

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI
KATEDRA OPTIKY

Vybrané vizuální projevy primárního glaukomu s otevřeným úhlem

Diplomová práce

VYPRACOVALA:

Bc. Petra Očadlíková

VEDOUcí DIPLOMOVÉ PRÁCE:

RNDr. Mgr. František Pluháček, Ph.D

Obor 5345T008 OPTOMETRIE

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením RNDr. Mgr. Františka Pluháčka, Ph.D., za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci dne

.....

Bc. Petra Očadlíková

Poděkování:

Děkuji RNDr. Mgr. Františku Pluháčkovi, Ph.D., za jeho pomoc a cenné rady při vypracování této diplomové práce.

Tato práce byla vytvořena za podpory projektu IGA PřF UP v Olomouci s názvem Optometrie a její aplikace, č. IGA_PrF_2018_007.

OBSAH

OBSAH.....	- 4 -
ÚVOD.....	- 6 -
1 PRIMÁRNÍ GLAUKOM S OTEVŘENÝM ÚHLEM.....	- 7 -
1.1 Anatomické a patofyziologické souvislosti	- 7 -
1.1.1 Nitrooční tekutina.....	- 7 -
1.1.2 Nitrooční tlak.....	- 8 -
1.1.3 Sítnice a terč zrakového nervu	- 11 -
1.2 Klasifikace primárního glaukomu s otevřeným úhlem (PGOÚ).....	- 15 -
1.3 Vliv na vidění.....	- 16 -
2 GLAUKOMOVÉ ZMĚNY ZORNÉHO POLE A JEJICH VYŠETŘENÍ....	- 18 -
2.1 Poruchy zorného pole.....	- 19 -
2.2 Vyšetření zorného pole	- 20 -
2.2.1 Konfrontační metoda a Amslerova mřížka	- 20 -
2.2.2 Kinetická perimetrie	- 21 -
2.2.3 Statická perimetrie.....	- 22 -
3 GLAUKOMOVÉ ZMĚNY KONTRASTNÍ CITLIVOSTI A JEJICH VYŠETŘENÍ	- 26 -
3.1 Křivka kontrastní citlivosti.....	- 27 -
3.2 Klinický význam KC u glaukomu.....	- 28 -
3.3 Měření kontrastní citlivosti	- 29 -
4 GLAUKOMOVÉ ZMĚNY BARVOCITU A JEJICH VYŠETŘENÍ.....	- 32 -
4.1 Vnímání barev	- 32 -
4.2 Poruchy barevného vidění.....	- 33 -
4.3 Vyšetření barvocitu	- 34 -

5 EXPERIMENTÁLNÍ SLEDOVÁNÍ VLIVU GLAUKOMU NA HODNOTY KONTRASTNÍ CITLIVOSTI, BAREVNÉHO VIDĚNÍ A STEREOPSE...	- 36 -
5.1 Testování pacienti	- 36 -
5.2 Metodika měření	- 37 -
5.3 Výsledky	- 40 -
5.3.1 Kontrastní citlivost	- 40 -
5.3.2 Stereopse	- 45 -
5.3.3 Barevné vidění.....	- 45 -
5.4 Diskuze.....	- 46 -
ZÁVĚR.....	- 49 -
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 50 -

ÚVOD

Glaukom patří mezi nejčastější příčiny slepoty. Znamější je mezi pacienty pod označením zelený zákal. Zejména forma s tzv. otevřeným úhlem, která je současně nejrozšířenější, je záladná především tím, že pacienta dlouhou dobu nic nebolí a vidí dobře. Doposud nebyly příčiny vzniku zcela objasněny, a tedy nelze jednoznačně doporučit, jak lze onemocnění účinně předcházet. Jestliže je ovšem glaukom včas diagnostikován a je nasazena účinná léčba, pak je možné zabránit progresi, a tedy i poškození zraku. Diagnostika je založena na sledování odpovídajících příznaků, přičemž vliv na kvalitu života mají především změny související s viděním. Jedná se zejména o defekty v zorném poli, zhoršení kontrastní citlivosti, barvocitu, stereopse a později i pokles zrakové ostrosti. Cílem práce je podrobněji popsat právě tyto vizuální projevy glaukomu s otevřeným úhlem a experimentálně ověřit údaje uváděné v literatuře. Glaukom s otevřeným úhlem byl vybrán právě pro svou relativně vysokou prevalenci a diagnostickou komplikovanost.

Teoretická část nejprve seznámí čtenáře se základními pojmy, klasifikací glaukomu a jeho stěžejními příznaky. Jejím hlavním úkolem je především poskytnout popis vlivu této choroby na zorné pole, kontrastní citlivost, stereopsi a barvocit. Tyto parametry jsou následně předmětem experimentální části. Součástí teoretického úvodu je také rešerše odpovídajících odborných studií.

Cílem praktické části práce je na základě výsledků klinického měření ověřit v literatuře udávané informace o vlivu glaukomu s otevřeným úhlem na výše uvedené vizuální projevy této choroby. V rámci studie budou porovnávány hodnoty sledovaných veličin zdravých jedinců a jedinců s glaukodem otevřeného úhlu. Také bylo zjišťováno, zda má výskyt glaukomu vliv na opakovatelnost měření kontrastní citlivosti.

1 PRIMÁRNÍ GLAUKOM S OTEVŘENÝM ÚHLEM

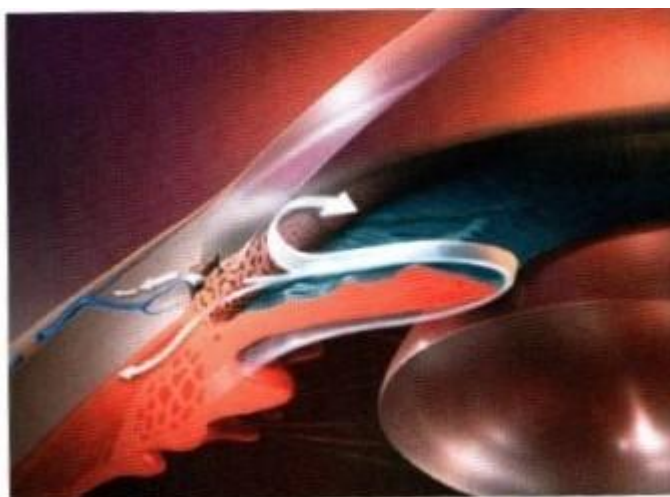
Název glaukom je odvozen z řeckého slova glaukos, což znamená „šedomodry,“ laicky označovaný jako zelený zákal. Glaukom charakterizuje širokou škálu onemocnění, kdy postupně odumírají nervové buňky a nervová vlákna. Ztráta nervových vláken je především na terči zrakového nervu, což následně způsobuje zhoršení vidění a může vést až k oslepnutí. Většina pacientů ovšem poměrně dlouhou dobu nepozoruje jakékoli omezení ve vidění. Jednou z několika glaukomových příčin je zvýšený nitrooční tlak. Mezi další rizikové faktory pro vznik glaukomového poškození patří vyšší věk, rodinná anamnéza, ženské pohlaví, myopie, aj. Glaukomy můžeme klasifikovat podle stavu komorového úhlu a podle toho, zda se jedná o primární onemocnění či následek jiné nemoci. Práce se věnuje výhradně primárnímu glaukomu s otevřeným úhlem, jelikož tvoří až 2/3 všech glaukomů. [1, 2, 3, 4, 5]

1.1 Anatomické a patofyziologické souvislosti

1.1.1 Nitrooční tekutina

Nitrooční tekutina je produkována epitelovými buňkami řasnatého tělesa, kde se tvoří z krevní plazmy ultrafiltrací, aktivní sekrecí a difuzí. Fyziologicky se jedná o hypertonickou tekutinu, která má vysokou koncentraci kyseliny askorbové a malý obsah proteinů. Za minutu je vytvořeno 2,0–2,5 μl čiré tekutiny, která proudí ze zadní komory do přední komory zornic. Rychlost produkce může být snížena u starších lidí, při zánětech, úrazech či vlivem léků. [1, 6]

Odtok nitrooční tekutiny odtokovými cestami je možný pouze v případě dostatečné produkce této tekutiny. Množství odtékající nitrooční tekutiny za minutu se pohybuje od 0,22 do 0,30 μl . Existují 2 typy odtoku nitrooční tekutiny – trabekulární a uveosklerální. Trabekulární odtok závisí na nitroočním tlaku, vede přes trabekulární síťovinu do Schlemmova kanálu, kolektorovými kanálky až do venózního systému. Uveosklerální odtok směřuje přes ciliární sval do supraciliárních a suprachoroidálních prostor a opouští oko sklérou. Touto cestou průměrně odtéká 10–15 % nitrooční tekutiny a odtok je zcela nezávislý na nitroočním tlaku.



Obrázek 1 – Schéma cirkulace nitrooční tekutiny [3], přerušovaná linie vyznačuje směr odtoku trávčinkou a plná linie uveosklerální cestou.

Dynamika nitrooční tekutiny u zdravého oka udržuje její objem i nitrooční tlak ve stálé hodnotě. Další funkcí nitrooční tekutiny je výživa bezcévnatých částí oka. U glaukomu je zhoršený odtok nitrooční tekutiny z důvodu obstrukce nebo poruchy funkce trávčinky. Průtok nitrooční tekutiny lze měřit tonografií a fluorometrií. [1, 3, 7]

1.1.2 Nitrooční tlak

Nitrooční tlak udržuje stálý tvar oka a tvoří ochranu před zdeformováním oční koule. Určuje také vztah mezi tvorbou a odtokem nitrooční tekutiny. Nitrooční tlak se obvykle udává v mmHg. U normálního nitroočního tlaku, kdy není poškozován zrakový nerv, se hodnoty pohybují mezi 10 až 20 mmHg.

Změny hodnot nitroočního tlaku

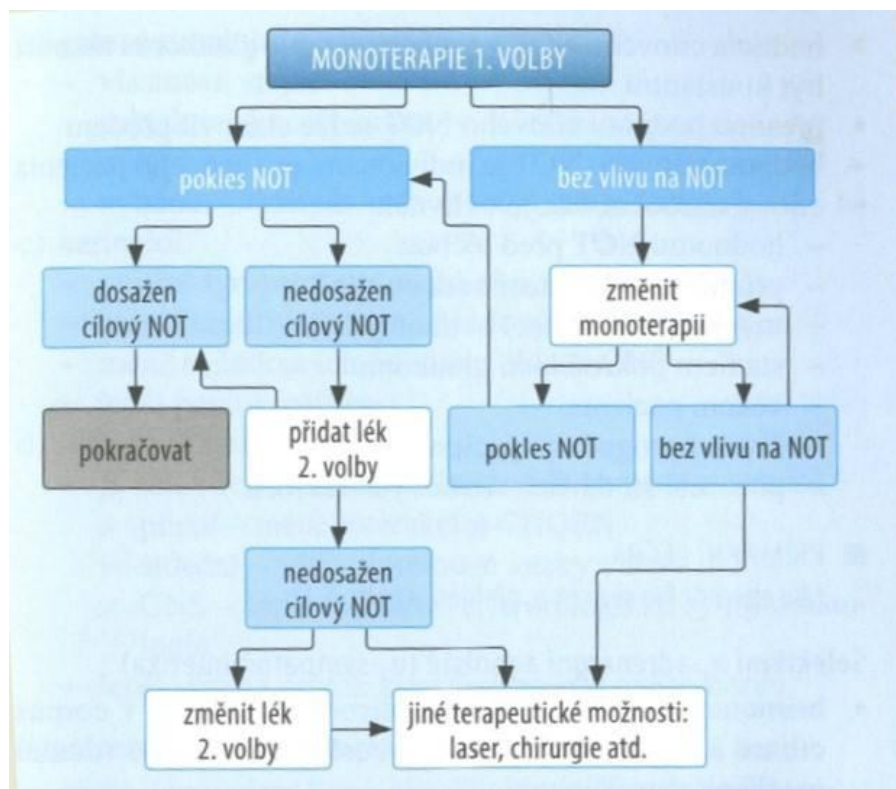
Nitrooční tlak zdravého oka je na relativně stálé úrovni. Během dne dochází k jeho kolísání přibližně o 8 mmHg, přičemž nejvyšší hodnota je dosahována ráno. Snížení nitroočního tlaku je důsledkem snížené tvorby nebo snadnějšího odtoku nitrooční tekutiny. Naopak zvýšení nastává, jestliže je u nitrooční tekutiny zvýšena tvorba nebo je zhoršen odtok. Zvýšení nitroočního tlaku může mechanicky poškodit terč zrakového nervu, omezit výměnu informací mezi buňkami a také snížit oční perfúzi. [2, 3]

Vliv glaukomu na nitrooční tlak

Glaukom je obvykle doprovázen vyšším nitroočním tlakem, avšak může se rozvinout i při normálních, nebo dokonce nižších hodnotách. Pokud dochází k rozvoji změn zrakových funkcí při normálních hodnotách nitroočního tlaku, označujeme tento stav jako glaukom s normální tenzí. Prahová hodnota nitroočního tlaku, při níž se již poruchy objevují, je u každého jedince individuální a závisí i na dalších rizikových faktorech. Jsou také pacienti, kteří mají zvýšený nitrooční tlak a nedochází ke glaukomovému poškození zrakových funkcí. Tato situace se nazývá oční hypertenzí. [7]

Léčba

Při léčbě glaukomu je snaha snížit nitrooční tlak na hodnotu „cílového tlaku,“ což je tlak, který zachová optický nerv beze změn. U pacientů s glaukomem nitrooční tlak více kolísá, ve srovnání se zdravým okem. Výraznější kolísání je také škodlivé, proto je cílem léčby také jeho stabilizace. Standardně pacient nejprve užívá léky na snížení nitroočního tlaku. V případě, že je nasazený preparát v monoterapii neúčinný, první krokem by měla být výměna za jiný. Jestliže ani poté nenastal pokles nitroočního tlaku, doporučuje se kombinace 2 preparátů. Jakmile je nutné ke kompenzaci nitroočního tlaku užívat více než 2 lokální léčiva, měl by být zvážen laserový či chirurgický zákrok. [1, 2, 8, 9]



Obrázek 2 – Možnosti léčby. [5]

Rizikové faktory

Existuje množství faktorů, které mohou více či méně ovlivňovat nitrooční tlak. Věk hraje důležitou roli, většina pacientů má více než 40 let. Zvýšení nitroočního tlaku se obvykle objeví mezi 40. a 50. rokem. Genetika je také jedním z faktorů. Jednotlivé formy glaukomu se častěji vyskytují u jednoho pohlaví než u druhého. Ženy více trpí glaukomem s normální tenzí a jsou citlivější na vliv nitroočního tlaku. Účinek má také refrakce, myopové jsou značně senzitivní na působení vyšší hodnoty nitroočního tlaku. K látkám, které jsou spojené s rizikem zvýšení nitroočního tlaku, patří kofein, tabák, kortikosteroidy, aj. [2]

Měření nitroočního tlaku

Tonometrie je odlišný název pro měření nitroočního tlaku. Tonometry jsou indentační, aplanační a bezkontaktní. Hodnota nitroočního tlaku je rovna velikosti síly potřebné k dosažení indentace nebo aplanace rohovky. Orientačně je možné též určit hodnotu nitroočního tlaku pohmatem.

