení okuláru	10x
Zorné pole (dle zvětšení)	40 mm – 6 mm
Pupilární distance	50 mm až 75 mm

Realizace sestavy s následným focením probíhala v laboratoři optometrie na Katedře optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci.

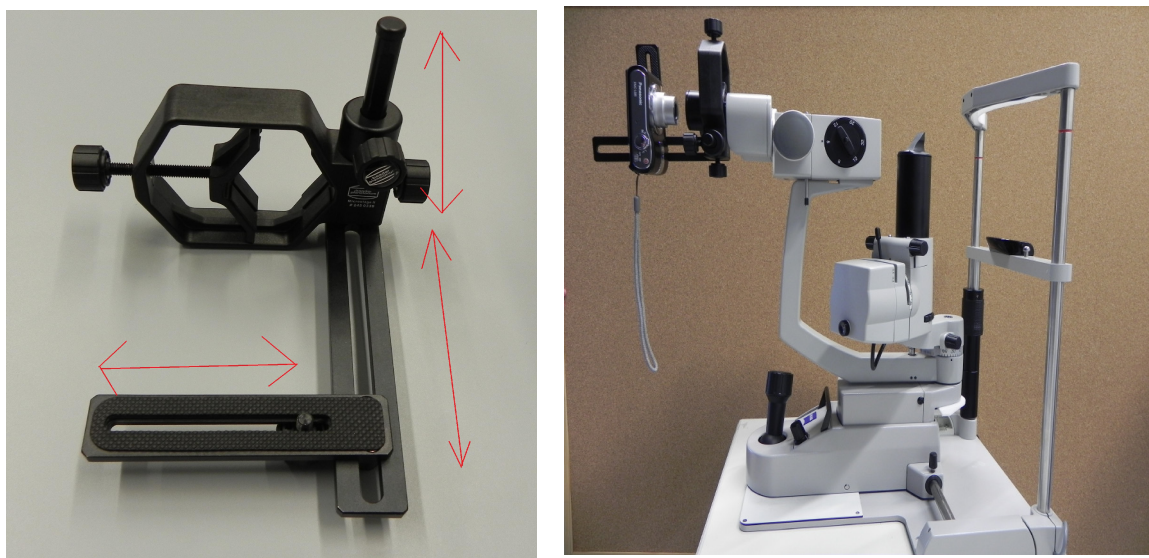
Průběh nastavení afokální projekce:

- Okulár pro přímé pozorování je nastaven klasickým postupem pomocí fokusační tyčinky (viz kap. 1.5.1).
- Okulár použitý pro fotoaparát se musí nastavit na hodnotu 0, aby byly vystupující paprsky při správném nastavení celé soustavy, včetně druhého (pozorovacího) okuláru, paralelní.
- Univerzální nástavec se uchytil k okuláru šterbinové lampy, na plošinu se přichytí pomocí závitů fotoaparát. V případě, že není možné uchytil nástavec k tělu binokulární hlavy, ale musí být připevněn přímo k okuláru, je nutné zajistit tento okulár proti otáčení.
- Stavěcími šrouby ve třech osách se nastaví správná poloha fotoaparátu tak, aby zorné pole bylo dostatečně velké. Vzdálenost je nutné nastavovat s vysunutým objektivem fotoaparátu.
- Nastaví se požadované parametry fotoaparátu.
- Usazení pacienta a nastavení ŠL dle obvyklého postupu (viz kap. 1.5).
- Zaostřování se provedlo obvyklým posuvem joysticku dopředu a dozadu, osvětlení bylo zajištěno světelným zdrojem šterbinové lampy. Kontrola nastavení byla provedena subjektivně přes pozorovací okulár.
- O správné zaostření fotoaparátu se postará funkce autofokus, kterou je vybaven každý kompaktní fotoaparát.

Snahou bylo nastavit parametry fotoaparátu tak, aby výsledné snímky byly použitelné v "surovém" stavu bez nutnosti digitálních úprav. V případě úpravy snímku (v programu IrfanView) je u snímku úprava vždy zmíněna. Z technických důvodů bylo nutné fotoaparát umístit za okulár na výšku. Správná orientace fotografií je tedy na výšku. Bohužel pro rychlý náhled fotografií na displeji fotoaparátu dochází k jejich otočení a tím je prohlížení ztíženo. Pro zpracování snímků v počítači je nutné jejich otočení. Tuto operaci však není nutné považovat za digitální zpracování v pravém slova smyslu, protože při rotaci o 90° nedochází k převzorkování obrazu, ale pouze k přetočení rastru. Kvalita snímku se tím nezmění.

Doplňujícím experimentem bylo pořízení videozáznamu metody BUT (čas roztržení slzného filmu), který byl následně zpracován do podoby jednotlivých digitálních snímků.

Pro základní úpravu videa byl použit program Windows Movie Maker, který umožňuje zpracovávat video soubor ve formátu AVI. Pořízený videozáznam se ve fotoaparátu ukládá do formátu MOV. Proto videosoubor musel být nejprve překonvertován do formátu AVI, např. pomocí programu Convert MOV to AVI. Následné zpracování probíhalo pomocí programu Windows Movie Maker, kdy byly získány snímky důležité pro vyhodnocení času metody BUT.



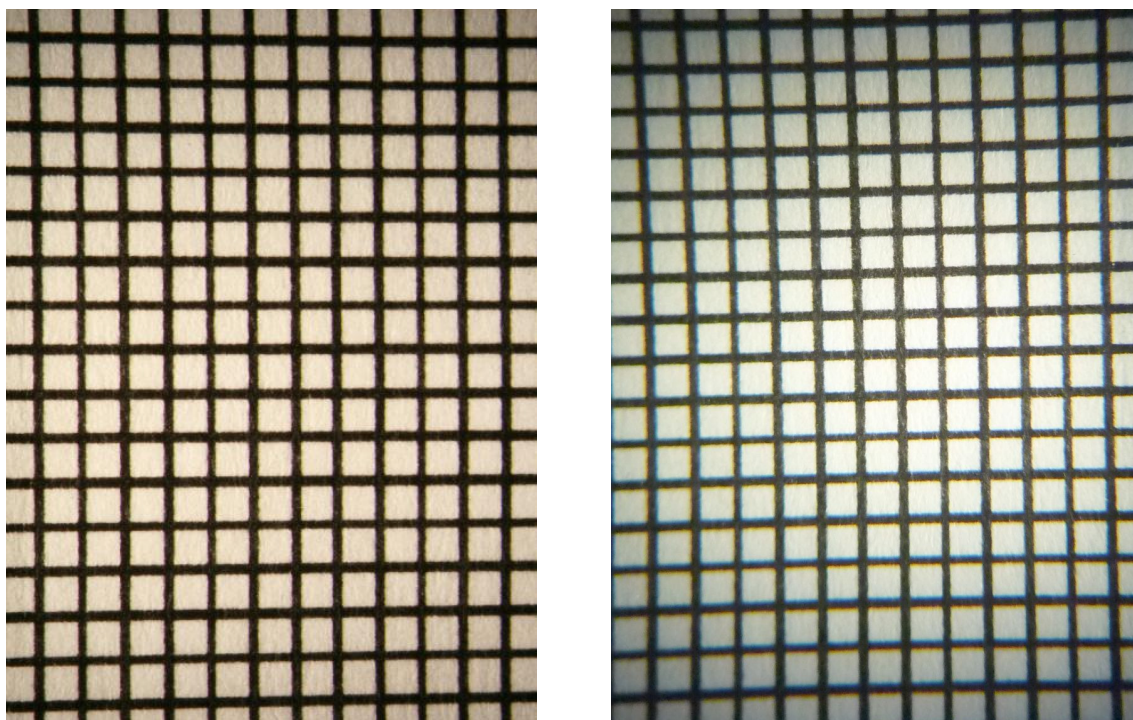
Obrázek 18: Univerzální afokální nástavec - šipky naznačují osy ve kterých lze s jednotlivými stavěcími šrouby držáku pohybovat (vlevo) a sestava afokální projekce (vpravo)

5.3 Výsledky a diskuse

Bylo provedeno sedm osvětlovacích technik pro vyšetření oka a navíc srovnání modelových fotografií mřížky za účelem ověření aberací, způsobených zařazením dalších optických členů v podobě objektivu kompaktního fotoaparátu a okuláru štěrbinové lampy.