Indentačním tonometrem je Schiøtzův tonometr. Měří deformaci rohovky způsobenou tyčinkou měřidla, která je v lokální anestezii přiložena kolmo na střed rohovky. K určení aktuální hodnoty nitroočního tlaku se používá nomogram. [6]

Mezinárodním standardem je Goldmannův aplanační tonometr založený na principu oploštění malé plochy rohovky, přičemž nitrooční tlak se určí z poměru síly a aplanované plochy. Aplanační se provádí speciálním komolým kuželem na přitlačném zařízení. Nutností je obarvení rohovky fluoresceinem. Protože se kužel dotýká rohovky je také nutné její znecitlivění. Vyšetřující na štěrbinové lampě používá modrý filtr. Aplanační je indikována vzhledem fluoresceinového obrazce. Hodnota nitroočního tlaku je uvedena přímo na stupnici přitlačného zařízení. Vyšetření je přesné a spolehlivé, chyby měření mohou být způsobeny pouze vysokým astigmatismem nebo většími nepravidelnostmi rohovky. [1, 3, 6]

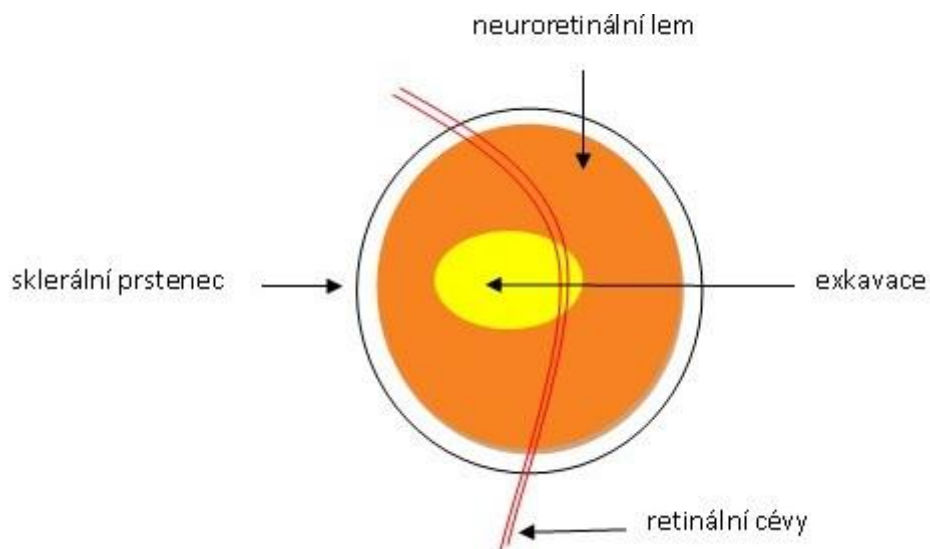
Bezkontaktní zařízení oploští rohovku nárazem vzduchu o rychlosti 1 až 3 m/s. Pro stanovení nitroočního tlaku je podstatný čas, popř. tlak vzduchového pulzu nutný k oploštění. Hodnoty nitroočního tlaku jsou opět převedeny na milimetry rtuťového sloupce. Abychom eliminovali chybu měření, je nutné vyšetřit pacienta vícekrát. Výhodou této metody je, že není třeba povrch rohovky anestetizovat.

Pro správný výklad výšky nitroočního tlaku je nutné provést vyšetření rohovkové pachymetrie. Tímto měřením je zjištěna centrální tloušťka rohovky, která má běžnou hodnotu 545 mikronů. Odlišná tloušťka rohovky může zkreslit vlastní měření tlaku, a proto je nutné provádět korekci. Každých 50 mikronů od normy znamená přepočítat hodnotu aplanační tonometrie o 2,5 mmHg. V případě tenké rohovky k hodnotě nitroočního tlaku přičítáme, při tlusté rohovce je nutné od naměřených hodnot nitroočního tlaku odečíst. [1, 4, 10, 11]

1.1.3 Sítnice a terč zrakového nervu

Sítnice tvoří nejnepříjemnější část stěny oka. Je nejdůležitější částí oka, jelikož přijímá, přenáší a zpracovává informace. Je složena ze 2 částí – pars caeca retinae a pars optica retinae. Pars optica retinae je složena z 9 vrstev, kde nejzřejmější je vrstva fotoreceptorů, která obsahuje tyčinky a čípky. Odtud informace postupuje až k nervovým gangliovým buňkám, jejichž výběžky tzv. axony tvoří zrakový nerv. [1, 12]

Zrakový nerv je součástí zrakové dráhy a je zodpovědný za přenos impulzů mezi neurosenzorickou částí sítnice a zrakovým centrem corpus geniculatum laterale, odkud jsou impulzy předány do mozku. **Terč zrakového nervu** je bledší oválná plocha, která má průměr 1,5–2 mm. Velikost terče se nemění během života. Je to místo, kde nervová vlákna vycházejí z oka. V centru terče je fyziologické prohloubení neboli **exkavace**. Velikost exkavace je závislá na velikosti terče. Malá exkavace je přítomná u malého terče, zatímco velká exkavace se nachází u terče velkého. **Neuroretinální lem** označuje oblast mezi sklerálním prstencem a exkavací. **C/D** poměr je poměr průměru exkavace a průměru celého terče. Při jeho hodnocení postupujeme tak, že průměr terče je vždy 1,0 a průměr exkavace usuzujeme vždy po jedné desetinné tedy od 0,1 do 1,0. Zdravé oči mají horizontálně větší C/D poměr. Při sledování progresu počínajících glaukomových změn je C/D poměr citlivou metodou, u progresu pokročilých glaukomových neuropatií je metodou příliš hrubou. Peripapilární atrofie je atrofie v okolí terče zrakového nervu. [1, 13, 14]



Obrázek 3 – Schematické znázornění terče zrakového nervu.



Obrázek 4 – Terče s C/D poměry 0,5; 0,7; 0,9.

Charakteristické změny očního pozadí u glaukomu

- a) Urychlené odumírání nervových vláken vede ke zvětšení exkavace. Terč zrkového nervu bývá v oblasti exkavace bledší. Rozšíření exkavace způsobí úbytek neuroretinálního lemu. V korelaci s úbytkem neuroretinálního lemu je napřímení a obnažení cév. Až 70 % pacientů s glaukomem má mezi pravým a levým okem asymetrickou velikost exkavací.
- b) Mezi známky glaukomového poškození patří vertikální zvětšení C/D poměru, změny ve velikosti a tvaru terče a parapapilární atrofie.
- c) Někdy lze sledovat zářezy neuroretinálního lemu. Jedná se v podstatě o lokální ztenčení neuroretinálního lemu.
- d) U 4–7 % glaukomových pacientů nacházíme při okraji terče zrkového nervu čárkovité nebo třískovité hemoragie. Výskyt je častější v případě normotenzního glaukomu, typicky při horním a dolním pólu. Po několika týdnech vznikají v místech hemoragií defekty ve vrstvě nervových vláken a zmenšení neuroretinálního lemu.
- e) Při glaukomu mohou být poškozena jednotlivá nervová vlákna nebo celé svazky vláken. Tuto situaci nazýváme jako výpadek svazků nervových vláken.

[1, 2, 10, 13, 14]

Čtyři typy glaukomové neuropatie

Podle vzhledu terče zrkového nervu a peripapilární oblasti odlišujeme typ koncentrický, myopický, senilní sklerotický a fokální ischemický. V případě koncentrického (difúzního) typu je exkavace rozšířena do všech směrů a nastává rovnoměrné zúžení neuroretinálního lemu. Při vyšších hodnotách myopie je terč změněn, proto je daleko obtížnější rozeznat glaukomové patologie. Glaukomové změny u vyšších hodnot myopie se projevují mělkou exkavací, která zasahuje až k okraji terče, a zřetelnějším sklerálním prstencem. Pro senilní sklerotický typ je typická miskovitá exkavace zasahující až k okrajům terče a výrazný reflex sklerotických cév. Posledním typem je fokální ischemický typ, který lze snadno rozpoznat podle zářezu exkavace a neuroretinálního lemu. Nejčastější lokalizace je temporálně dolů a nazálně nahoru.

[15, 16]

Výpadky svazků nervových vláken

Ve zdravém oku se nachází asi 1 milión gangliových buněk, a proto i 1 milión nervových vláken. Za normálních okolností během života dochází k ztrátám gangliových buněk a jejich axonu, přibližně 4000–5000 buněk a vláken za rok. Tento jev je u glaukomatiků mnohem rychlejší. Při glaukomových změnách gangliové a gliální buňky odumírají především dějem zvaným apoptóza. Apoptóza je pravděpodobně vyvolána perfúzními problémy a předpokládá se, že následná fáze reperfúze škodí ještě více než samotná ischemie. To zdůvodňuje škodlivý účinek kolísajícího nitroočního tlaku. Defekty ve vrstvě nervových vláken jsou 3 typů – šterbinovitý, klínovitý a difuzní. Šterbinovité defekty se neprojeví jako výpadky zorného pole. Obvykle až při 50 % úbytku nervových vláken je možné zjistit změny v zorném poli. [2]

Odlíšná diagnóza

Defekty ve vrstvě nervových vláken jsou také součástí neglaukomových onemocnění. V ojedinělých případech mohou být přítomny i u zdravých očí. Čím dříve jsou odhaleny glaukomové změny, tím větší je šance zachování stabilních zrakových funkcí. Bohužel existují případy, kdy je nejednoznačné říci, zda se o glaukom jedná nebo nikoli. Úskalím glaukomu je fyziologická variabilita. Pro správnou diagnostiku je velmi důležité porovnat papilu pravého a levého oka. [1, 2, 13]

Možnosti vyšetření

Sítnici a terč zrakového nervu vyšetřujeme pomocí přímé a nepřímé oftalmoskopie. Pro zjednodušení vyšetření je doporučována aplikace mydriatik. Pomocí digitálních zobrazovacích technik lze nález zdokumentovat, což umožňuje sledování progresu. Nejpoužívanějšími zobrazovacími technikami je Heidelbergský retinální tomograf (HRT), GDx analyzátor nervových vláken a optická koherentní tomografie (OCT). HRT je laserový skener, který trojrozměrně zobrazuje zadní segment oka. Výsledkem jsou stereometrické parametry a topografická mapa. GDx analyzátor nervových vláken měří tloušťku nervových vláken v peripapilární oblasti. OCT pomocí infračerveného světla vytváří řezy sítnicí. Kvalitu těchto měření ovlivňují vyšší refrakční vady a zkalení očních médií. [1, 3, 16]

1.2 Klasifikace primárního glaukomu s otevřeným úhlem (PGOÚ)

Glaukom je označován jako primární, když nevzniká následkem jiného očního onemocnění. Glaukom s otevřeným úhlem značí, že komorový úhel je standardně vyvinutý, duhovka jej neblokuje a nejsou přítomny žádné jiné příčiny zvýšení nitroočního tlaku. Opakem je glaukom s uzavřeným úhlem, kdy příčinou nárůstu nitroočního tlaku je uzávěr odtoku nitrooční tekutiny v úhlu přední komory. Pro jeho akutní formu je typická silná bolest oka, mlhavé vidění, fotofobie doprovázená mnohdy až zvracením.

PGOÚ bývá také označován jako chronický prostý glaukom. Zpravidla jsou postiženy obě oči, avšak nesymetricky. Výskyt narůstá s vyšším věkem a riziko u přímých příbuzných dosahuje až 10 %. Onemocnění probíhá dlouhou dobu bez příznaků, protože skotomy vznikají pozvolna. [3, 5, 6]

PGOÚ je tradičně rozdělen do 3 skupin:

- Glaukom s vysokou tenzí – přítomnost glaukomových změn + vysoký nitrooční tlak,
- Glaukom s normální tenzí – přítomnost glaukomových změn + normální nitrooční tlak,
- Oční hypertenze – nepřítomnost glaukomových změn + vysoký nitrooční tlak.

Glaukom s vysokou a normální tenzí se odlišuje nejen hodnotou nitroočního tlaku, ale také morfologickým vzhledem. U normotenzního glaukomu jsou častější hemoragie, peripapilární atrofie, mělčí exkavace a glióznové skvrny. Hranice mezi glaukomem s vysokým a normálním tlakem je 21 mmHg. [1, 2, 5]

PGOÚ se zvýšeným nitroočním tlakem charakterizuje pozvolný úbytek gangliových buněk na sítnici, rozšířená exkavace a defekty zorného pole. Zpočátku je nitrooční tlak zvýšený pouze v některou denní dobu. Nitrooční tlak zpravidla dosahuje hodnot mezi 20 a 30 mmHg, ale výjimkou nejsou hodnoty 30 až 40 mmHg. Poněvadž ani takto vysoké hodnoty nejsou bolestivé, tak pacient o přítomnosti glaukomu často neví. Od doby, kdy začne narůstat nitrooční tlak, do doby prvotních změn na terči a v zorném poli uplyne obvykle i několik let. Příčinou vysokých hodnot nitroočního tlaku je zvýšený odpor odtoku nitrooční tekutiny v trabekulární síťovině. U těchto

pacientů je síťovina čím dál více zanášena látkami, které v odtoku brání. Cílem léčby je výrazné snížení a stabilizace hodnoty nitroočního tlaku. [1, 2, 13]

U další skupiny PGOÚ je přítomna normální tenze. Tvoří 1/3 až 1/2 případů PGOÚ. Jestliže ke glaukomovým změnám dochází při normálním nitroočním tlaku, pak zde hrají důležitou roli další rizikové faktory. Cíle léčby jsou totožné jako u PGOÚ s vyšším nitroočním tlakem, tedy dosažení cílového a stabilního nitroočního tlaku. Hodnota cílového nitroočního tlaku bývá často nižší než 15 mmHg. [2, 5]

Při oční hypertenzi sice ke glaukomovému poškození zatím nedošlo, ale je větší riziko, že v budoucnu nastane. Z tohoto důvodu oční hypertenzi také definujeme jako glaukom. Pacient musí docházet na kontrolní vyšetření v pravidelných intervalech, aby při zaznamenání změn byla ihned nasazena léčba. U některých pacientů se glaukom ovšem nerozvine ani po desetiletích sledování, což je způsobeno vyšší odolností zrakového nervu.

Doposud nebyl přesně vysvětlen mechanismus vyvolávající PGOÚ. Bylo vysloveno několik teorií vzniku PGOÚ, a to mechanická, vaskulární, neuroprotektivní aj. V posledních letech definují studie glaukom jako multifaktoriální onemocnění. Pravděpodobně nejpodstatnějším rizikovým faktorem PGOÚ je nitrooční tlak, který hraje roli při vzniku a progresi onemocnění. Avšak ne vždy hypotenzní léčba zabrání dalším ztrátám zraku, někdy glaukom progreduje i po znormailizování nitroočního tlaku. [2, 13]

1.3 Vliv na vidění

V počátečních stádiích tohoto onemocnění jsou pacienti bez jakýchkoli subjektivních obtíží. Centrální zraková ostrost nebývá nijak poškozena. Periferní vidění je narušeno defekty v zorném poli. Nejprve se jedná o výpadky izolované, které jsou umístěny v periférii zorného pole. Při progresi tyto výpadky splývají a nastává trubicovité vidění. V posledních stádiích onemocnění je poškozena makula, což vede k úplné ztrátě zraku. Podrobněji bude progresse změn v zorném poli popsána v kapitole 2.

Pacienti si obvykle stěžují na horší vidění při slabším osvětlení a obtíže při čtení, což souvisí s poruchou kontrastní citlivosti. Měření kontrastní citlivosti nám podává informace o pacientově vidění za suboptimálních světelných podmínek. Z tohoto

důvodu se kontrastní citlivosti podrobněji věnuje kapitola 3, která zahrnuje mimo jiné i studie zabývající se danou problematikou.