5.3.1 Vliv aberací na výsledný snímek

Afokálním uspořádáním dochází k nárůstu počtu optických členů oproti uspořádání pro focení v primárním ohnisku. Jedná se o okulár štěrbinové lampy a objektiv kompaktního fotoaparátu. Obr. 19 zobrazuje snímek pořízený v primárním ohnisku s využitím děliče svazku Carl Zeiss f 340 a zrcadlového fotoaparátu Canon E05 ve srovnání se snímkem vyfoceným navrženou soustavou.



Obrázek 19: Mřížka focena v primárním ohnisku (vlevo) a afokálně (vpravo)

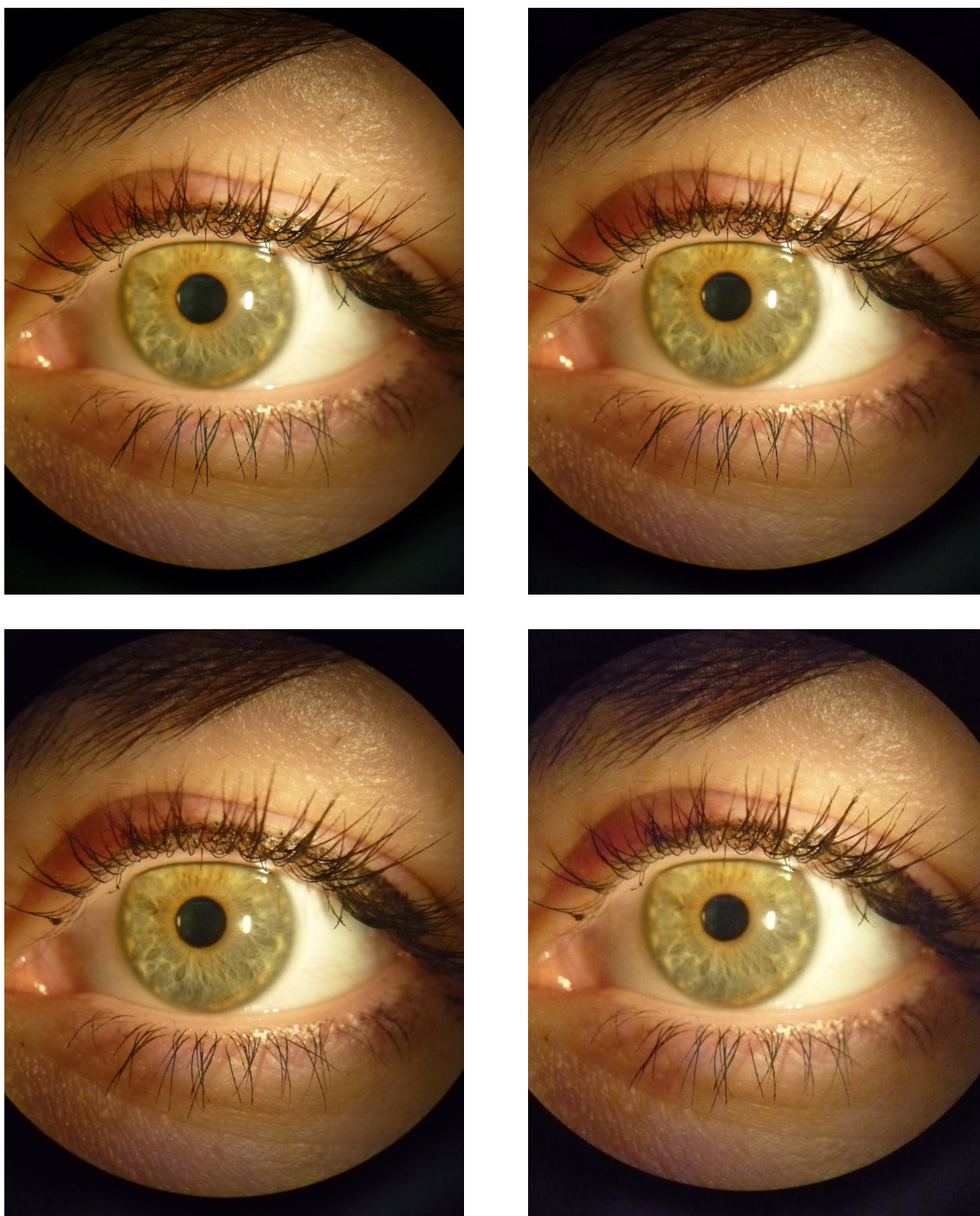
5.3.2 Diskuse k aberacím

Na obrázku 19 vlevo je mřížka zachycena v primárním ohnisku pomocí fotoaparátu připevněného k děliči paprsku. Na mřížce je patrná vinětace způsobená optikou štěrbinové lampy. Vliv okuláru a objektivu kompaktního fotoaparátu na vinětaci

je zřejmý při porovnání obou fotografií, kdy fotografie vpravo je pořízena afokálně. Z fotografií je patrná výraznější vinětace při afokálním uspořádání. K jejímu potlačení by bylo možné využít clonu objektivu fotoaparátu, ale s rostoucím zacloněním klesá celkové množství světla, což by vyžadovalo buď zvýšení citlivosti, nebo prodloužení délky expozice. Z následujících experimentů vyplynulo, že pro zvyšování citlivosti nebo výraznější prodlužování expozičních časů obvykle není prostor. Pozorovaný předmět zájmu obvykle nezabírá větší část zorného pole a z důvodu kvalitního zaostření je požadováno jeho umístění do středu snímku. S ohledem k těmto skutečnostem lze tedy považovat vinětaci za spíše estetickou vadu, než za problém, který by mohl výrazně ovlivňovat odbornou vypovídající hodnotu fotografie. Do jisté míry lze navíc vinětaci eliminovat následně pomocí vhodného softwaru. Na obou snímcích si lze také povšimnout zkreslení směrem do krajů, přičemž se u obou technik vyskytuje téměř stejně. Tudíž vliv dalších optických členů při afokálním uspořádání není z tohoto hlediska pro výslednou kvalitu fotografie podstatný.

5.3.3 Difúzní osvětlení

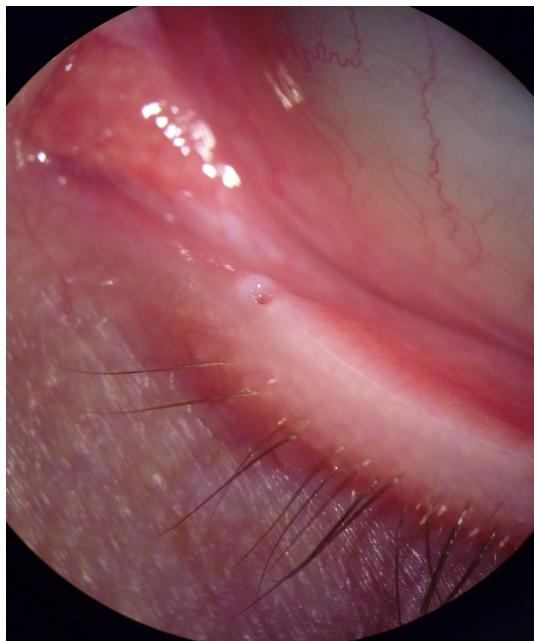
Jedná se o celkový přehled předního segmentu oka s rovnoměrným osvětlením. Výsledné snímky jsou při různé hodnotě ISO prezentovány na obr. 20 (celkový přehled oka), vybrané detaily ukazuje obr. 21 a 22. Nastavení fotoaparátu, vztahující se k obr. 20, je uvedeno v tab. č. 3.