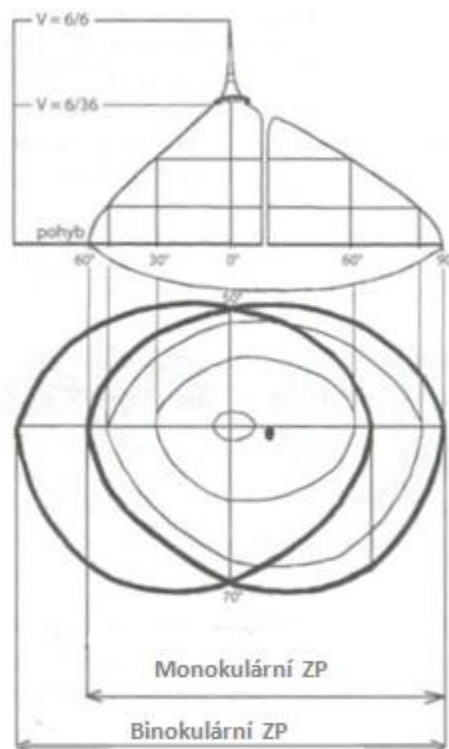
U pacientů s glaukomem je narušena také schopnost správného vnímání barev. Defektům v zorném poli mohou předcházet i poruchy barevného vidění, čehož lze využít i při stanovení diagnózy. Odchytky jsou nejčastěji popisovány v oblasti modré, žluté a zelené (viz kap. 4). [1, 2, 3]

Glaukomové onemocnění ovlivňuje rovněž stav binokulárního vidění. Narušena je stereopse, tedy nejvyšší stupeň binokulárního vidění, která umožňuje pacientovi vnímat trojrozměrnost předmětů, vzdálenosti a hloubku v prostoru. Mozek při tom umožňuje spojit obrazy, které dopadají na disparátní body na sítnici. Studie [17, 18] dokazují výrazné snížení streopse do blízka u pacientů s glaukomem.

Všechny výše popsané vlivy glaukomu na vidění jsou předmětem experimentální části této práce.

2 GLAUKOMOVÉ ZMĚNY ZORNÉHO POLE A JEJICH VYŠETŘENÍ

Zorné pole (ZP) je část prostoru, ze kterého světlo vstupuje na sítnici a způsobuje zrakový vjem. Je tedy jakýmsi okolním prostorem, který pacient vnímá. Periferní vidění je pro život člověka velmi důležité, pomáhá při orientaci v prostoru, zaznamenává pohyby v okolí atd. Případný defekt v ZP může být v mnohých situacích nebezpečný, např. při jízdě autem. ZP rozdělujeme na monokulární a binokulární. Rozsah normálního monokulárního ZP sahá k 60° nazálně, 100° temporálně, 60° nahoře a k 70° dole. Tento rozsah ovlivňují individuální části obličeje (nos, nadočnicový oblouk aj.). Binokulární ZP má v horizontálním rozsahu 120°. Průběh citlivosti v ZP bývá označován jako „Hill of vision.“ Největší citlivost je v centru ZP, což odpovídá fovee na sítnici a směrem do periferie dochází k jejímu snížení. Výška „Hill of vision“ s věkem postupně klesá. Asi 15° od makuly se nachází fyziologická slepá skvrna neboli Mariottův bod, což je místo, kde pacient nevidí nic. Podstatné také je, že obraz vznikající na sítnici je stranově převrácený. Znamená to, že pokud je sítnice poškozena v horní temporální oblasti, tak defekt v ZP je v dolním nazálním kvadrantu. [19, 20, 21]



Obrázek 5 – Rozsah ZP, upraveno z [20].

2.1 Poruchy zorného pole

Výpadkem ZP je označována jakákoli významná odchylka od normálu „Hill of vision.“ Relativní výpadek je část ZP, kde pacient stimuly vnímá, ale prahová citlivost je oproti normě snižena. Typicky pacient vnímá rozmazání nebo clonu. Výpadek absolutní je oblast, kde pacient nevidí nic. Dále můžeme výpadky dělit na pozitivní, to jsou ty, které pacient vnímá, a negativní, které nevnímá. Fyziologickým negativním výpadkem je slepá skvrna. Výpadky periferie ZP se označují jako zúžení a defekt uvnitř ZP jako skotom. Zúžení je buďto lokální nebo koncentrické. Výpadky jsou v některých případech doprovázeny difúzním poklesem senzitivity v rámci celého ZP. [3, 19, 22]

Při glaukomovém onemocnění nastává poškození gangliových buněk, což následně způsobuje defekty v ZP (obr. 6). Tyto defekty vznikají až při zániku celého svazku axonů. Výpadky lze klinicky prokázat až při zániku 50 % gangliových buněk. Z důvodu překrytí ZP pravého a levého oka v centrální části je defekt pacientem rozpoznán většinou pozdě. Časné změny v ZP se projevují izolovanými výpadky. Později vznikají skotomy ve tvaru oblouků, které jsou umístěny nad a pod fixačním bodem. Tyto výpadky obkružují centrální oblast. Pokud dojde k jejich spojení se slepou skvrnou, nazýváme výpadek Bjerrumovým skotomem. Pro glaukom je charakteristický tzv. nazální skok. Defekty v temporální části ZP mají spíše klínovitý charakter. V případě pokračující progresse horní a dolní skotom splývá. Pro terminální stádium se používá termín trubicovité vidění. Změny v oblasti makuly způsobují úplnou ztrátu zraku. V případě, že pacient již nerozliší světlo ani tmu, mluvíme o absolutním glaukomu. [3, 19, 22]

I		jen relativní defekty
II		absolutní defekty bez spojení se slepou skvrnou
III		absolutní defekty ve spojení se slepou skvrnou
IV		absolutní defekty - postihující > 1 kvadrant
V		zachovaný pouze temporální ostrůvek

Obrázek 6 – Výpadky svazků nervových vláken charakteristických pro glaukom. [22]

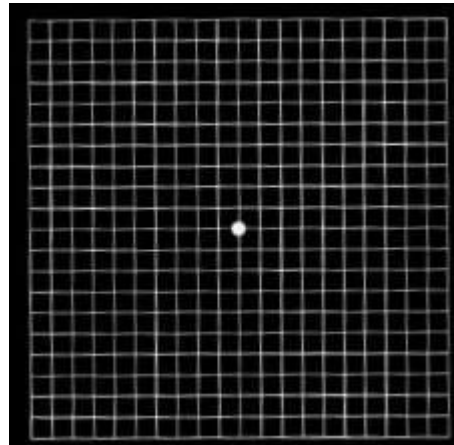
2.2 Vyšetření zorného pole

Orientačně vyšetřujeme ZP konfrontační metodou. Pro zjištění drobných výpadků v centrálním ZP se používá Amslerova mřížka. Přesnější vyšetření ZP získáme pomocí perimetrie. Perimetr vyhodnocuje rozsah ZP kineticky nebo staticky. Perimetrie umožňuje u glaukomu detekovat funkční poškození zraku, pomáhá při diagnostice a sledování progresu tohoto onemocnění. Statická perimetrie je nejpoužívanějším a také nejpresnějším vyšetřením, jelikož může určit i prahovou citlivost sítnice. Tato metoda je též využita v experimentální části práce. Z těchto důvodů jí bude věnována větší pozornost. [1, 13]

2.2.1 Konfrontační metoda a Amslerova mřížka

Konfrontační metoda funguje na principu porovnání ZP vyšetřovaného a vyšetřujícího. Ti během vyšetření sedí naproti sobě ve vzdálenosti 1 m a každý z nich má jedno oko zavřené. Stimulem je libovolná značka, kterou vyšetřující pohybuje v horizontálním, vertikálním a šikmém meridiánu z periferie do centra ZP. V okamžiku, kdy vyšetřovaný uvidí značku, ohlásí to vyšetřujícímu. Pokud je ZP vyšetřovaného normální, shoduje se ohlášení s okamžikem, kdy spatřil značku i vyšetřující. Stejný postup zopakujeme i u druhého oka. Díky této metodě lze odhalit větší defekty v ZP. Vhodné je použít tuto metodu zejména u pacientů upoutaných na lůžku, duševně nemocných nebo malých dětí. [20, 21]

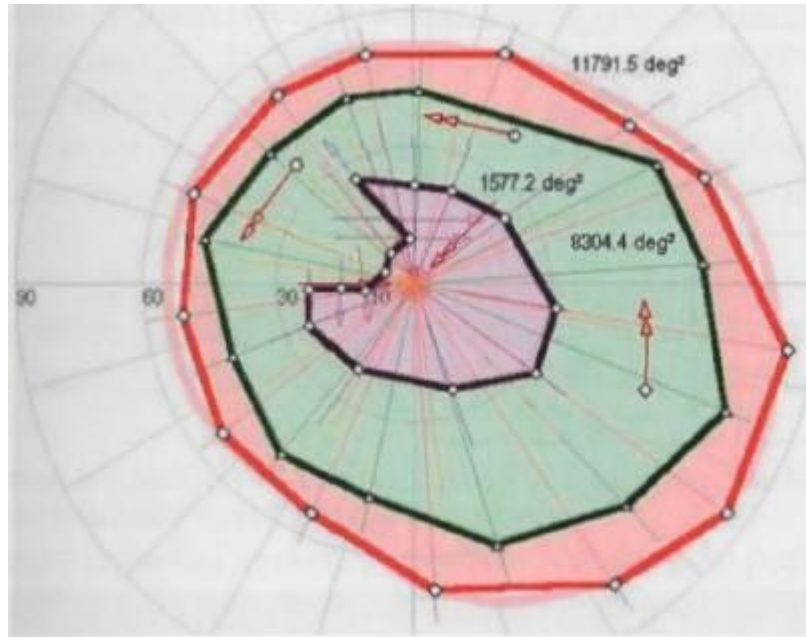
Amslerova mřížka (obr. 7) testuje ZP do 10° od bodu fixace. Standardně je Amslerova mřížka bílá na černém pozadí. Pacient s případnou korekcí do blízka pozoruje mřížku ze vzdálenosti 30 cm. Fixuje vždy monokulárně centrální bod a sleduje, zda okolní přímky nejsou nějakým způsobem deformované, zdvojené nebo zda nevidí malé centrální skotomy. [23]



Obrázek 7 – Amslerova mřížka. [24]

2.2.2 Kinetická perimetrie

Díky tomuto typu perimetrie jsme schopni stanovit rozsah ZP na dané úrovni světelné hladiny. Zástupcem je Goldmannův perimetr, který je složen z polokoule o průměru 33 cm, opěrky hlavy a světelné značky. Nevyšetřované oko musí být zakryto a oko vyšetřované musí stále fixovat centrální značku. Během vyšetření pohybuje vyšetřující stimul určité velikosti, jasu a barvy konstantní rychlostí. Průměrná úhlová rychlost stimulu by se měla být mezi 2–5 °/s. Pohyb v ZP je buďto z periferie do centra nebo naopak. Při kinetické perimetrii jsou určovány izoptery, což jsou křivky v ZP spojující body o stejné prahové citlivosti pro stimul dané velikosti, jasu a barvy (viz obr. 8). Izoptery tvoří jakousi hranici mezi oblastmi, kde pacient stimul ještě vidí a kde ho už nerozezná. Zjištění každé izoptery by mělo být minimálně provedeno na 8 místech. Každé ZP by mělo být ideálně proměřeno pro 4 stimuly odlišných velikostí a jasu. Po určení periferní hranice ZP je třeba vyšetřit centrum, ve kterém se také mohou nacházet výpadky. Pokud pacient udává v některém místě ztrátu značky, nachází se zde skotom. U pacientů s glaukomem není kinetická perimetrie doporučovaná, jelikož nezachytí drobné změny v citlivosti ZP. [7, 21, 22]



Obrázek 8 – Schéma izopter ZP u kinetické perimetrie. [9]

2.2.3 Statická perimetrie

V případě glaukomového onemocnění je tento typ perimetrie nezbytnou vyšetřovací metodou, pomáhá jak při diagnostice, tak umožňuje sledovat stabilizaci či progresi onemocnění. Při rozvoji glaukomového onemocnění se nález na perimetru v čase mění. Aby bylo možné určit dlouhodobý vývoj je potřebné toto vyšetření několikrát zopakovat. [9]

Tímto vyšetřením je určen nejen rozsah ZP, ale také práh citlivosti v každém testovaném bodě. Perimetrické programy většinou testují ZP na 60 až 80 místech. Čím větší je počet testovaných bodů, tím vyšší je diagnostická přesnost, ovšem nevýhodou je prodlužující se čas. Aktuální práh citlivosti je popsán jako minimální jas značky, který je pacient schopen v daném místě ZP rozlišit. Standardně jej vyjadřujeme pomocí poměrné citlivosti *DLS*,

$$DLS = 10 \log \frac{L_0}{L},$$

kde L_0 je referenční jas a L je snížený jasový práh. Udává se v decibelech. Porovnání získaných hodnot je možné pouze u vyšetření, která byla provedena stejným přístrojem. Mezi jednotlivými perimetry to možné není, důvodem je, že 0 dB nemá na všech typech perimetrů stejnou hodnotu. [1, 22]

Vyšetření by mělo probíhat v místnosti, která je dostatečně zatemněná. Každé oko je testováno zvlášť, proto je nevyšetřované oko zakryto klapkou. V průběhu testu pacient neustále sleduje fixační světlo uprostřed polokoule perimetru, zatímco v jeho okolí se zcela náhodně rozsvěčují světelné značky určité intenzity a velikosti. Velikost značky je většinou Goldmannův stimul III (4 mm²). V případě pokročilých výpadků ZP a špatného vízu se užívá stimul o velikosti V (64 mm²). Během vyšetření se velikost značky již nemění. Platí zde, že čím je značka jasnější, tím je snazší ji vidět. V případě, že pacient světelnou značku uvidí, udá to stiskem tlačítka. Čím se prodlužuje doba projekce značky, tím je jednodušší ji zachytit. V průběhu vyšetření přístroj provádí kontrolu, zda pacient správně fixuje, a to tak, že promítá stimuly do oblasti slepé skvrny. Tyto stimuly by správně pacient neměl registrovat. [2, 9, 11, 19]

Perimetrie je psychofyzikální měření, které je ovlivněno množstvím faktorů. Závisí na volbě typu testu, strategii testu, ale také na spolupráci pacienta, jeho fyzickém a psychickém stavu. Vysoké nároky jsou kladeny na spolupráci pacienta a jeho koncentraci. Pacient by měl přijít odpočatý na vyšetření. Dalšími faktory, které ovlivňují měření, jsou velikost zornice, průhlednost očních médií a refrakce. Zmenšení průměru zornice a zkalení optických médií vyvolává difuzní pokles senzitivity. U zornice s průměrem 1,5 mm může citlivost ZP poklesnout o 3 až 4 dB. Při standardním glaukomovém vyšetření se hodnotí oblast centrálních 30° kolem bodu fixace, jelikož zde se změny ZP objevují nejčastěji. Nutností je také korekce refrakční vady do blízka u presbyopických pacientů. Obvyklá vyšetřovací vzdálenost u perimetrů je 30 cm, což je třeba zohlednit. Korekce astigmatismu je doporučována od hodnoty cyl ± 1,0 D. [19, 22]

Dnes existují **3 typy strategií testu**, které se odlišují časovou náročností a přesností výsledků. Prahovou strategií získáme v každém testovaném bodě přesnou prahovou citlivost, avšak jedná se o vyšetření časově nejnáročnější. Práh citlivosti je určen opakovanou prezentací nadprahových a podprahových podnětů. Přístroj postupuje většinou po krocích 4-2-1 dB. Druhým typem je strategie nadprahová. Nadprahové měření je jednodušší, časově kratší a je doporučováno pro screening. Každý testovaný bod je zhodnocen buďto jako norma, relativní defekt nebo absolutní defekt. V případě glaukomu je neprahové měření nedostačující. Díky znalosti prahových hodnot lze případné pozdější změny přesně zhodnotit. Velmi využívané jsou rychlé prahové strategie, jejich výhodou je kratší doba vyšetření a dostatečná přesnost. Prahové

hodnoty citlivosti určitých testovaných bodů jsou v průběhu měření odvozovány z hodnot naměřených v jejich blízkém okolí. [2, 19, 22]

Na závěr vyšetření počítač hodnotí množství falešně pozitivních a falešně negativních údajů. Falešně pozitivní odpověď je taková, kdy pacient udává nepřítomný stimul. Při falešně negativní odpovědi pacient neudává stimul, který dříve viděl. Pokud odchylka není vyšší jak 10 % je hodnocena v normě a vyšetření je validní. [16]

Výsledky jsou vyjádřeny číselně nebo graficky ve stupních šedi. Číselná forma se využívá např. při zobrazení rozdílu mezi skutečnými a očekávanými hodnotami. Čím jsou barvy světlejší, tím je prahová citlivost vyšší. Tmavší oblasti znázorňují pokles citlivosti. Oblasti černé barvy značí absolutní výpadky ZP. Existují také různé obměny, třeba lze ve stupních šedi znázornit rozdíl mezi naměřenou a očekávanou hodnotou. Zobrazit ZP můžeme také pomocí barevné mapy. Aby nemusela být hodnocena citlivost v každém bodě zvlášť, přístroj pro celkové vyhodnocení udává tzv. indexy ZP. Jejich hodnota je průměrem vyšetřovaných bodů, což umožňuje jednoduše sledovat změny v čase. Pro každý index je i určeno normální rozpětí hodnot, což bylo stanoveno na základě proměření velkého počtu zdravých jedinců. Pro rychlé hodnocení charakteristiky a hloubky defektů se používá Bebieho křivka. Jedná se o velikost citlivosti jednotlivých defektů seřazených podle velikosti. Při vykreslení této křivky se lokalizovaný defekt projeví jejím náhlým zlomem. [2, 9, 22]

Přehled nejčastějších indexů [2, 22]:

- MD (Mean defekt) – Jedná se o index, který popisuje celkové poškození ZP. Udává průměr odchylek prahové citlivosti všech bodů po srovnání s prahovou citlivostí, která je pro daný věk v normě. Popisuje tedy průměrnou odchylku „Hill of vision“ od normálního „Hill of vision“ v daném věku. Tento index je dobrým indikátorem progresu změn v ZP.
- LV (Loss variance) – Popisuje nerovnosti na „Hill of vision“ a je časovým ukazatelem lokalizovaného poškození ZP. Při progresi nálezů se jeho hodnota zvyšuje.
- SF (Short-term fluctuation) – Krátkodobá fluktuace udává rozptýlení citlivosti v jednotlivých bodech ZP v rámci daného vyšetření. Využívá se k posouzení spolehlivosti daného ZP. Hodnota krátkodobé fluktuace se u pacientů zvyšuje s poškozením ZP.

- LF (Long-term fluctuation) – Dlouhodobá fluktuace určuje míru rozptylu citlivosti v konkrétním testovaném bodě ZP mezi dvěma vyšetřeními, která proběhla s časovým odstupem.

Modrožlutá perimetrie je jednou z variant statické perimetrie. Standardní perimetrie používá bílý stimul na bílém pozadí, při modrožluté perimetrii je stimul modrý na pozadí žlutém. Všechny další aspekty vyšetření se zcela shodují s perimetrií standardní. Výhodou je, že tímto měřením lze odhalit glaukomové defekty dříve, v porovnání s perimetrií bílou. Tato modifikace má ovšem řadu nevýhod. Výsledky jsou více ovlivněny zkalením optických médií, výraznější krátkodobou i dlouhodobou fluktuací výsledků a také únavou pacienta, jelikož vyšetření je výrazně delší. Z těchto důvodů se tato forma perimetrie v běžné praxi nepoužívá. [22, 25]

3 GLAUKOMOVÉ ZMĚNY KONTRASTNÍ CITLIVOSTI A JEJICH VYŠETŘENÍ

Všechny objekty, které nás obklopují, mají různé kontrasty. Jevy kontrastu nastanou při pozorování 2 a více ploch s rozdílnými jasy, nebo jejich odlišným zbarvením. Kontrast objektu se může vyskytovat jako současně viditelný, nebo časově po sobě následující rozdíl světelnosti. Všechny tyto kontrasty je možné fyzikálně měřit.

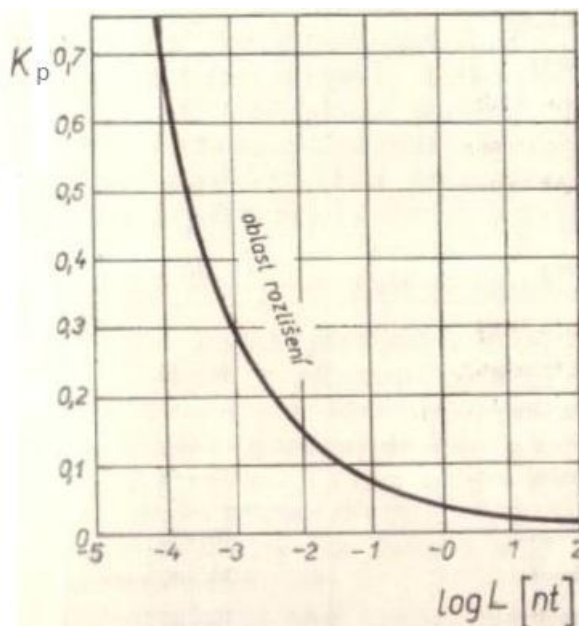
Z hlediska vidění je významným pojmem kontrast jasu. Jedná se o subjektivně viditelnou nestejnost jasu 2 částí ZP viděných zároveň nebo 2 odlišných podnětů postupně účinkujících na zrak. Kontrast jasu je vyjádřen vzorcem

$$K = \frac{L_2 - L_1}{L_1}$$

v případě tzv. Weberova kontrastu, popř. vztahem

$$K = \frac{L_{MAX} - L_{MIN}}{L_{MAX} + L_{MIN}}$$

pro Michalsonův kontrast, kde L_1 a L_2 jsou jasy pozorovaných částí ZP ($L_1 > L_2$). Schopnost rozlišování jasů je závislá na adaptačním jasu, tedy na hodnotě jasu, na který je oko v daném okamžiku přizpůsobeno. Při vyšších adaptačních jasech je možné rozlišit i malé kontrasty, zatímco u nízkého adaptačního jasu jsou viditelné pouze vysoké kontrasty (viz obr. 9). Schopnost jasy odlišit je závislá na jasu v okolí pozorovaného předmětu. Jestliže je v okolí větší jas, jehož příčinou mohou být oslňující svítící prvky, tak schopnost výrazně klesá. Minimální hodnota kontrastu jasu, při které oko rozliší dva odpovídající jasy jako různé, se nazývá kontrastní práh (K_P). Jeho převrácená hodnota je kontrastní citlivost (K_C). U zdravých očí je hodnota kontrastního prahu při denním osvětlení přibližně 0,01. V praxi se též uvádí $\log K_C$. [26, 27]

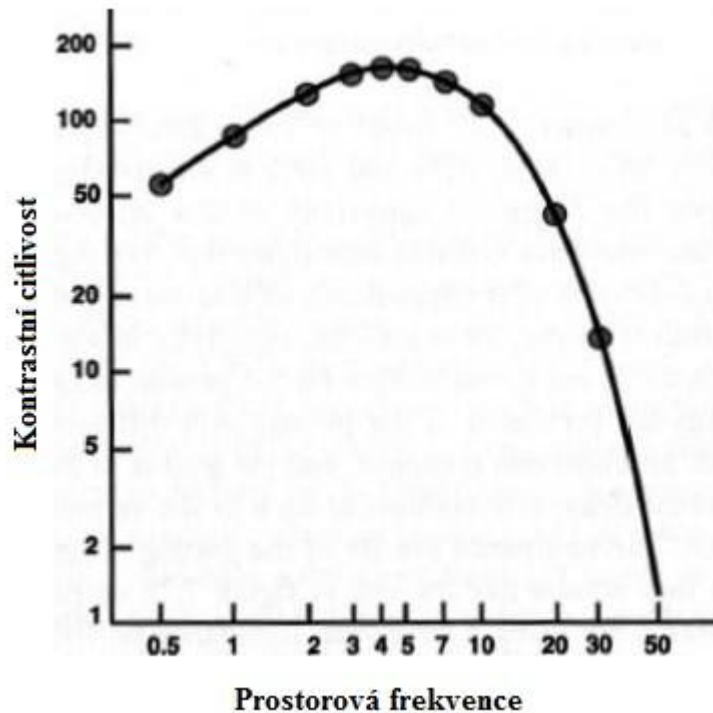


Obrázek 9 – Závislost adaptačního jasu (L) a prahového kontrastu jasů (K_p). [26]

3.1 Křivka kontrastní citlivosti

Schopnost rozpoznat jemné prostorové detaily je dána dvěma parametry – kontrastní citlivostí a prostorovou frekvencí. Prostorová frekvence je definována jako počet cyklů jasu sinusové mřížky na úhlový stupeň. Přičemž jeden cyklus je úhlová šířka jednoho tmavého a vedlejšího světlého proužku, tj. perioda mřížky. Široké pruhy tedy mají nízké prostorové frekvence a tenké proužky prostorové frekvence vysoké. KC v nižších prostorových frekvencích demonstruje, jaké je pacientovo vnímání tvarů a velkých objektů (rozlehlá scéna s pomalu proměnným jasem). Ve vyšších prostorových frekvencích je KC ukazatelem schopnosti vidět linie, okraje a jemné detaily. Vidění v oblasti nižších a středních prostorových frekvencí zajišťují magnoceulární gangliové buňky. Parvoceulární gangliové buňky odpovídají oblasti vysokých prostorových frekvencí. [9, 12, 28]

Křivka KC představuje závislost kontrastní citlivosti na prostorové frekvenci. Nejvyšší citlivosti lidské oko dosahuje mezi 3–6 $c/^\circ$. Tvar křivky KC je zvonovitý, v nižších a vyšších prostorových frekvencích citlivost klesá. [12]



Obrázek 10 – Křivka KC. [24]

Hodnoty *KC* jsou u dětí výrazně sniženy ve všech prostorových frekvencích. *KC* dosahuje maxima mezi 18. až 28. rokem života, poté opět klesá. S věkem se křivka *KC* fyziologicky mění ve všech prostorových frekvencích. Změny jsou významné zejména ve středních a vyšších prostorových frekvencích. K největšímu fyziologickému poklesu dochází ve vyšším věku. [12]

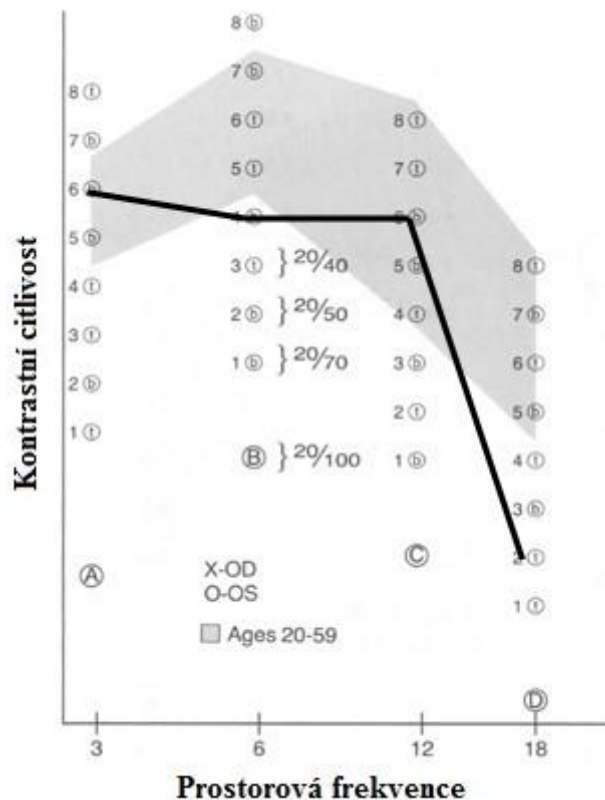
3.2 Klinický význam *KC* u glaukomu

Vyšetřením *KC* lze také detekovat minimální změny zrakového vnímání vyvolané nejrůznějšími chorobami zrakového systému. U zdravých jedinců zraková ostrost koreluje s citlivostí na kontrast, v případě patologických stavů ale dochází k jejímu snížení. Mnohdy nastává pokles *KC* již v preklinických stádiích onemocnění. [1, 25, 29]

Snížení *KC* může být způsobeno širokou škálou příčin. Obecně je můžeme rozdělit na optické a ty, které jsou vyvolané postižením sítnice či zrakového nervu. Mezi příčiny optické spadají refrakční vady, keratokonus, katarakta a refrakční chirurgie. Mírné refrakční vady způsobují pokles *KC* ve vyšších prostorových frekvencích. Naopak vady vyšší postihují nižší a střední prostorové frekvence. Mezi postižení sítnice, které způsobuje změny *KC*, spadá věkem podmíněná makulární

degenerace, cystoidní makulární edém, diabetická retinopatie a také serózní chorioretinopatie. Zrakový nerv je nejčastěji postižen neuritidou, glaukomem, toxickými látkami, neurologickými či metabolickými chorobami. [25, 29]

Při glaukomové neuropatii optiku dochází ke snížení *KC* ve všech prostorových frekvencích, především ale ve středních prostorových frekvencích mezi 6–12 c/°. V mnoha případech i předchází výpadkům v ZP, rozšíření exkavace terče zrakového nervu či snížení zrakové ostrosti. Příčinou progresu glaukomových změn *KC* nadále klesá. Měření *KC* se zde uplatňuje především pro zhodnocení efektivity léčby u pacientů s počínajícími morfologickými změnami bez prokazatelného deficitu v ZP. Z důvodu snížení *KC* mají pacienti s glaukomem často problémy se čtením při slabém osvětlení. [2, 25, 29, 30, 31, 32]



Obrázek 11 – Křivka *KC* u glaukomu, upraveno z [33].

3.3 Měření kontrastní citlivosti

Běžně je na optotypech testována vysokokontrastní zraková ostrost, která podává informaci o schopnosti pacienta rozlišit objekty o vysokém kontrastu. Měření *KC* nám ovšem umožňuje získat mnohem lepší představu o zrakových funkcích.