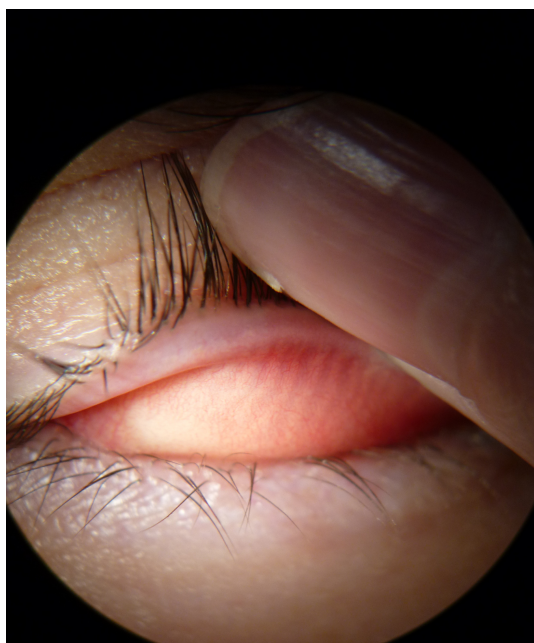
Obrázek 20: Celkový přehled oka s různou hodnotou ISO (viz tabulka č. 3)

Tabulka č. 3: Parametry expozice fotografií na obr. 20

Obrázek	Hodnota ISO	Expoziční čas
Horní obrázek vlevo	200	1/80 s
Horní obrázek vpravo	400	1/160 s
Dolní obrázek vlevo	800	1/400 s
Dolní obrázek vpravo	1600	1/640 s



Obrázek 21: Postavení řas (vlevo) a slzný bod (vpravo)



Obrázek 22: Vaskularizace (vlevo) a everze horního víčka (vpravo)

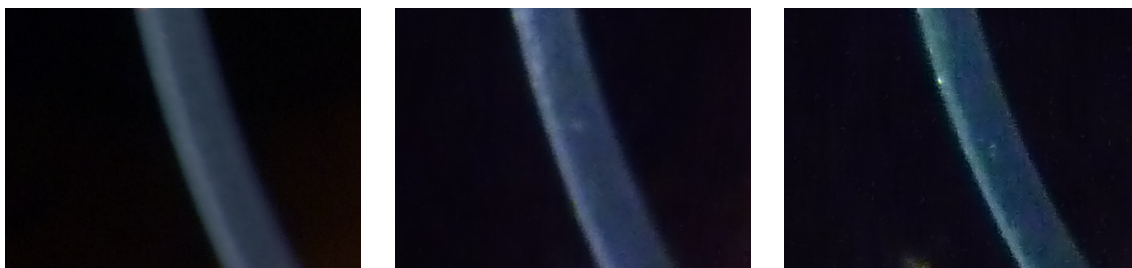
5.3.4 Diskuse k difúznímu osvětlení

Na obr. 20 je zobrazen celkový vzhled oka s různou citlivostí ISO. Z fotografií je dobře patrný vliv citlivosti na přítomnost digitálního šumu. Z parametrů uvedených v tabulce č. 3 lze vyčíst dostatečné osvětlení, díky kterému není nutné volit vyšší citlivosti. I při ISO 200 je expoziční čas dostatečně krátký na to, aby nedocházelo ke stržení snímku. Zatímco při ISO 200 nebo 400 je snímek kvalitní a bez zřetelné přítomnosti šumu, volba vyšších citlivostí vede k výraznému nárůstu šumu. Volba vyšší citlivosti pak zbytečně znehodnocuje snímek. Na snímku s ISO 800 je již šum patrný jak v oblasti zornice, tak i v duhovce, která se tím zdá být rozostřena. Na snímku s ISO 1600 jsou tyto jevy ještě více zřetelné. Pro celkový přehled oka je kvalita snímku dobrá i při ponechání volby citlivosti ISO v automatickém režimu, kdy si obvykle fotoaparát zvolil citlivost maximálně ISO 400. Vzhledem k použití difúzního osvětlení je pozorovaná oblast rovnoměrně osvětlená a režim plošného měření expozice poskytuje správné určení expozičního času. Kompenzace expozice je v tomto případě bezpředmětná. Vzhledem k charakteru snímku, který zachycuje celkový přehled předního segmentu, je možné nastavit vícebodový režim ostření. V případech, kdy fotoaparát zvolil nevhodné body ostření (např. , bylo nutné zvolit režim jednobodový, ve kterém je zaostřováno na střed snímku.

Na obr. 21 a 22 jsou zachyceny další příklady využití difúzního osvětlení: postavení řas, slzný bod, vaskularizace a everze horního víčka. I při volbě vyššího zvětšení bylo dosaženo v režimu automatické volby citlivosti ISO nastavení správných parametrů expozice. V případě těchto snímků je rozhodující zaostření na požadovaný detail na rozdíl od předchozích snímků celkového přehledu. Volba režimu vícebodového ostření tudíž neměla žádné opodstatnění, režim ostření byl vždy nastaven na jednobodový.

5.3.5 Optický řez

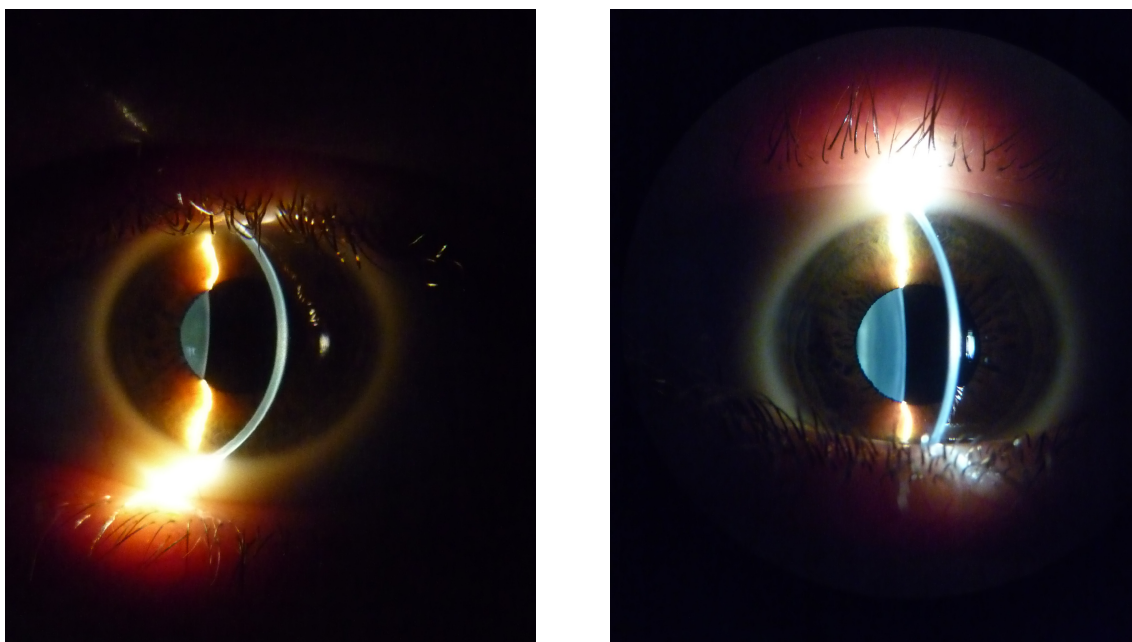
Jedná se o jednu z nejdůležitějších vyšetřovacích metod přímého osvětlení. Pořízené snímky jsou na obr. 23, 24 a 25. Příslušné parametry expozice obr. 23 popisuje tab. č. 4.



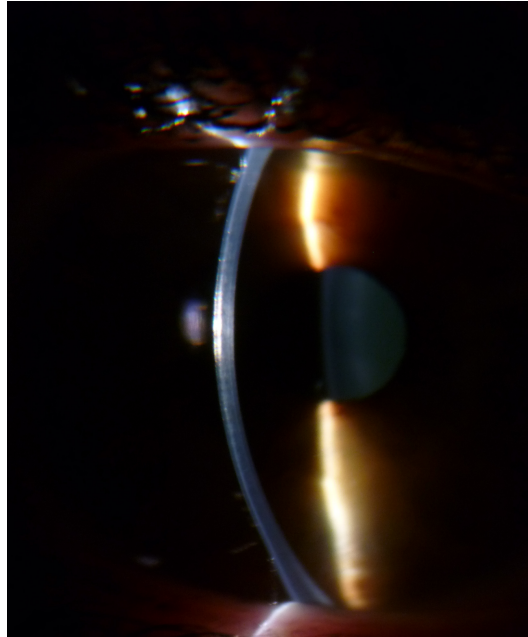
Obrázek 23: Optický řez rohovkou s různou hodnotou ISO (výřez programem IrfanView)

Tabulka č. 4: Parametry expozice fotografií na obr. 23

Obrázek	Hodnoty ISO	Expoziční čas
vlevo	400	1/2,5 s
uprostřed	800	1/4 s
vpravo	1600	1/13 s



Obrázek 24: Optický řez rohovkou (vlevo) a optický řez čočkou (vpravo)



Obrázek 25: Optický řez rohovkou (ISO 200, expoziční čas 1 s) – snímek stržený

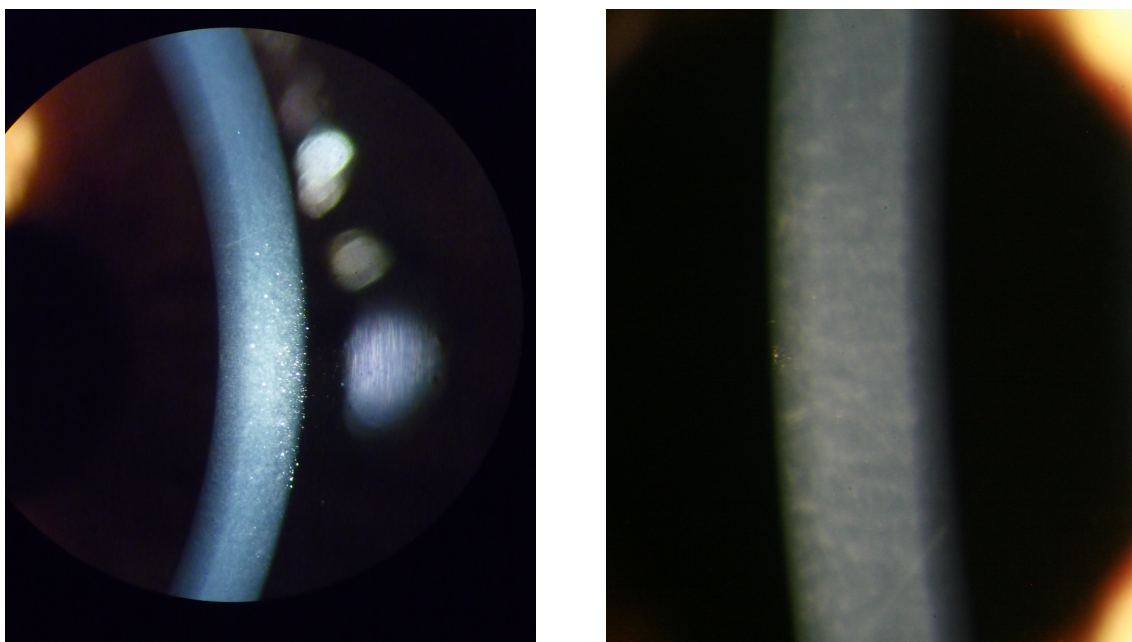
5.3.6 Diskuse k optickému řezu

Vzhledem k tomu, že se jedná o specifickou techniku zobrazení konkrétních struktur oka, je využití automatických funkcí fotoaparátu značně omezené. Pozorovaná část oka je osvětlena intenzivním úzkým paprskem, zatímco osvětlení ostatních (nepozorovaných) oblastí je výrazně slabší, ačkoli jsou součástí zorného pole a tudíž výsledné fotografie. Celkové množství světla je v porovnání s difúzním osvětlením výrazně menší a volba nízké citlivosti vede k velmi dlouhým expozičním časům, díky kterým by mohlo dojít ke stržení snímku. I při citlivosti ISO 400 nebo 800 je obvyklá délka expozičních časů v řádu desetin sekundy. Naopak se zvyšující se citlivostí roste míra šumu a je tedy nutné najít vhodný kompromis. Z tohoto důvodu byla pořízena série fotografií s různou hodnotou citlivostí ISO. Fotografie byly hodnoceny z hlediska přítomnosti šumu a z pohledu délky expozičního času (nebezpečí stržení). Z výřezů na obr. 23 je patrné znehodnocení snímku šumem rostoucím se zvyšující se citlivostí. Pro naše instrumentální uspořádání se jako nejvhodnější hodnota citlivosti osvědčilo ISO 400, případně ISO 800. Pro nižší hodnotu citlivosti byl výsledný expoziční čas cca 1 s a pořízený snímek byl obvykle nekvalitní (viz obr. 25). Hodnota ISO 1600 zajistila relativně kratší expoziční časy, ale míra šumu je v tomto případě nepřijatelná. Vzhledem k tomu, že je nutné zaostřit na požadovaný detail, musí být funkce ostření

nastavena na jeden bod a tento detail musí být uprostřed zorného pole (viz obr. 24). Ačkoliv jsou jednotlivé oblasti snímku osvětleny výrazně nerovnoměrně, není nutné u tohoto typu snímku využít kompenzaci expozice. Požadovaná vyšetřovaná oblast je tou nejvíce osvětlenou a režim plošného měření expozice zajistí automaticky, aby v této oblasti nedošlo k přexponování. Ostatní podexponované oblasti nás nezajímají.

5.3.7 Paralelní řez

Technika paralelního řezu je využívána při různých zvětšení o šíři řezu odpovídající síle rohovky (0,1 – 0,7 mm). Tento řez umožňuje sledovat např. epitel, endotel a striata. Následující obr. 26 porovnává snímky paralelního řezu fotografované afokální soustavou a v primárním ohnisku.



Obrázek 26: Paralelní řez fotografovaný afokálně (vlevo) a v primárním ohnisku (vpravo)