Poskytuje informace o vidění za suboptimálních světelných podmínek, které jsou součástí každodenního života. Mnozí pacienti si stěžují, že špatně vidí i s vízem 1,0 a jejich stesky mohou být oprávněné. [1, 25, 29]

Kontrastní citlivost můžeme určit 3 základními způsoby, které fungují na různých principech. Existují testy písmenové, testy využívající sinusovou mřížku a testy, kde pacient rozlišuje dělicí linie. Nejširší škála testů měří *KC* metodou sinusových pruhů. Pointa je ovšem pro všechny testy stejná, pacient se snaží správně rozpoznat znak s nejnižším kontrastem. V průběhu vyšetření se postupuje od snadno čitelných znaků, tedy těch s nejvyšším kontrastem až po ty nejsvětlejší. [25, 34]

Měření *KC* u testů se sinusovými pruhy je přesnější a citlivější než písmenové tabule *KC*. Kontrast těchto zkušebních tabulí je definován pomocí Michelsonova kontrastu, který je založen na nejvyšším a nejnižším jasu. Další výhodou oproti písmenovým tabulím je vyšetření *KC* v několika prostorových frekvencích. Jasový profil podnětových kruhových terčů má sinusový průběh. V každém řádku zleva doprava postupně klesá kontrast podnětu. Princip vyšetřování *KC* pomocí testu CSV-1000 je podrobněji rozepsán v metodice experimentální části (kap. 5.2). [9, 12, 25]



Obrázek 12 – Test kontrastní citlivosti CSV-1000.

Písmenové testy na měření *KC* jsou založeny na Weberově kontrastu. Zkušební tabule mají stejnou konstrukci jako tabule sloužící k určení zrakové ostrosti. Testování zahrnuje jen vysoké prostorové frekvence, díky čemuž je vyšetření rychlejší. Principem je určení kontrastu potřebného k rozlišení písmen různých velikosti. Standardně se měří *KC* na Snellenových optotypech, pro děti ale existují také tabule s E-háky. Některé modifikované testy umožňují pomocí této metody vyšetřit *KC* i do blízka. [25, 34]

Měření *KC* metodou rozlišování dělicích linií slouží k vyšetření *KC* do blízka. Podnětem je několik kruhů rozdělených na poloviny, jedna z nich je prosvětlena světlem s postupně se snižující intenzitou. Úkolem pacienta je určit v jaké ose se nachází dělicí linie (0° , 45° , 90° a 135°). [25]

Nejmodernější je vyšetřování *KC* pomocí počítačových programů s užitím kvalitního standardizovaného monitoru. Na obrazovce se postupně objevují tmavé a světlé pruhy rozdílných kontrastů a prostorových frekvencí. Odpovědi pacienta jsou na závěr automaticky vyhodnoceny. [3]

4 GLAUKOMOVÉ ZMĚNY BARVOCITU A JEJICH VYŠETŘENÍ

Z fyzikálního hlediska je barva popsána jako vlastnost světla vstupujícího do oka ze světelného zdroje, nebo od odraženého předmětu. Složení spektra určuje pouze objektivní podráždění sítnice, subjektivní vjem vzniká v mozku. Tento vjem nezávisí jen na samotné barvě, proto lze vnímat 2 stejné barvy jako různé. Vliv hraje osvětlení, stav zrakového orgánu a také psychický stav pozorovatele.

Přibližně je barva určena tónem, sytostí a jejím jasnem, což komplexně označujeme jako odstín. Barevný tón je určen vlnovou délkou záření, sytost obsahem bílé barvy a jas výkonem světelného zdroje. Pro přesné určení barvy se nejčastěji používá trichromatický systém CIE. Podstatou je, že každou barvu můžeme získat kombinací 3 základních barev. V praktických aplikacích se jedná o modrou, zelenou a červenou barvu, v systému CIE jsou to virtuální barvy x, y, z. Barva je tedy třírozměrným pojmem. Základní barvy jsou syté, ty neobsahují bílou složku. Barvy s obsahem bílé jsou nesyte. Jako barvy doplňkové označujeme ty, jejichž namísením získáme vjem bílého světla. [27, 35]

4.1 Vnímání barev

Barevné vidění je složitým psychologickým procesem, jehož předpokladem je správná činnost oka, zrakové dráhy a center v mozku. Barvocit je schopnost správně vnímat barvy. Člověk dokáže rozeznat barvy díky čípkům v sítnici. Funkce čípků do jisté míry závisí na přiměřeném osvětlení, při překročení prahové hodnoty již čípky nejsou schopny barvy rozeznat. Toto vidění označujeme jako skotopické a je zprostředkováno pomocí tyčinek. Osvětlení, kdy fungují jak čípky, tak tyčinky se nazývá vidění mezopické. Nejlépe lze vnímat barvy prostřednictvím žluté skvrny, směrem do periferie se schopnost rozlišení barev snižuje. Fyziologicky člověk dokáže vidět až 150 barev a odlišit více než 2000 odstínů. [20, 21]

Existují 3 hlavní teorie barevného vidění. Trichromatická Helmholtzova teorie říká, že v sítnici jsou 3 samostatné druhy receptorů, kde každý receptor detekuje celé spektrum, ale s různou citlivostí. Maxima jsou ve 3 základních barvách – červená, zelená a modrá. Při podráždění receptoru jednoho druhu vnímáme pouze jednu

ze základních barev. Podráždění 2 nebo 3 druhů receptorů vyvolá vjem bílé až šedé barvy, což tato teorie nedokáže plně vysvětlit. V případě, že sítnice není podrážděna žádným světelným podnětem, vytvoří se vjem černé barvy. Druhou teorií je Heringova teorie protibarev, kterou lze aplikovat na receptivní pole vnímání barev. Jedna barva receptivní pole aktivuje a druhá barva ho tlumí. Jedná se o barvy doplňkové, což znamená, že pokud působí současně, tak mozek nezaznamená žádnou reakci. Poslední teorií je teorie zón, která říká, že obě předchozí teorie platí, avšak každá v jiné části zrakové dráhy. Trichromatická Helmholtzova teorie platí na úrovni čípků a Heringova teorie na úrovni receptivních polí. [24]

4.2 Poruchy barevného vidění

Pro člověka v dnešní společnosti rostou nároky na přesné rozlišení barev. Význam barvocitu je jak funkční, estetický tak psychologický. S rozvojem moderních technologií jeho důležitost stále stoupá. S poruchou barvocitu se pacient může buďto narodit, nebo jej může získat v průběhu života. Vrozené poruchy postihují obě oči, zatímco poruchy získané jsou nejčastěji monokulární. Barvoslepost je porucha, kdy pacient nerozezná žádné nebo pouze některé barvy. [12, 34, 36]

Barvocit je ovlivněn zkalením optických médií (nejčastěji kataraktou). Léze zrakové dráhy způsobují poruchy barvocitu, kde nejčastější příčinou je postižení očního nervu a chiazmatu. V mnohých případech barevné vidění koreluje s centrální zrakovou ostroší. Existují ovšem i výjimky, např. pacienti s nystagmem a amblyopií mají navzdory špatnému vízu dobré barevné vidění. [36]

Monochromat má vidění černobílé s různými hodnotami jasů nebo vidí v odstínech jedné barvy. Dichromatický pacient rozpozná 2 základní barvy a jejich směsi. Chybí-li počitek pro červenou barvu, označujeme vadu jako protanopii, pro zelenou barvu je to deuteranopie a v případě modré barvy tritanopie. Anomální trichromat má sice všechny 3 druhy fotoreceptorů, avšak 1 je anomální. Výrazně častější, než úplný výpadek barvy je snížení vnímavosti barvy. Vrozené poruchy červeno-zelené barvy postihují častěji muže. Naproti tomu výskyt tritanopie je stejný u mužů i žen. [12, 21, 37]

U pacientů trpících glaukomem se vyskytují získané defekty barevného vidění. V některých případech i předcházejí defektům v ZP. Také je známo, že s difúzní ztrátou

ZP se obvykle projeví změny barvocitu. V posledních letech studie poukazují na poruchy především modré, modro-žluté a modro-zelené oblasti. [1, 2, 9, 38, 39]

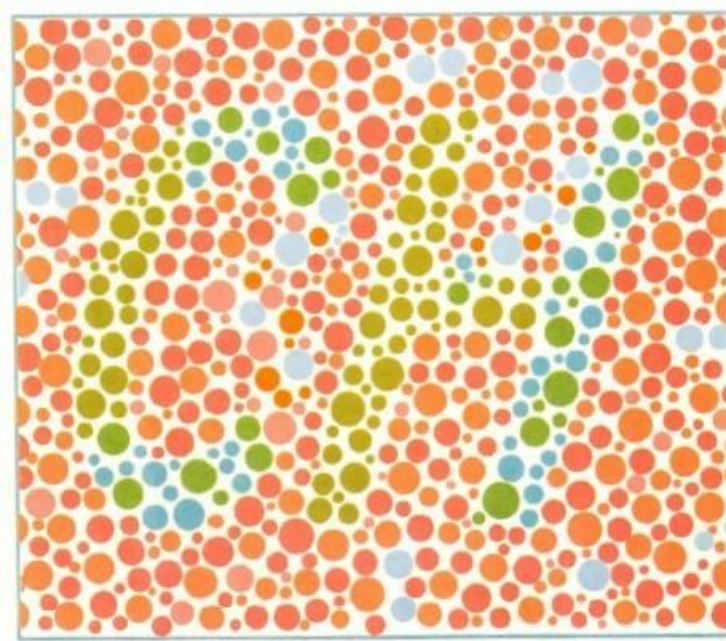
4.3 Vyšetření barvocitu

Testy umožňují odlišit vrozenou a získanou poruchu a také určit druh a míru poškození barvocitu. Podle způsobu provedení se testy dělí do několika kategorií – rozlišovací, seřazovací, míchací a pojmenovávací. Mezi nepoužívanější testy na vyšetření barvocitu patří Nagelův anomaloskop, Hue-testy a pseudoizochromatické tabulky. [37]

Nejběžnějším zástupcem míchacích testů je Nagelův anomaloskop. Jedná se o jakýsi zlatý standard pro rozlišování poruch červené a zelené barvy. Je to přístroj založený na Rayleighově vztahu, který říká, že kombinací červené a zelené lze získat barvu žlutou. Pacient porovnává 2 poloviny ZP, v jedné polovině vidí barvu žlutou a v druhé měnitelnou směs barvy červené a zelené. Jeho úkolem je namíchat směs tak, aby byly barvy v obou polích stejné. Pacient s protanomálií předávákuje červenou, v případě deuteranomálií přimíchá více zelené barvy.

Do kategorie rozlišovacích testů patří Hue-testy. Jsou složeny z barevných terčů a úkolem pacienta je jejich sestavení do správného pořadí, aby rozdíl odstínů sousedních terčů byl co nejmenší. Zástupcem je Farnsworthův-Munsellův 100-hue test, který obsahuje 85 barevných terčů, pomocí nich pacient sestavuje celé barevné spektrum. Barvy testu mají stejný jas a sytost, ale odstín je odlišný. Pořadí je následně zaneseno do schématu, což určí chybové skóre. Zkrácenou verzí tohoto testu je Farnsworthův-Munsellův D 15 test. Tento typ testu je především vhodný pro diagnostiku získaných poruch barvocitu. [11, 12, 21, 37]

Pseudoizochromatické tabulky patří mezi rozlišovací testy, které jsou složeny z bodů odlišných barev a jasů (viz obr. 13). Nejrozšířenějším z těchto testů je Ishihara test. Barevné body tvoří číslice, písmena či geometrické tvary. Při poruše barvocitu pacient není schopen úspěšně identifikovat znaky. Obtíže zpravidla nebývají jen s určitými, jasně definovanými tabulkami, ale se čtením více tabulek. Tento typ testu je použit v experimentální části práce. [21, 40]



Obrázek 13 – Pseudoizochromatické tabulky. [40]

V posledních letech se dostává do popředí vyšetření barvocitu pomocí LCD tabulí. Tyto testy umožňují nejen určit kvalitní skóre, ale také výsledky porovnat se statistickými normami. Setkat se můžeme i s testy, které se specializují na vyšetření barvocitu pracovníků v průmyslu, dopravě atd. [37]

5 EXPERIMENTÁLNÍ SLEDOVÁNÍ VLIVU GLAUKOMU NA HODNOTY KONTRASTNÍ CITLIVOSTI, BAREVNÉHO VIDĚNÍ A STEREOPSE

Cílem experimentální části bylo porovnat hodnoty kontrastní citlivosti, barevného vidění a stereopse u vzorku pacientů s primárním glaukomem s otevřeným úhlem se vzorkem pacientů spadajících do stejné věkové skupiny, ale bez jakéhokoli očního onemocnění. Snahou bylo ověřit změny sledovaných parametrů, které jsou udávány v dostupné literatuře a studiích, popř. doplnit stávající znalosti. Sledována byla také opakovatelnost měření kontrastní citlivosti u obou skupin. Všichni probandi zapojení do výzkumu splňovali předem daná kritéria popsaná v další kapitole.

Literatura a stávající studie [2, 25, 29, 30, 31, 32] udávají, že pacienti s glaukomem mají sníženou kontrastní citlivost (viz kapitola 3.2). U glaukomu již v počátečním stadiu křivka KC leží pod populační normou, přičemž progresse se projevuje asymetrií křivek KC mezi pravým a levým okem. Předpokladem také je, že pokles kontrastu v odlišných prostorových frekvencích souvisí se stádiem glaukomu. Při podezření na glaukom jsou změny ve vyšších prostorových frekvencích, zatímco pro progresi glaukomu jsou typické odchylky ve středních prostorových frekvencích.

Experiment má také za cíl ukázat, zda u glaukomatiků můžeme sledovat změny barvocitu. Předpokládá se, že odchylky jsou převážně v modré, modro-zelené a modro-žluté oblasti [38, 39]. Dalším cílem tedy je vyhodnotit, v které oblasti chybují glaukomatici nejčastěji.

Obvykle je patrné výrazné snížení stereopse u pacientů s glaukomem v porovnání s pacienty téhož věku [17, 18]. Dále je proto sledována stereopse do blízka, přičemž očekáváme, že snížení stereopse závisí na pokročilosti glaukomových změn.

5.1 Testování pacientů

Výzkumu se zúčastnilo celkem 38 pacientů. Jednalo se o pacienty oční ambulance H + H s.r.o. v Holešově, kteří byli vyšetřeni v rámci obvyklé kontroly. Věk byl limitován rozsahem 40 až 60 let, jelikož glaukom postihuje především starší populaci. Dalším kritériem byl vízus s korekcí minimálně 0,8 do dálky i do blízka. Refrakční vady nepředstavovaly omezení. Nutností byla také dobrá průhlednost

očních médií (rohovka, čočka, sklivec), zejména absence katarakty. Soubor pacientů byl složen ze dvou odlišných skupin z důvodu porovnání naměřených hodnot:

1. Pacienti s diagnostikovaným glaukomem s otevřeným úhlem (experimentální skupina)

V této skupině bylo 18 pacientů (9 mužů a 9 žen), kteří měli nález na terči zrakového nervu a v pokročilých stádiích u nich byly patrné změny v zorném poli. Nitrooční tlak byl díky medikamentózní terapii v normě. Duhovko-rohovkový úhel byl normálně široký. Žádné další oční patologie se u pacientů nevyskytovaly. Jejich průměrný věk byl 55 let. Průměrná refrakční vada byla -0,25 D a průměrná hodnota adice +1,75 D.

2. Pacienti bez jakýchkoli očních chorob (kontrolní skupina)

Tato skupina byla složena z 20 pacientů (10 mužů a 10 žen), jejichž průměrný věk byl 50 let. Průměrná refrakční vada měla hodnotu také -0,25 D. Adice vykazovala průměrnou hodnotu +1,25 D.

5.2 Metodika měření

Měření vždy začínalo poučením pacienta o průběhu následujících měření. Všem účastníkům byl nejprve zkontrolován vízus s korekcí do dálky, jak monokulárně, tak binokulárně. Na čtecím testu byla ověřena zraková ostrost do blízka s příslušnou adicí. V případě potřeby byla provedena dokorekce. Všechna následující měření byla prováděna podle potřeby s (dokorigovanou) korekcí do dálky, nebo do blízka.

K testování byly použity tyto testy a pomůcky: zkušební obruba, sada zkušebních čoček, Snellův optotyp (modifikace s bezpatkovým písmem), Jägerovy tabulky, test kontrastní citlivosti CSV-1000 Contrast Sensitivity, pseudoizochromatické tabulky, RandomDotStereoacuity Test a automatický perimetr Medmont M700. Vyšetřovací vzdálenost vízu byla do dálky 6 m. Test na kontrastní citlivost byl umístěn do vzdálenosti 2,5 m. Při vyšetření barevného vidění byly tabulky drženy ve vzdálenosti 70 cm. Na 40 cm byl testován vízus do blízka a stereopse.

Z důvodu zajištění stejných a stabilních světelných podmínek, byla vyšetřovna po celou dobu zatemněna a fotopické podmínky byly navozeny umělým osvětlením.

Vyšetření kontrastní citlivosti

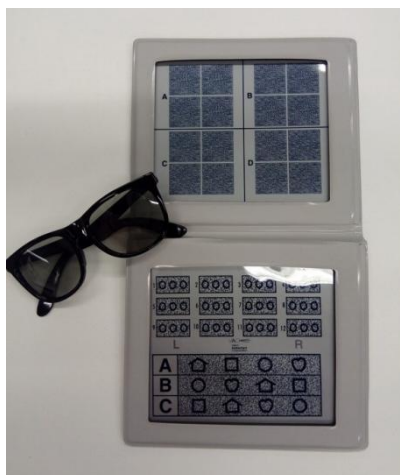
Vyšetření pomocí testů využívajících sinusovou mřížku CSV-1000, kde zkušební tabule jsou zasazeny do světelného boxu, což zajišťuje rovnoměrné standardní osvětlení (85 cd/m^2). V každém řádku je umístěno 8 podnětových terčů. KC je testována ve 4 prostorových frekvencích (3, 6, 12, 18 c°), jejichž jasový profil má sinusový průběh. Kontrast podnětu v každém řádku klesá zleva doprava. Pacientovým úkolem bylo určit výskyt svislých proužků v horní nebo dolní řadě při dané prostorové frekvenci. Pořadové číslo posledního terče, který byl pacientem ještě správně rozlišen, bylo zaznamenáno. [33]

Vyšetření barevného vidění

Pro vyšetření barvocitu byly použity pseudoizochromatické tabulky. Tabulky byly drženy kolmo v úrovni jeho očí ve vzdálenosti 70 cm. Znaky na každé tabulce by měl pacient rozpoznat během 15 s. Při vyšetření pacient používal brýlovou korekci do dálky. Po vyšetření byly zaznamenány čísla tabulek, které nebyly správně rozpoznány. Pseudoizochromatické tabulky uvádí, že pacienti s protanopií chybují u tabulek 6, 7 a 8. V případě deuteranopie mají problém u tabulek 9, 10, 13 a při tritanopii selhávají u tabulek 2, 14 a 15. Vždy správně, a to i u osob s poruchou barvocitu, by měly být čteny tabulky 1, 20 a 21. [40]

Vyšetření stereopse do blízka

Stereopse byla vyšetřena do blízka (40 cm) pomocí RandomDotStereoacuity testu. Měření probíhalo s adicí. Tyto testy jsou složeny z bodů, které pacient při monokulárním vidění vnímá chaoticky. Použitím polarizovaných filtrů dochází k stereoskopickému vidění, kdy pacient vidí obrazce. Normální hodnoty tohoto testu jsou minimálně 60". Na základě toto testu byla u každého pacienta stanovena nejnižší hodnota stereopse. [1, 16, 17]



Obrázek 14 – RandomDotStereoacuity Test.

Perimetrické vyšetření

Vyšetření ZP bylo provedeno automatickým perimetrem Medmont M700. Jednalo se o doplňkové vyšetření, které bylo prováděno jen u experimentální skupiny pro vyhodnocení míry glaukomového postižení. Před samotným vyšetřením byli pacienti správně usazeni, důraz byl kladen především na optimální pozici hlavy, a byli poučeni o správnosti provedení testu. Jejich úkolem bylo sledovat zaměřovací terče a stisknout tlačítko, jakmile v okolí terče zahlédnou světelný bod. Oko, které nebylo právě testováno, bylo překryto klapkou. V případě, že pacient potřebuje korekční čočku, byla mu tato čočka umístěna před vyšetřované oko. U všech pacientů byl proveden glaukomový test, kde středové pole má rozsah 30°. Použitým parametrem pro zhodnocení testu byl MD (Mean defekt), což je index popisující celkové poškození ZP (viz podkapitola 2.2.3).

Všechny hodnoty měřených veličin byly zapisovány do protokolů, které byly následně vyhodnocovány.

Statistické zpracování dat

Pro naměřená kvantitativní data byly stanoveny průměrné hodnoty a směrodatné odchylky, popř. standardní chyby průměrné hodnoty (směrodatná odchylka podělená odmocninou z rozsahu souboru) v programu MS Excel. Rozdíly mezi sledovanými daty v experimentální a kontrolní skupině byly hodnoceny metodou ANOVA pro opakovaná měření na hladině významnosti 5 % v programu STATISTICA 12. V textu jsou též uvedeny mezní hodnoty hladiny významnosti p , při kterých by byla rovnost dat právě

zamítnuta. Závislost *KC* na věku a středním defektu zorného pole byla vyhodnocena pomocí Pearsonova korelačního koeficientu *r* (statistická významnost koeficientu byla opět hodnocena na hladině významnosti 5 %).

Opakovatelnost měření *KC* byla hodnocena metodou Blend-Altmanovy (B-A) analýzy, přičemž rozdíl mezi prvním a druhým měřením byl statisticky hodnocen pomocí párového t-testu na hladině významnosti 5 %. V rámci B-A analýzy byly rozdíly mezi prvním a druhým měřením sledovány v závislosti na průměru z obou měření a spolu s 95% konfidenčním intervalem rozdílových dat reprezentovány ve formě grafů. Opakovatelnost byla číselně charakterizována pomocí koeficientu opakovatelnosti CoR, definovaném jako pološířka 95% konfidenčního intervalu rozdílových dat, tj. $CoR = 1,96 \times SD$, kde SD je směrodatná odchylka rozdílů. Případná korelace rozdílů na průměru hodnot z obou měření byla hodnocena Pearsonovým korelačním koeficientem *r* na hladině významnosti 5 %.

5.3 Výsledky

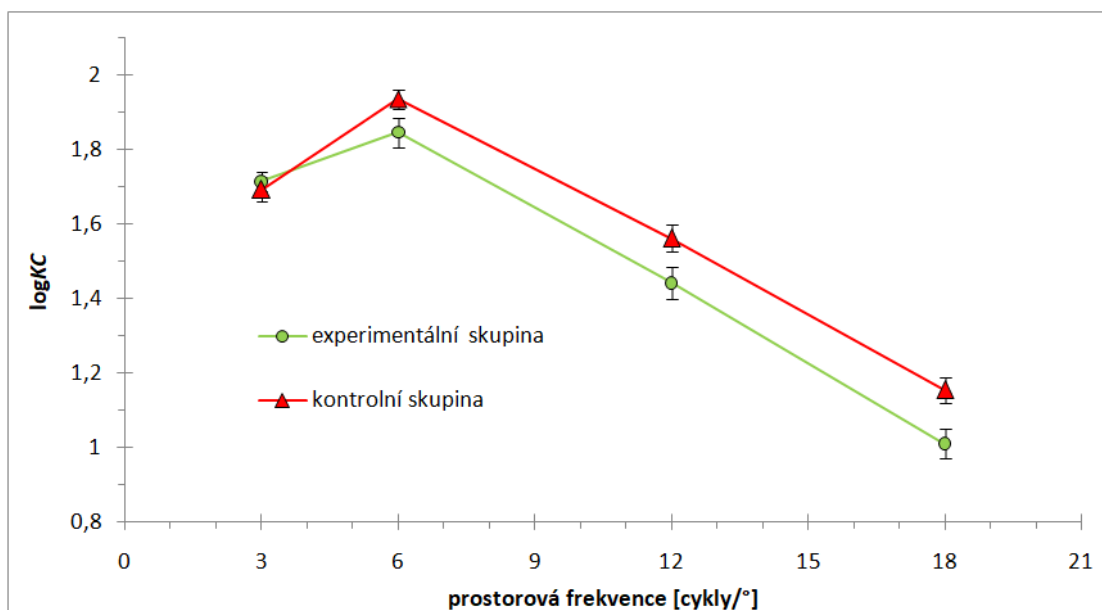
5.3.1 Kontrastní citlivost

Výsledné průměrné hodnoty *KC* pro jednotlivé prostorové frekvence, příslušné směrodatné odchylky (SD) a standardní chyby (SE) z prvního a druhého měření pro experimentální i kontrolní skupinu jsou uvedeny v tab.1.

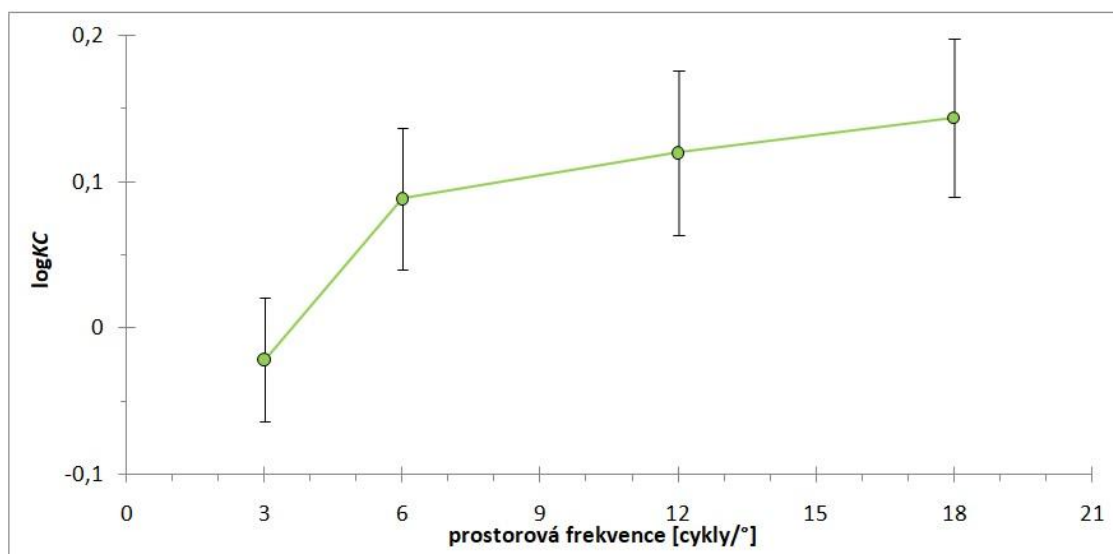
		1. měření				2. měření			
		3 c/°	6 c/°	12 c/°	18 c/°	3 c/°	6 c/°	12 c/°	18 c/°
experimentální sk.	průměr	1,71	1,85	1,44	1,01	1,73	1,88	1,51	1,01
	SD	0,16	0,24	0,26	0,24	0,14	0,19	0,23	0,24
	SE	0,03	0,04	0,04	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04
kontrolní sk.	průměr	1,69	1,93	1,56	1,15	1,71	1,97	1,56	1,12
	SD	0,21	0,17	0,23	0,23	0,15	0,14	0,23	0,19
	SE	0,03	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02	0,04	0,03

Tabulka 1

Pro analýzu vlivu glaukomu na *KC* byly použity pouze hodnoty z prvního měření. Průběh příslušných křivek *KC* pro experimentální i kontrolní skupinu znázorňují grafy na obr. 15. Z tohoto obr. lze vidět, že *KC* ve vyšších prostorových frekvencích u experimentální skupiny klesá. Pro obě skupiny bylo dosaženo stejné hodnoty *KC* pro prostorovou frekvenci 3 c/°. Obě skupiny nabývají maximální hodnoty *KC* v 6 c/°. Rozdílové hodnoty jsou pro lepší přehled vyneseny na obr. 16.

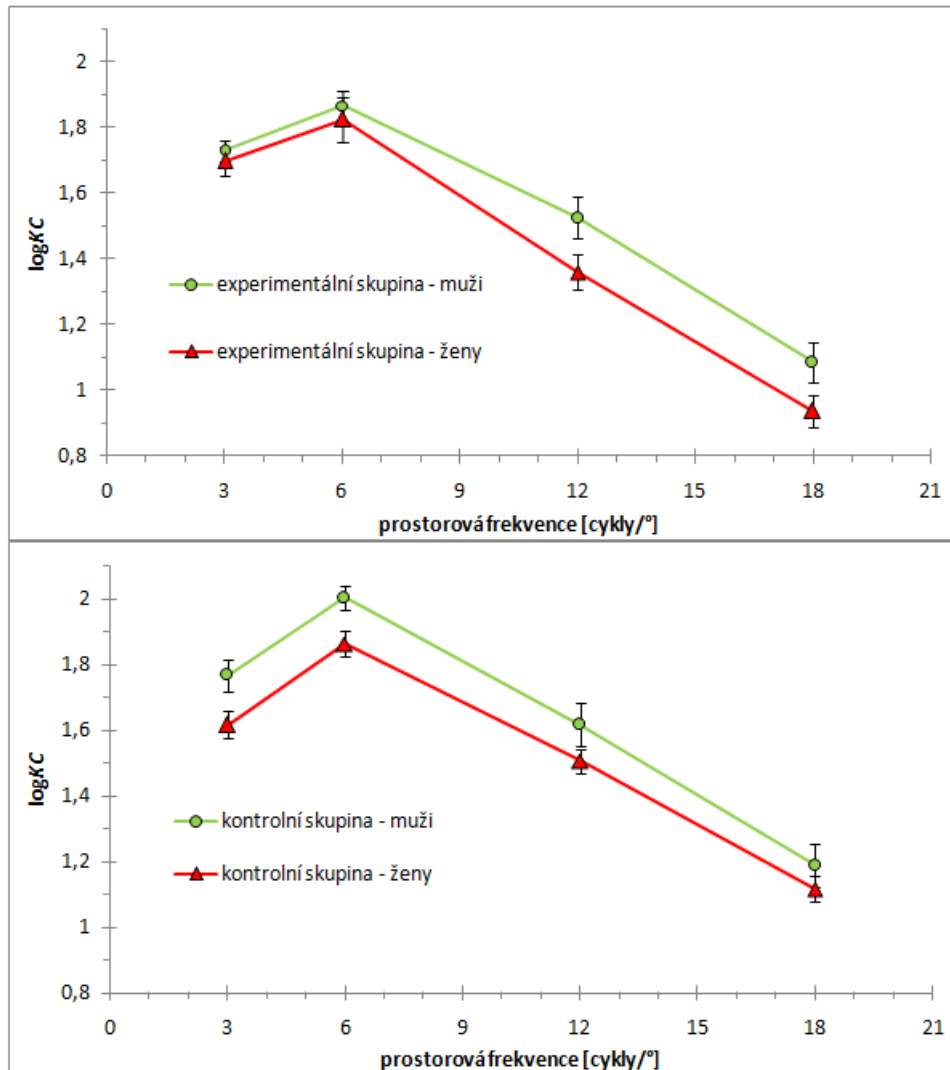


Obrázek 15 – Závislost průměrné zrakové ostrosti v $\log KC$ (kolečka, trojúhelníky) na prostorové frekvenci pro kontrolní a experimentální skupinu. Velikost svislých úseček reprezentuje dvojnásobek standardní chyby průměru.