5.3.8 Diskuse k paralelnímu řezu

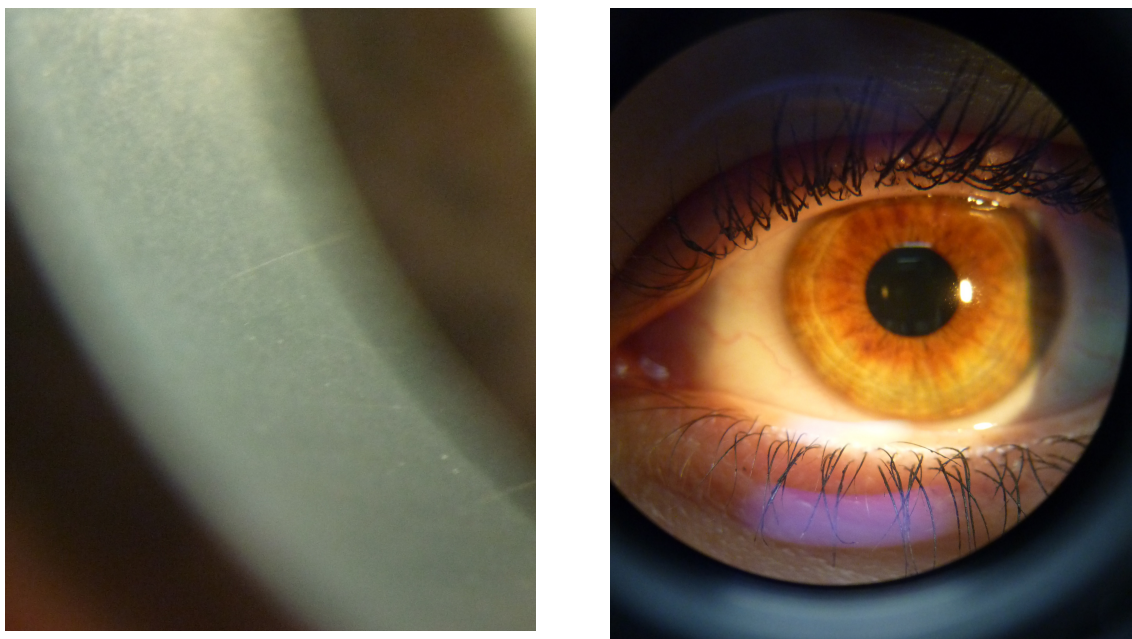
Přístroje, které mají fotoaparát připevněný k děliči svazku, mají obvykle jednu zásadní nevýhodu. Fotoaparát je k děliči přichycen napevno a pro zaostření se používá pohyb štěrbinovou lampou. Zaostření je nutné pozorovat v hledáčku fotoaparátu, a proto může snadno dojít k nedokonalému zaostření, viz obr. 26 vpravo. Pohybem štěrbinové lampy navíc dojde k rozostření v okulárech pro přímé pozorování. Toto platí samozřejmě i opačně, při zaostření obrazu pozorovaného v okulárech dojde k rozostření fotografovaného obrazu. Doba mezi okamžikem nalezení předmětu zájmu v okulárech a okamžikem pořízení fotografie se tímto prodlužuje o čas potřebný k přeostření. S rostoucí prodlevou narůstá riziko pohybu vyšetřovaného oka a hrozí ztráta předmětu zájmu. Technicky je možné tento problém eliminovat instalací fotoaparátu na výtah místo pevného spojení. S tímto se u afokálního uspořádání potýkat nemusíme,

o definitivní zaostření výsledné fotografie se postará funkce autofokus, viz obr. 26 vlevo.

Podmínky při technice paralelního řezu jsou téměř identické jako při technice optického řezu, proto i nastavení parametrů fotoaparátů musí být stejné. To znamená ISO 400 nebo 800, bodové ostření bez nutnosti kompenzace expozice.

5.3.9 Široký svazek

Technika využívající paprsek rozšířený nad tloušťku rohovky (1 – 5 mm) umožňuje zobrazit nervová vlákna rohovky, spojivkové anomálie, velké jizvy a zákaly v rohovce. Snímky pořízené při technice širokého svazku zobrazuje obr. 27 a 28.



Obrázek 27: Nervová vlákna rohovky (vlevo) a přední segment oka (vpravo)



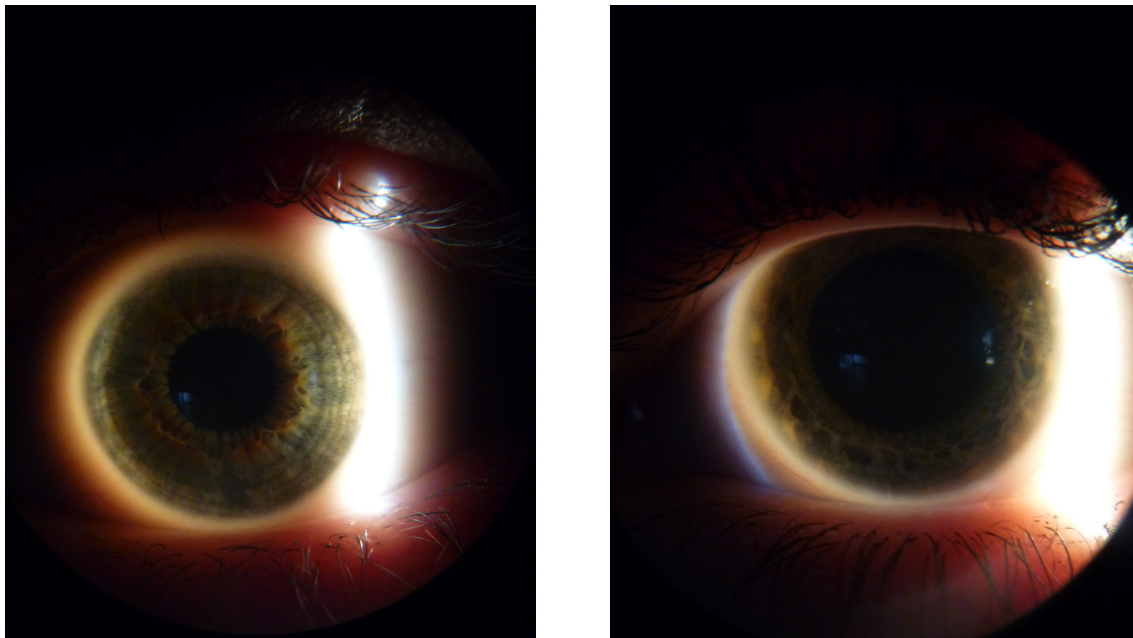
Obrázek 28: Detail zornice

5.3.10 Diskuse k širokému svazku

I přes nižší intenzitu světla zdroje zajišťuje široký svazek lepší osvětlení v porovnání s optickým či paralelním řezem. Pro pořízení kvalitní fotografie stačí nižší citlivost ISO 400 a relativně kratší expoziční časy, tudíž nedochází ke stržení snímku a přítomnosti šumu. Vzhledem k širokému rozpětí tloušťky svazku by se zdálo namíste nastavit jednotlivé parametry právě s ohledem na šířku svazku. Při využití šířky svazku, blížící se k horní hranici, se charakter osvětlení podobá situaci při difúzním osvětlení (viz obr. 27 vpravo). Vyšetřovaná oblast je rovnoměrně osvětlena a zabírá velkou část snímku. Proto je možné ponechat volbu citlivosti ISO v automatickém režimu. Při využití svazku o šířce blízko dolní hranice se situace blíží podmínkám při paralelním řezu. Užší svazek volíme např. při zobrazení rohovkových nervů, v tomto případě ale musíme zvolit dostatečné zvětšení a výsledná fotografie je opět osvětlena rovnoměrně. Automatický režim volby citlivosti ISO proto přináší i v tomto případě dobrý výsledek (viz obr. 27 vlevo). Režim ostření byl nastavený na jeden bod a kompenzace expozice nebyla použita.

5.3.11 Sklerální rozptyl

Tato technika dovoluje pozorovat velké afekce rohovky, které nepostihují její celou plochu. Výsledné snímky zachycuje obr. 29 a 30.



Obrázek 29: Rozptyl na limbu (vlevo) a rozptyl na okraji kontaktní čočky (vpravo), bez kompenzace expozice



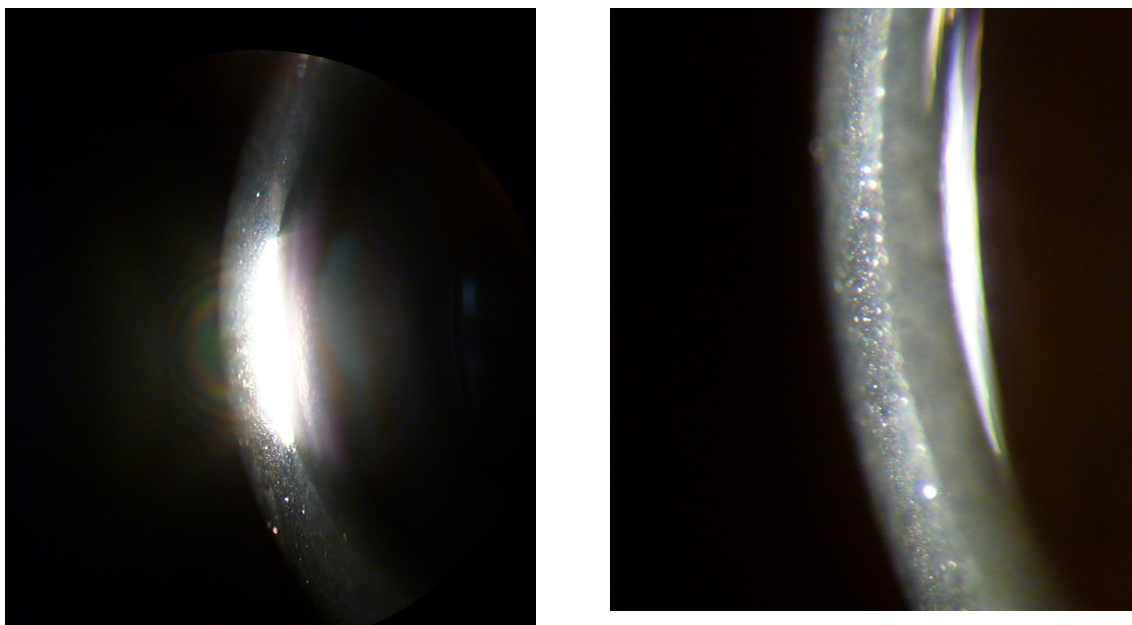
Obrázek 30: Rozptyl na limbu při kompenzaci expozice

5.3.12 Diskuse ke sklerálnímu rozptylu

V případě fotografie metodou sklerálního rozptylu se setkáváme s dalším odlišným typem fotografie, který může být pro automatické funkce fotoaparátu problematický. Na snímku je zachycená jak osvětlovaná oblast oka, tak i oblast pozorovaná. Z hlediska vyhodnocení snímku je rozhodující oblast pozorovaná, která je ovšem několikanásobně méně osvětlená, než osvětlovaná oblast. Vzhledem k faktu, že kompaktní fotoaparáty využívají plošné měření expozice a obvykle neumožňují měření bodové, může se stát, že pozorovaná oblast bude podexponována. Pro eliminaci tohoto vlivu lze použít kompenzaci expozice, při které dojde k dostatečné expozici pozorované části. Osvětlovaná oblast bude v tomto případě sice přeexponována, ale protože není z hlediska vyhodnocení podstatná, není to problém. Výsledek tohoto nastavení je dobře patrný při porovnání obr. 29 vlevo a obr. 30. Volbu citlivosti ISO se osvědčilo ponechat v automatickém režimu. Režim ostření byl nastaven na jeden bod.

5.3.13 Zrcadlový reflex

Tato technika je speciální způsob paralelních řezů, při které zdroj osvětlení a pozorovací mikroskop svírají stejný úhel. Díky této technice lze hodnotit kvalitu slzného filmu a pozorovat endotel rohovky viz obr. 31.



Obrázek 31: Slzný film: lipidová vrstva (vlevo) a slzný film s endotelem rohovky (vpravo)

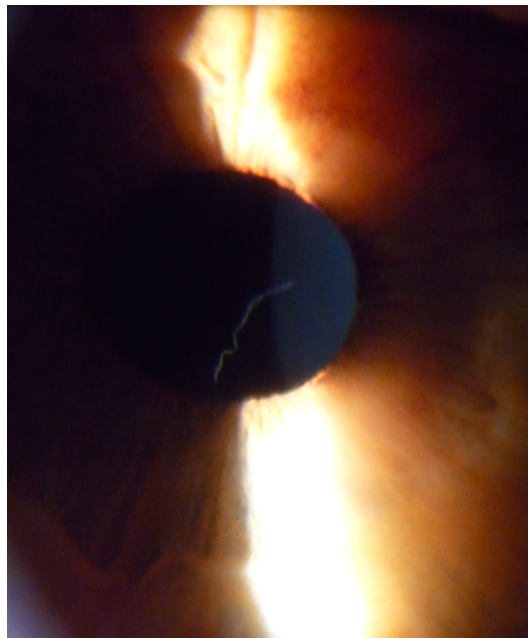
5.3.14 Diskuse k zrcadlovému reflexu

Jedná se o metodu monokulární, kdy jeden okulár používáme pro správné nastavení úhlu (dosaženo zrcadlového reflexu), zatímco vlastní pozorování se provádí okulárem druhým. U této metody tedy nevadí ztráta binokulárního vidění díky afokálnímu uspořádání fotoaparátu, ale určitou komplikaci to při pozorování přináší. Pokud ve volném okuláru správně nalezneme zrcadlový efekt, nemáme možnost v druhém okuláru přímo pozorovat, protože tento okulár je obsazený fotoaparátem. Možným řešením by bylo odklopení fotoaparátu, což ovšem není technicky vhodné, navíc je tento okulár z důvodu afokálního nastavení pevně nastaven na hodnotu 0. Pokud tedy chceme přímo pozorovat okem, je nutné úlohu okuláru zaměnit a pro nalezení zrcadlového efektu použít okulár s fotoaparátem a zrcadlový reflex pozorovat na displeji fotoaparátu. V tomto případě můžeme volným okulárem pozorovat, ale nemáme možnost pořídit fotografii, resp. na fotografii by bylo zrcátko, nikoli okem

pozorovaný obraz. Protože metoda zrcadlového reflexu využívá jak obraz zrcátka, tak obraz v druhém okuláru, není tato vlastnost skutečnou překážkou. Pouze získáváme opačný snímek, než je v pozorovacím okuláru. S ohledem na použití velkého zvětšení je důležité zajistit krátký expoziční čas, jako ochranu před stržením snímku. S ohledem na míru šumu se osvědčilo nastavit citlivost ISO na hodnotu 800. Ponechání volby citlivosti v automatickém režimu může způsobit delší expoziční čas. Vzhledem k tomu, že se jedná o fotografii konkrétního detailu, byl použit jednobodový režim ostření.

5.3.15 Nepřímé zpětné osvětlení

Technikou nepřímého zpětného osvětlení se objekty pozorují proti tmavému pozadí. Pořízený snímek při této technice zachycuje obr. 32.



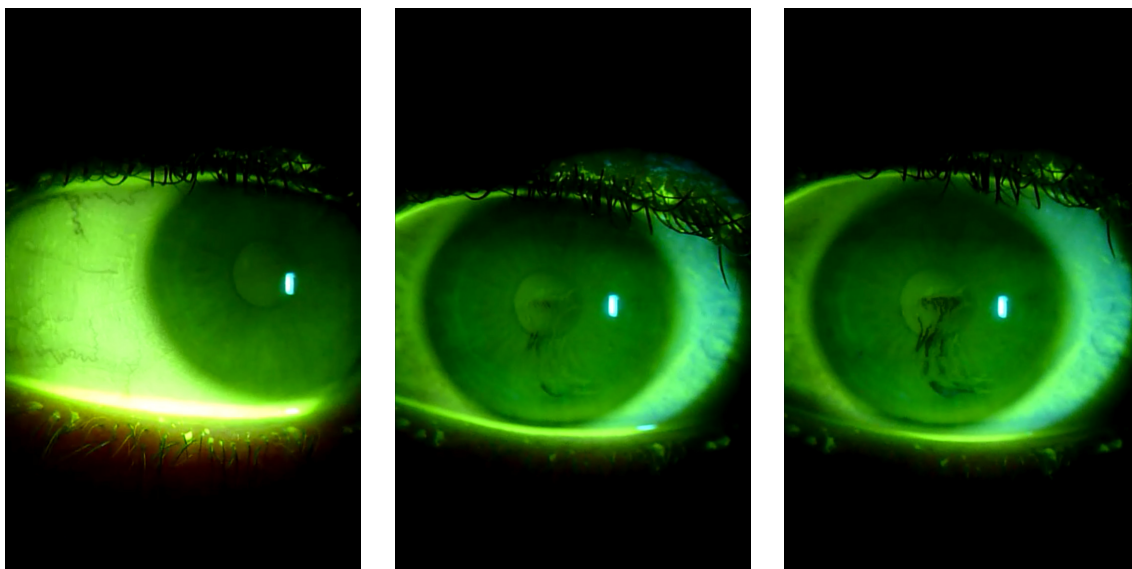
Obrázek 32: Jizva na rohovce zachycená technikou nepřímého zpětného osvětlení.