Obrázek 16 – Průměrné rozdíly $\log KC$ (kolečka) získané odečtem hodnot experimentální skupiny od hodnot kontrolní skupiny. Standardní chyba rozdílu, jejíž dvojnásobek reprezentují délky svislých úseček, byla stanovena z chyb jednotlivých průměrných hodnot na základě známého zákona o šíření nejistot.

Navíc byly obě skupiny rozděleny podle pohlaví. Výsledky samostatně vynesené pro muže a ženy zachycuje obr. 17. U mužů je KC pro každou prostorovou frekvenci mírně vyšší než u žen, a to v obou skupinách.



Obrázek 17 – Závislost průměrné zrakové ostrosti v logKC na prostorové frekvenci pro muže a ženy zvláště v kontrolní a experimentální skupině.

Uvedené výsledky korespondují se statistickou analýzou metodou ANOVA pro opakovaná měření, kterou byl sledován rozdíl mezi oběma skupinami současně s vlivem prostorové frekvence a pohlaví. Rozdíl mezi oběma skupinami byl vyhodnocen jako statisticky významný ($p = 0,020$). Podle očekávání byl zjištěn vliv prostorové frekvence ($p < 0,0001$). Dále byl zjištěn významný vliv pohlaví ($p = 0,0028$). Přitom průběh křivek v jednotlivých skupinách se významně lišil (signifikantní interakce mezi frekvencí a skupinou, $p = 0,020$). Ostatní faktory působily nezávisle na sobě (nevýznamné interakce mezi skupinou a pohlavím, $p = 0,77$, frekvencí a pohlavím, $p = 0,82$, a frekvencí, skupinou a pohlavím, $p = 0,19$).

Dále byla zjišťována korelace mezi věkem a *KC* pro jednotlivé prostorové frekvence u obou skupin. Zjištěné hodnoty korelačních koeficientů jsou uvedeny v tab. 2. Pro experimentální skupinu je *r* signifikantně odlišný od nuly pro hodnoty větší než 0,329, pro kontrolní skupinu od 0,312. Významná korelace byla zjištěna pouze u experimentální skupiny při prostorových frekvencích 12 c/° a 8 c/°, přičemž hodnota kontrastní citlivosti rostla s věkem.

		3 c/°	6 c/°	12 c/°	18 c/°
experimentální sk.	<i>r</i>	-0,106	0,238	0,504	0,426
kontrolní sk.	<i>r</i>	0,022	-0,134	-0,162	-0,202

Tabulka 2 – Korelační koeficient věku a *KC*.

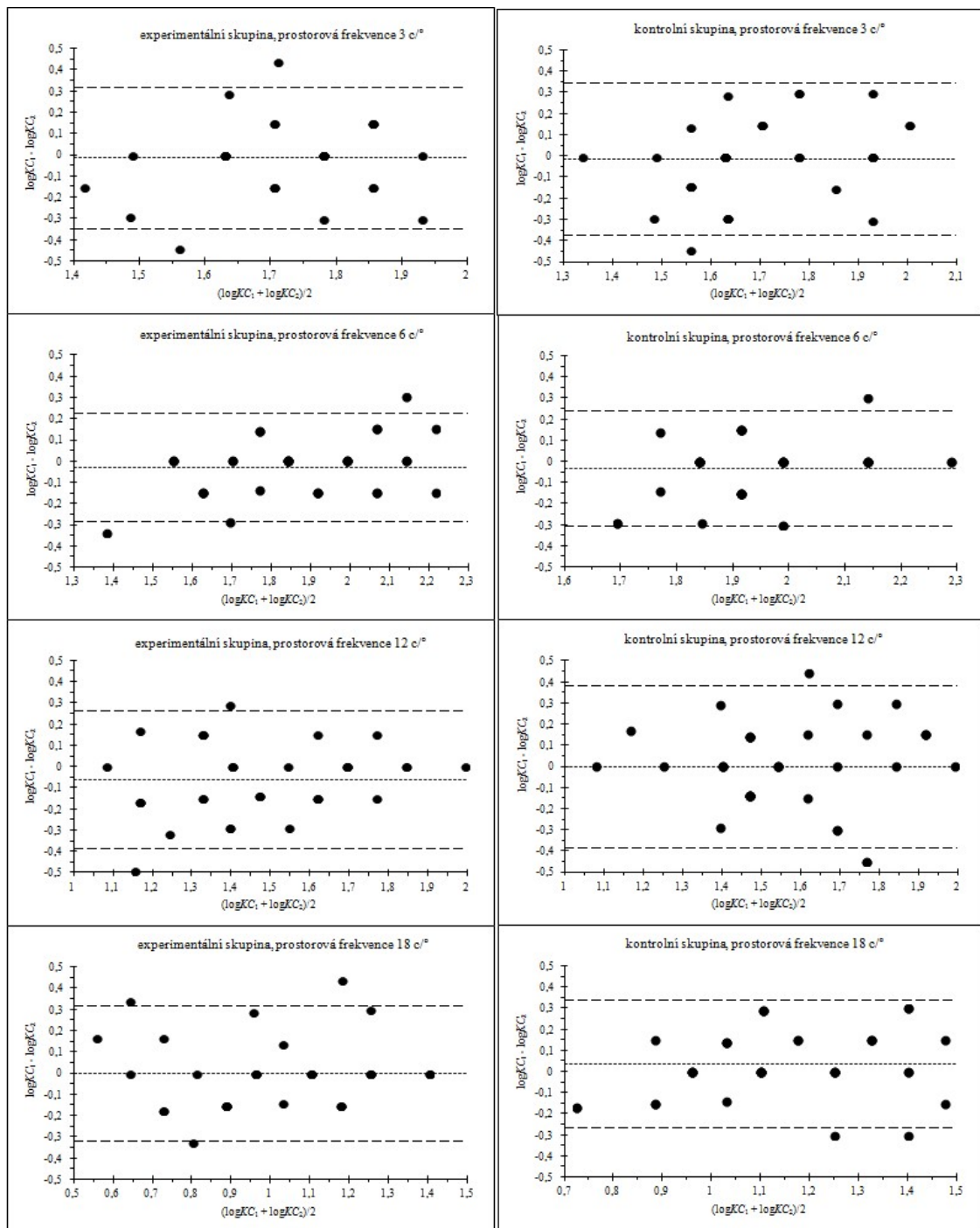
U experimentální skupiny byl dále zjišťován vztah mezi *KC* a velikostí středního defektu zorného pole. Průměrná hodnota středního defektu byla 3,0 dB se směrodatnou odchylkou 1,9 dB. Korelační koeficient se pro všechny prostorové frekvence pohyboval v nesignifikantních mezích od -0,17 do +0,20.

Opakovatelnost měření kontrastní citlivosti

Průměrné hodnoty rozdílu *KC* mezi prvním a druhým měřením, příslušné směrodatné odchylky (SD) a odpovídající koeficienty opakovatelnosti (CoR) jsou uvedeny v tab. 3. Hodnoty z prvního a druhého měření se významně neliší (t-test, vždy $p > 0,14$) mimo měření při 12 c/° u experimentální skupiny ($p = 0,026$). Zjištěný rozdíl však není klinicky významný. Graficky jsou výsledky prezentovány na obr. 18.

		3 c/°	6 c/°	12 c/°	18 c/°
experimentální sk.	průměr	-0,02	-0,03	-0,06	0,00
	SD	0,17	0,13	0,17	0,16
	CoR	0,33	0,25	0,32	0,32
kontrolní sk.	průměr	-0,02	-0,03	0,00	0,04
	SD	0,18	0,14	0,20	0,15
	CoR	0,36	0,27	0,39	0,30

Tabulka 3 – Souhrn výsledků Blend-Altmanovy analýzy.



Obrázek 18 – Bland-Altmanův graf pro opakovatelnost měření kontrastní citlivosti. Kolečka reprezentují rozdíly v logKC mezi prvním (logKC1) a druhým (logKC2) měřením vynesené v závislosti na průměru obou měření jednotlivých pacientů. Tečkovaná čára představuje průměrný rozdíl všech probandů, čárkované čáry jsou hranice 95% konfidenčního intervalu rozdílových hodnot.

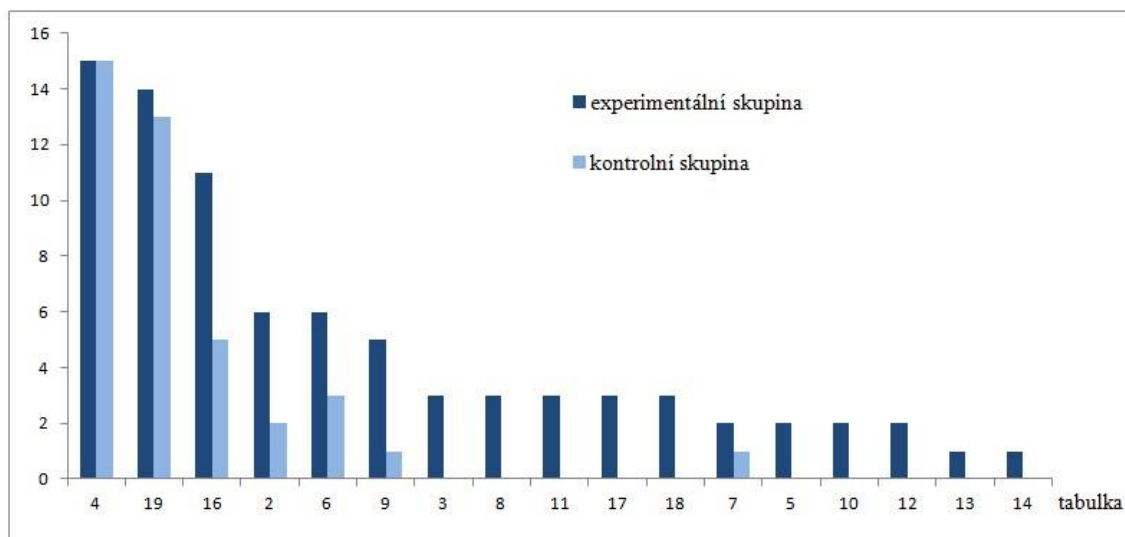
Z výsledků vyplývá, že pro kontrolní i experimentální skupinu je opakovatelnost lepší v 6 c/°. U experimentální skupiny je výrazně lepší opakovatelnost u 12 c/° oproti kontrolní skupině.

5.3.2 Stereopse

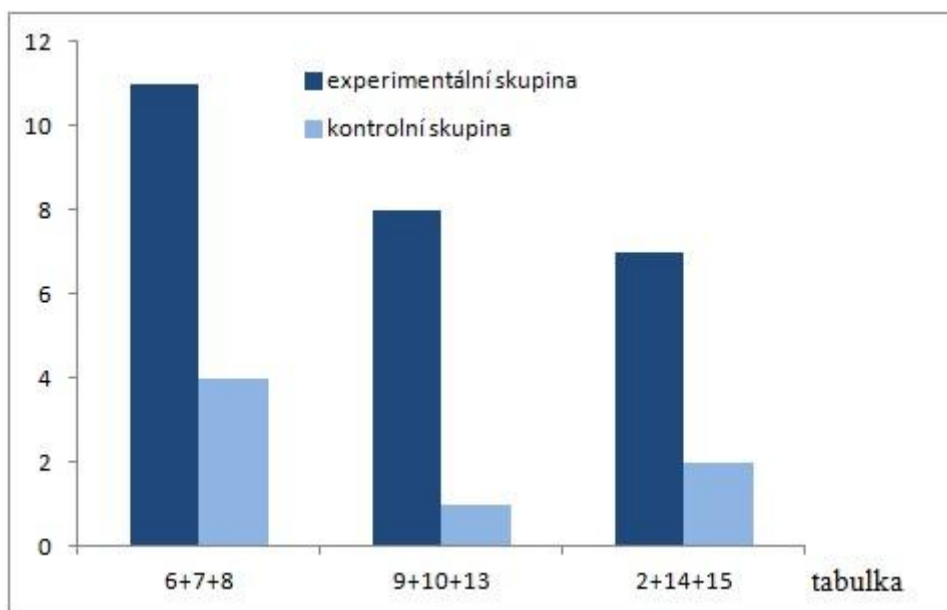
U experimentální skupiny byla zjištěna průměrná hodnota stereoskopického prahu 65" se směrodatnou odchylkou 49". V případě kontrolní skupiny byla průměrná hodnota stereoskopického prahu 61" se směrodatnou odchylkou 42". Metoda ANOVA nevykázala žádný rozdíl mezi skupinami ($p = 0,79$), pohlavím ($p = 0,10$) ani interakci obou sledovaných faktorů ($p = 0,92$).

5.3.3 Barevné vidění

Počet chybně určených tabulek u experimentální skupiny byl 4,7 a směrodatná odchylka měla hodnotu 4,4. U kontrolní skupiny bylo zaznamenáno chybné určení v průměru 2,2 tabulek se směrodatnou odchylkou 1,5. Významný efekt na počet chybně určených tabulek měla pouze experimentální skupina (ANOVA, $p = 0,019$). Vliv pohlaví byl nevýznamný ($p = 0,18$), stejně jako interakce mezi skupinou a pohlavím ($p = 0,15$). Dále byla sledována korelace mezi počtem chybně určených tabulek a MD, zprůměrovaným mezi levým a pravým okem. Tento vztah byl nevýznamný ($r = -0,03$).



Obrázek 19 – Absolutní četnost výskytu chyb u jednotlivých tabulek. V grafu neuvedené tabulky byly vždy čteny správně.



Obrázek 20 – Absolutní četnost výskytu chyb u skupin tabulek, které odpovídají jednotlivým poruchám barvocitu (6, 7, 8 – protanopie; 9, 10, 13 – deuteranopie; 2, 14, 15 – tritanopie).

Všechny zjištěné chyby jsou graficky prezentovány na obr. 19 a řazeny podle četnosti výskytu. Obr. 20 ukazuje četnost chyb u jednotlivých skupin tabulek ve formě součtu dílčích četností tabulek ve skupině. Tabulky jsou klasifikovány podle schopnosti diagnostikovat poruchu barvocitu v souladu s textem v metodice. Z obr. 19 je zřejmé, že u obou skupin byla vysoká četnost chyb u tabulek 4 a 19. U ostatních tabulek byla vždy výrazně vyšší chybovost v experimentální skupině. Kontrolní tabulky 1, 20 a 21 byly u všech pacientů čteny správně. Z obr. 20 vyplývá, že obě skupiny nejčastěji chybovaly u tabulek odpovídajících protanopii. Největší relativní rozdíl mezi oběma skupinami byl u tabulek odpovídajících deuteranopii. U protanopie chybovali glaukomatoci 2,75x více než zdraví, u deuteranopie 8x více a u tritanopie 3,5x více.

5.4 Diskuze

Cílem tohoto výzkumu bylo porovnat kontrastní citlivost, barevné vidění a stereopsi u pacientů s primárním glaukomem otevřeného úhlu (experimentální skupina) s hodnotami zdravé populace (kontrolní skupina). Podmínkou bylo, aby všichni pacienti spadali do věkového rozmezí 40 až 60 let. Dalším cílem bylo zjistit opakovatelnost *KC*.

Statisticky významné zhoršení *KC* bylo zjištěno u pacientů s glaukomem ve vyšších prostorových frekvencích. Čím byla prostorová frekvence vyšší, tím bylo snížení *KC* výraznější. K totožnému výsledku dospěla také tato studie [41]. Maximální hodnota *KC* pro obě skupiny je v 6 c/°, což prokázaly i výzkumy [30, 42]. Pro prostorovou frekvenci 3 c/° byly naměřeny téměř totožné hodnoty *KC* v obou skupinách. Obě skupiny měly hodnoty *KC* u mužů vyšší, v porovnání s ženami pro všechny prostorové frekvence. Nutno zdůraznit, že citlivost na kontrast může být ovlivněna mnoha dalšími faktory, včetně sítnice a mozku [43, 44, 45]. Předpokladem byla korelace *KC* s věkem, kde citlivost na kontrast se začíná zhoršovat již mezi 40 až 49 rokem věku, a to především ve vyšších prostorových frekvencích [46, 47]. Výsledky této studie ovšem ukazují korelaci pouze u experimentální skupiny při prostorových frekvencích 8 c/°, 12 c/°. Tento výsledek se dá zdůvodnit tím, že pacienti z kontrolní skupiny byli mladší a závislost se nemusela plně projevit. Jejich průměrný věk byl 50 let, na rozdíl od experimentální skupiny, u které byl průměrný věk 55 let. Dále byl hodnocen vztah mezi *KC* a velikostí středního defektu zorného pole, což se ale neukázalo jako signifikantní. Naproti tomu studie [30] poukazuje na zásadní korelaci mezi indexy *ZP* a *KC*, zde byla *KC* značně horší u pacientů se středně závažným glaukomem ve srovnání s počínajícím glaukomem. Možným vysvětlením pro tento jev by mohly být převažující pouze mírné defekty *ZP* vyšetřovaných glaukomatiků, tj. u experimentální skupiny se glaukom na *ZP* doposud výrazněji neprojevil z důvodu včasného záchytu.

Opakovatelnost *KC* je dobrá, výsledky mezi 1. a 2. měřením se významně neliší. Pouze v případě 12 c/° u experimentální skupiny, ovšem ani zde se nejedná o rozdíl klinicky významný. Ze studie [48], která byla provedena na totožném přístroji, také vyplývají pouze nepatrné odchylky mezi opakovanými měřeními. Obecně (bez ohledu na přítomnost glaukomu) bylo nejlepší opakovatelnosti dosaženo pro 6 c/°.

Zajímavé poznatky vyplývají z analýzy stereopse, zde se skupiny nijak významně neodlišovaly. Normální hodnoty tohoto testu jsou minimálně 60", což průměrně obě skupiny splňují. Tento poznatek je v rozporu s původní hypotézou, která poukazuje na snížení stereopse do blízka [17, 18, 49]. Možným vysvětlením je, že snížení stereopse je výraznější především u těžkých glaukomových onemocnění [50]. Překvapivé také je, že stereopse do dálky žádné zhoršování s rostoucí intenzitou glaukomového poškození neprokázala [51].

Při vyšetření barvocitu se projevila významná souvislost mezi experimentální a kontrolní skupinou a počtem chybně určených tabulek. Lze říci, že pokaždé byla výrazně větší chybovost v experimentální skupině. Tato situace se zcela shoduje s mnoha dalšími studii [1, 2, 3, 9, 38, 39]. V souladu s literaturou byla u glaukomatiků zaznamenána největší chybovost oproti zdravým jedincům v tabulkách odpovídajících deuteranopii, tj. poruše v oblasti vnímání zelené barvy, a následně v tabulkách pro tritanopii (poruchy v modré oblasti). Literatura uvádí jako nejčastější poruchy právě v oblasti modré, modro-zelené a modro-žluté oblasti. Tyto výsledky tedy svědčí o relativním poklesu citlivosti na barvu s krátkou vlnovou délkou viditelného spektra u glaukomatiků oproti zdravým jedincům. Naopak nejmenší rozdíl u obou sledovaných skupin byl u tabulek korespondujících s protanopií (červená oblast), přesto že tyto chyby se v obou skupinách vyskytovali absolutně nejčastěji. Absolutně častější výskyt chyb poukazujících na protanopii může být způsoben např. zvolenou intenzitou osvětlení, které nemusela plně vyhovovat požadavkům vyšetření barvocitu (osvětlení nebylo měřeno).

ZÁVĚR

Primární glaukom otevřeného úhlu je nejčastějším typem glaukomu. Nevzniká následkem jiného očního onemocnění, komorový úhel je standardně vyvinutý a není přítomen uzávěr odtoku nitrooční tekutiny v úhlu přední komory. Jedná se o poškození nervových vláken zrkového nervu, což se projevuje výpadky v ZP a dalšími méně nápadnými změnami ve vidění. U některých pacientů vznikají změny v ZP při zvýšeném nitroočním tlaku, u jiných se změny vyvinou při nitroočním tlaku, který je normální. Jestliže není nitrooční tlak pod kontrolou, dochází k nevratným změnám ve vidění, což může vést až ke slepotě. Cílem práce bylo teoreticky ve formě rešerše literatury a následně prakticky na základě provedené klinické studie vyhodnotit především méně nápadné glaukomové změny vidění (kontrastní citlivost, stereopse, barvocit) v korelaci se změnami v zorném poli.

Teoretická část nejprve definuje pojem primární glaukom s otevřeným úhlem. Uvádí jeho klasifikaci a shrnuje poznatky o nitrooční tekutině, nitroočním tlaku a zrkovém nervu. Následný text pojednává o působení glaukomu na zorné pole, kontrastní citlivost a stereopsi. Každá z těchto kapitol je doplněna o možnosti vyšetření daného parametru. V počátečních stádiích onemocnění nebývá narušena centrální zraková ostrost, avšak periferní vidění je poškozeno defekty v zorném poli. Dále dochází ke zhoršení vidění za suboptimálních světelných podmínek, které se projeví poruchou kontrastní citlivosti. Zřetelné jsou i změny v barvocitu, zejména v oblasti modrých, modro-zelených a modro-žlutých barev. Některé studie též uvádějí negativní změny ve stereopsi. Tyto skutečnosti byly sledovány v experimentální části práce. Na základě sledování údajů z klinického vyšetření dvou skupin pacientů (jedinců s glaukomem s otevřeným úhlem a zdravých jedinců) byl potvrzen pokles kontrastní citlivosti rostoucí s prostorovou frekvencí. Dále bylo zjištěno, že kontrastní citlivost je mírně nižší u žen, a to v obou skupinách. Opakovatelnost měření mezi skupinami nevykazovala podstatné rozdíly. Překvapivým výsledkem bylo zhodnocení stereopse, kde se skupiny oproti očekávání výrazně nelišily. V rámci testování barvocitu byly u pacientů s glaukomem potvrzeny poruchy barevného vidění ve větší míře než u kontrolní skupiny. Relativně vyšší výskyt byl zachycen především v oblasti zelených barev.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KUCHYNKA P. a kol. *Oční lékařství*. Praha: Grada Publishing, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [2] FLAMMER J. *Glaukom*. Praha: Triton, 2003. ISBN 80-7254-351-2.
- [3] ROZSÍVAL P. a kol. *Oční lékařství*. Praha: Galén, 2017. ISBN 978-80-7492-316-6.
- [4] HYCL J., VALEŠOVÁ L. *Atlas oftalmologie*. Praha: Triton, 2003. ISBN 80-7254-382-2.
- [5] RŮŽIČKOVÁ E. *Glaukom Průvodce ošetřujícího lékaře*. Praha: Maxdorf, 2016. ISBN 978-80-7345-473-9.
- [6] LANG G. *Ophthalmology A pocket text book atlas*. Stuttgart: Georg ThiemeVerlag, 2007. 10-ISBN 3-13-126162-5.
- [7] KANSKI J. J. *Clinical Ophthalmology: A Systematic Approach*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN: 978-0-08-044969-2.
- [8] RŮŽIČKOVÁ E. *Glaukom minimum pro praxi*. Praha: Triton, 2006. ISBN 80-7254-876-X.
- [9] VÝBORNÝ P. a kol. *Glaukom – vybrané kapitoly*. Hradec Králové: Nucleus HK, 2008. ISBN 978-80-87009-35-2.
- [10] RHEE D. J. et al. *Diagnostika a léčba očních chorob v praxi: TheWills Eye Manual*. Praha: Triton, 2004. ISBN 80-7254-536-1.
- [11] SYNEK S., SKORKOVSKÁ Š. *Fyziologie oka a vidění*. Praha: Grada Publishing, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
- [12] VLKOVÁ E. a kol. *Lexikon očního lékařství*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2008. ISBN 978-80-239-8906-9.
- [13] KRAUS H. a kol. *Kompéndium očního lékařství*. Praha: Grada Publishing, 1997. ISBN 80-7169-079-1.
- [14] ROZSÍVAL P. a kol. *Trendy soudobé oftalmologie 8*. Praha: Galén, 2012. ISBN 978-80-7262-818-6.
- [15] BROADWAY D. C. et al. *The ability of scanning laser ophthalmoscopy to identify variol glaucomatous optic disk appearances*. American journal of ophthalmology, Vol. 125, 1998, No. 5, page 593-604
- [16] KANSKI J. J. *Clinical Ophthalmology: A Synopsis*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2009. ISBN: 978-0-7020-3135-9.

- [17] RECHE-SAINZ, J. A. et al. *Binocular vision in glaucoma*. Archivos de la Sociedad Espanola de Oftalmologia, Vol. 88, 2013, No. 5, page 174-178
- [18] KWON M. et al. *Slow reading in Glaucoma: Is it due to the shrinking visual span in central vision?* Investigative ophthalmology&Visual science, Vol. 58, 2017, No. 13, page 5810-5818
- [19] CUBBIDGE R. *Visualfields*. Toronto: Elsevier, 2005. ISBN 978-0-7506-8851-2.
- [20] HORNOVÁ J. *Oční propedeutika*. Praha: Grada Publishing, 2011. ISBN 978-80-247-4087-4.
- [21] AUTRATA R., VANČUROVÁ J. *Nauka o zraku*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví v Brně, 2002. ISBN 80-7013-362-7.
- [22] SKORKOVSKÁ K. *Perimetrie*. Praha: Grada Publishing, 2015. ISBN 978-80-247-5282-2.
- [23] BRÍMOVÁ P. *Ošetrovatelská péče v oční chirurgii*. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2013. ISBN 978-80-7013-552-5.
- [24] TUNNACLIFFE A. H. *Introduction to visualoptic*. London: GreshamPress, 1993. ISBN 0-9009-928-3.
- [25] ROZSÍVAL P. *Trendy soudobé oftalmologie 4*. Praha: Galén, 2007. ISBN: 978-80-7262-470-6.
- [26] POLÁŠEK J. *Technický sborník oční optiky*. Praha: Oční optika, 1974.
- [27] KOLÍN J. *Oční lékařství*. Praha: Karolinum, 2007. ISBN 978-80-246-1325-3.
- [28] ANTON M. *Refrakční vady a jejich vyšetřovací metody*. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2004. ISBN 80-7013-402-X.
- [29] VENTRUBA J. Kontrastní citlivost, testování a příčiny jejího snížení. *Česká oční optika*, Vol. 49, 2008, No. 1, page 70-71
- [30] BAMBO M. P. et al. *Evaluation of contrast sensitivity, chromatic vision, and reading ability in patiens with primary open angle glaucoma*. Journal of ophthalmology, Published online, 2016, Oct 31
- [31] HAWKINS A.S. et al. *Comparison of contrast sensitivity, visualacuity, and Humphrey visual field testing in patiens with glaucoma*. Journal of glaucoma, Vol. 12, 2003, No. 2, page 134-138
- [32] AMANULLAH S. et al. *The relationship between contrast sensitivity and retinal nerve fiber layer thickness in patiens with glaucoma*. Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology, Vol. 255, 2017, No. 12, page 2415- 2422

- [33] Vector Vision CSV-1000 Product manual
- [34] KOLARČÍK L. a kol. *Příručka pro sestry v oftalmologii*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5458-1
- [35] Anton M. *Co je to barva? Česká oční optika*, Vol. 47, 2006, No. 1, page 28-30
- [36] OTRADOVEC J. *Klinická neurooftalmologie*. Praha: Grada Publishing, 2003. ISBN: 80-247-0280-0
- [37] Veselý P. *Současné metody vyšetřování barvocitu*. *Česká oční optika*, Vol. 51, 2010, No. 4, page 54 – 67
- [38] STEFAN C. et al. *Color vision in glaucoma*. *Oftalmologia*, Vol. 49, 2005, No. 1, page 17-21
- [39] MISIUK – HOILO M. et al. *Clinical advantages of colorimetric exploration in the early diagnosis of glaucomatous neuropathy*. *Journal Francois d'ophtalmologie*, Vol. 27, 2004, No. 8, page 891-896
- [40] VELHAGEN K., BROSCHMANN D. *Tabulky k vyšetření barvocitu*. Stuttgart: Aventinum, 1992. ISBN 80-85277-24-7.
- [41] KARA S. et al. *Repeatability of contrast sensitivity testing in patients with age-related macular degeneration, glaucoma, and cataract*. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, Vol. 79, 2016, No. 5, page 323-327
- [42] KOEFOED V. F. et al. *Contrast sensitivity measured by two different test methods in healthy, young adults with normal visual acuity*. *Acta Ophthalmologica*, Vol. 93, 2015, No. 2, page 154-161
- [43] HASHEMI H. MD. et al. *Contrast Sensitivity Evaluation in a Population-Based Study in Shahroud, Iran*. *Ophthalmology*, Vol. 119, 2012, No. 3, page 541-546
- [44] SNYDER A. W. *Human psychophysics: Functional interpretation for contrast sensitivity versus spatial frequency curve*. *Biological Cybernetics*, Vol. 32, 1979, No. 1, page 9-17
- [45] VIRSU V., ROVAMO J. *Visual resolution, contrast sensitivity, and the magnification factor*. *Experimental Brain Research*, Vol. 37, 1979, No. 1, page 475-494
- [46] LIUTKEVIČIENE R. et al. *Associations Between Contrast Sensitivity and Aging*. *Medicina*, Vol. 49, 2013, No. 6, page 273-277

- [47] PARDHAN S. *Contrast sensitivity loss with aging: sampling efficiency and equivalent noise at different spatial frequencies*. Journal of the Optical Society of America, Vol. 21, 2004, No. 2, page 169-175
- [48] THURMAN S. M. et al. *Predicting individual contrast sensitivity functions from acuity and letter contrast sensitivity measurements*. Journal of vision, Vol. 16, 2016, No. 15, page 1167
- [49] YOSHIKAWA T. *Stereoacuity in glaucoma patients*. Nippon Ganka Gakkai zasshi, Vol. 120, 2016, No. 4, page 303-309
- [50] LAKSHMANAN Y., GEORGE R. J. *Stereoacuity in mild, moderate and severe glaucoma*. Ophthalmic & physiological optics, Vol. 33, 2013, No. 2, page 172-178
- [51] PARK C. K. *Near and distance stereoacuity in patients with primary open – angle glaucoma*. Journal of glaucoma, Vol. 27, 2018, No. 6, page 537-542