5.3.16 Diskuse k nepřímému zpětnému osvětlení

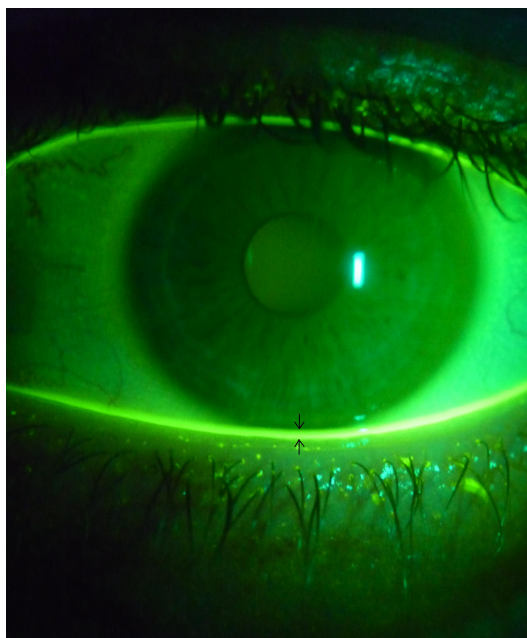
Princip metody spočívá v pozorování paprsků rozptýlených na jizvě proti temnému pozadí zorničky. Součástí snímku jsou zároveň intenzivně osvětlené části oka. Značný rozdíl mezi jasnou pozorovanou oblastí a těmito světlejšími oblastmi může mít za následek podexponování pozorované oblasti. K odstranění tohoto jevu je nutné použít kompenzaci expozice. Vzhledem k tomu, že se metoda používá k pozorování konkrétních detailů, režim ostření musí být nastaven na bodový. Pro pozorování je rozhodující rozptýlené světlo na jizvě, proto je jeho množství velmi malé, a tudíž bylo nutné volit vyšší citlivosti ISO. Temné pozadí zornice je místem na fotografii, kde je nejvíce patrný digitální šum. Jako limitní hodnota citlivosti se ukázalo ISO 800.

5.3.17 Žlutý bariérový filtr

Tato technika spočívá v tom, že se slzný film obarví fluoresceinem a ozáří modrým kobaltovým světlem. Pro zkvalitnění pozorování fluorescence se používá žlutý bariérový filtr. Pořízené snímky prezentuje obr. 33 a 34.



Obrázek 33: Vyšetřovací metoda BUT v čase. Začátek měření po otevření oka (vlevo), první známky trhání slzného filmu po 12 s (uprostřed), zřetelné porušení slzného filmu po 14 s (vpravo)



Obrázek 34: Slzný meniskus vytvořený na okraji spodního víčka.

5.3.18 Diskuse k žlutému bariérovému filtru

Intenzita fluorescentního světla při této technice je výrazně nižší, než intenzita světla zdroje, proto je nutné využít vyšší citlivosti. I přesto jsou expoziční časy pro dostatečnou expozici relativně dlouhé. Například při ISO 800 jsou expoziční časy dlouhé několik desetin sekundy. Vzhledem k tomu, že se jedná o plošně rovnoměrně osvětlený snímek, je možné využít automatickou volbu citlivosti ISO s velmi dobrým výsledkem. Díky rovnoměrnému osvětlení je situace obdobná jako při difúzním osvětlení. Při použití menšího zvětšení, které poskytuje pohled na rozsáhlejší partie oka, je vhodné použít vícebodový režim ostření, naopak při větším zvětšení pro pozorování konkrétního detailu je vhodné nastavit režim jednobodový. Další výhodou kompaktních fotoaparátů je možnost pořízení videozáznamu. To umožnilo zaznamenat průběh měření metody BUT. Možnost zaznamenat průběh metody zvyšuje přesnost určení času. Videozáznam je možné pomocí počítače přehrávat zpomaleně a tím pohodlně a přesně určit čas do porušení celistvosti slzného filmu.

Závěr

Tato diplomová práce je zaměřena jak na teoretický popis podstatných náležitostí, tak i na konstrukci a ověření funkčnosti afokální projekce na štěrbinové lampě.

V úvodní kapitole práce stručně popisuje dostupné modely štěrbinových lamp na našem trhu a jejich vlastnosti. Kapitola se dále věnuje stavbě štěrbinové lampy, popisuje jednotlivé systémy tohoto přístroje a jejich optické principy. Nezapomíná ani na využití filtrů pro specifické účely a objasňuje jejich význam při použití v kombinaci s vitálním barvením předního segmentu oka. V této kapitole rovněž popisuje osvětlovací techniky. Popis principu osvětlovací techniky je doplněn názorným schématem a uvádí strukturu oka, které lze při dané technice pozorovat. Závěrem této kapitoly je návod, jak správně nastavit přístroj a usadit pacienta.

Vzhledem k tomu, že technika afokální fotografie vyžaduje uživatelskou znalost nastavení jednotlivých funkcí digitálního fotoaparátu, se práce v druhé kapitole věnuje základní terminologii v oblasti digitální fotografie. Vysvětluje pojmy, které tvoří obecný princip fotografie. Dále se zabývá základními vlastnostmi objektivu jako je ohnisková vzdálenost, světelnost a rozlišovací mez.

Ve třetí kapitole diplomová práce informuje čtenáře o současných variantách digitálních záznamových zařízení pro štěrbinové lampy. Zaměřuje se na jejich výhody a nevýhody. Základní principy a možnost využití afokální fotografie na štěrbinové lampě jsou rovněž popsány v této kapitole.

Nespornou výhodou digitální fotografie je, oproti fotografii klasické, možnost digitálních úprav pořízených fotografií. Tuto problematiku popisuje diplomová práce v poslední kapitole teoretické části.

Hlavním cílem praktické části bylo sestavit a ověřit metodiku afokální fotografie na štěrbinové lampě. V praktické části práce popisuje jednotlivé techniky osvětlení, rozebírá charakteristické rysy pozorovaných obrazů z pohledu afokální fotografie. Výsledky práce ukázaly, že specifické podmínky při jednotlivých technikách osvětlení vyžadují rozdílné nastavení parametrů fotoaparátu. U některých technik byl patrný výrazný vliv šumu. Ten však byl redukován vhodným nastavením parametrů fotoaparátů. Další možností, která ale nebyla využita, je softwarové odstranění šumu

při následném zpracování fotografií. Pro rychlou orientaci v této problematice proto vznikla tabulka, kterou je možno použít jako manuál při afokální fotografii. Veškeré rozhodující parametry, které umožňuje kompaktní fotoaparát nastavit, jsou v tabulce uspořádány ve vztahu k jednotlivým osvětlovacím technikám tak, aby její použití zajistilo rychlé dosažení požadované kvality fotografie.

Práce prokázala, že vzhledem k cílové skupině optometristů je technika afokální fotografie použitelná a její využití tak může přinést značné finanční úspory. Přímým důsledkem této skutečnosti by mohlo být výraznější rozšíření techniky mezi optometry, což by jejich práci dodalo přidanou hodnotu.

Základní parametry techniky afokální fotografie na štěrbinové lampě

Technika		Zvětšení	Filtry	Šířka štěrbin	Pozorované struktury	Citlivost ISO	Režim ostření	Kompenzace expozice
přímé osvětlení	difúzní	malé	ne	široká	přední segment oka	auto	vícebodové	ne
		střední /velké	ne	široká	postavení řas slzný bod vaskularizace everze horního víčka	auto	jednobodové	ne
	optický řez	malé	ne	úzká	řez rohovkou řez čočkou	400/800	jednobodové	ne
	paralelní řez	malé/střední	ne	střední	řez rohovkou	400/800	jednobodové	ne
	široký svazek	malé/střední	ne	široká	přední segment oka	auto	vícebodové	ne
			modrý	široká	nervová vlákna rohovky	auto	jednobodové	ne
		velké	ne	široká	výška slzného menisku	auto	vícebodové	ne
	zrcadlový reflex	velké	ne	střední	lipidová vrstva slzného filmu rohovkový endotel	800	jednobodové	ne

Technika		Zvětšení	Filtry	Šířka štěrbin	Pozorované struktury	Citlivost ISO	Režim ostření	Kompenzace expozice
nepřímé osvětlení	sklerální rozptyl	malé/střední	ne	střední	rozptyl na limbu	auto	jednobodové	možná
					rozptyl na okraji kontaktní čočky	auto	jednobodové	ne
	nepřímé zpětné osvětlení	střední	ne	střední	jizva na rohovce	800	jednobodové	možná

Skutečné zvětšení štěrbinové lampy	Zvětšení označené v tabulce
5x - 8x	malé
12x	střední
20x - 32x	velké

Skutečná šířka štěrbin	Šířka štěrbin označená v tabulce
0,02 – 0,1 mm	úzká
0,1 – 0,7 mm	střední
1 – 5 mm	široká

Seznam použité literatury

- [1] GROSVENOR, T., *Primary Care Optometry*. 5th edition. Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2007. ISBN 13: 978-0-7506-7575-8 ISBN 10: 0-7506-7575-6.
- [2] MARK ROSENFELD, NICOLA LOGAN, KEITH H. EDWARDS, *Optometry: Science, Techniques and Clinical Management*, 2th edition, Elsevier Health Sciences, 2009, ISBN 9780750687782.
- [3] PETROVÁ, S., MAŠKOVÁ, Z., JUREČKA, T., *Základy aplikace kontaktních čoček*, 2. přeprac. dopl. vyd., Brno: NCONZO, 2008, ISBN 978-80-7013-470-2.
- [4] PONEC, J., *Optické přístroje 1*, Olomouc 2011, Reg. č. CZ.1.07/2.2.00/07.0289.
- [5] THE VISION CARE INSTITUTE, *Vyšetření štěrbinovou lampou* [online], 2012, Dostupné z: http://www.thevisioncareinstitute.cz/sites/default/files/content/cz/Zakladyk ontaktologickepraxe_Vysetrenisterbinovoulampou.pdf
- [6] TRUSIT, D., *Advice on Choosing the Right Slit Lamp* [online], 2001, Dostupné z: www.optometry.co.uk
- [7] GODWIN, E. *Slit lamp biomicroscopy* [online], Dostupné z: www.scribd.com/doc/34959181/Slit-Lamp-Bio-Microscopy
- [8] CLINICAL OPTOMETRY 3, 1999, *Slit lamp examination* [online], Dostupné z: www.academy.org.uk/lectures/eperjesi5.htm
- [9] HAROLD, D., *Expozice a světlo v digitální fotografii*, 1.vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2008. ISBN 978-80-251-2208-2.
- [10] SOUKUP, R., *Škola digitální fotografie*, Praha: Grada Publishing, a.s., 2006, ISBN 80-247-1077-3.
- [11] SOUKUP, R., *Začínáme fotografovat digitálně*, Praha: Grada Publishing, a.s., 2004, ISBN 978-80-247-6408-5.
- [12] JIRÁČEK, M., *Technické základy fotografie*, 1. vyd. Praha: Komora fotografických živností, 2002, ISBN 80-02-01492-8.
- [13] PETR LINDNER, MIROSLAV MYŠKA, TOMÁŠ TŮMA, *Velká kniha digitální fotografie*, Brno: Computer Press, 2008, ISBN 9788025120057.
- [14] *Metody měření expozice* [online], 2013, Dostupné z: https://nikoneurope-cz.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/58372

- [15] Typy objektivů [online], 2008, Dostupné z:
http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=107&id_casti=49
- [16] PONEC, J., Optické přístroje 2, Olomouc 2012, reg. č. CZ.1.07/2.2.00/07.0289.
- [17] FUKA, J., HAVELKA, B., Optika a atomová fyzika, Svazek 1, Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1961. č. 7422/60-III/1.
- [18] Měření rozlišovací schopnosti optických soustav [online], Dostupné z:
<http://webfyzika.fsv.cvut.cz/PDF/navody/fyzika3/NavodF.pdf>
- [19] COVINGTON, M. A., Astrophotography for the amateur, 1. published Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1999, ISBN 0 521 64133 0 hardback.
- [20] MONDAL, B., Slit-lamp Biomicroscopy in Primary Eye Care, 1. Edition, Jaypee Brothers Medical Pub, 2013, ISBN 978-93-5090-616-3.
- [21] CARL ZEISS MEDITEC AG. Eye Examination with the Slit Lamp [online], Jena, 2012, Dostupné z: [http://www.zeiss.com/88256DE3007B916B/0/506FBA0E8FCB598E882571D8007D4B40/\\$file/spaltlampen_eye_exam_en.pdf](http://www.zeiss.com/88256DE3007B916B/0/506FBA0E8FCB598E882571D8007D4B40/$file/spaltlampen_eye_exam_en.pdf)
- [22] PIHAN, R., Základy správné expozice [online], 2012, Dostupné z:
<http://www.4foto.cz/category/hp/page/2/specifičtější-osvětlovací-techniky>.
- [23] <http://www.cmi.sk/oftalmologie/diagnostika-1/sterbinove-lampy/>
- [24] BARNARD, S., The Slit Lamp Microscope [online], Dostupné z:
<http://www.academy.org.uk/lectures/barnard6.htm>
- [25] THE VISION CARE INSTITUTE, Vyšetření slzného filmu [online], 2012, Dostupné z: http://www.thevisioncareinstitute.cz/sites/default/files/content/cz/Vysetreni_slzneho_filmu.pdf
- [26] FOJTŮ, A., Štěrbinová lampa – typy, optické principy přístrojů, využití v optometrické a oftalmologické praxi, bakalářská práce, Editor: S. Petrová, Masarykova univerzita, 2013.
- [27] GONZÁLEZ-CAVADA BENAVIDES, J., Atlas of slit lamp (Ocular biomicroscopy) Madrid: Lettergraf, S.L., 2004, ISBN 933569-0-5.
- [28] <http://cs.wikipedia.org/wiki/DPI> [online]
- [29] PECINOVSKÝ, J., Digitální fotografie a video v Nero 8, Praha: Grada Publishing, a.s., 2008, ISBN: 978-80-247-6195-4.
- [30] PIHAN, R., Praxe při zpracování fotografií - I. [online], 2012, Dostupné z:
<http://www.fotoroman.cz/techniques2/processing1.htm>

- [31] VOJTEK, J., Úpravy barev, FotoVideo, 6/2008, ATEMI, s.r.o., str. 60-65, ISSN 1801-4356.
- [32] GÁLA, L., POUR, J., ŠEDIVÁ, Z., Podniková informatika, 2., přepracované a aktualizované vydání, Praha: Grada Publishing, a.s., 2009, ISBN 978-80-247-2615-1.
- [33] SOUKUP, R., Upravujeme digitální fotografie: rady a postupy pro úpravu na počítači. Vyd. 1. Praha: Grada Publishing, a.s, 2005, ISBN 80-247-1248-2.
- [34] http://en.wikipedia.org/wiki/Afocal_system [online]
- [35] http://en.wikipedia.org/wiki/Afocal_photography [online]
- [36] ŠÁLÁT, F., Záznamová zařízení pro mikroskopy [online], 2013 CAMOSCI CZECH s.r.o. Dostupné z:
<http://www.camosci.cz/cs/inews/zaznamova-zarizeni-pro-mikroskopy/>
- [37] KRUSE, A., LOFSTROM, T., MEYLER, J. & SULLEY, A., Handbook of Contact Lens Management A., Eds (2006), 2nd Edition, Johnson & Johnson Vision Care & Synoptik.
- [38] <http://www.megapixel.cz/noise-reduction>
- [39] PIHAN, R., Redukce šumu (noise reduction, nr) [online], 2011, Dostupné z:
http://www.fotoroman.cz/glossary2/3_noise_reduction.htm