

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

**LUCIE
SUCHOMELOVÁ**



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství
Katedra přírodovědných oborů

Porovnání strukturálních a funkčních změn u glaukomu

Comparsion of structural and functional changes by glaucom

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor projektu: Lucie Suchomelová

Vedoucí projektu: doc. MUDr. Šárka Pitrová, CSc., FEBO

Katedra přírodovědných oborů

Akademický rok: 2017/2018

Z a d á n í b a k a l á ř s k é p r á c e

Student: **Lucie Suchomelová**
Obor: Optika a optometrie
Téma: **Porovnání strukturálních a funkčních změn u glaukomu**
Téma anglicky: Comparison of structural and functional changes by glaucom

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Strukturální změny glaukomu lze detekovat pomocí několika vyšetřovacích metod (HRT, GDx, OCT), které mapují jak úbytek nervových vláken, tak i poškození gangliových buněk sítnice. Funkční změny jsou nejčastěji testovány pomocí vyšetření zorného pole, které odhaluje především ztrátu nervových vláken. Počátek onemocnění lze zjistit ale i dříve než pomocí perimetrie, a to díky dřívější postupné ztrátě gangliových buněk sítnice.

Cílem bakalářské práce je určit korelaci mezi změnami strukturálními (Ganglion cell komplex) a změnami funkčními (perimetrie) u pacientů postižených glaukomem.

Seznam odborné literatury:

- [1] LEŠTÁK, J., PITROVÁ, Š., „Ganglion cells complex“ a vrstva nervových vláken u hypertenzních a normotenzních glaukomů, Čs a slov. Oftalmol., ročník 72, číslo 1, 2016, pp. 199-203
- [2] VLKOVÁ, E., VLK, F., PITROVÁ, Š., Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník, ed. 1, Brno: František Vlček, 2008, 607 s., ISBN 978-802-3989-069
- [3] LEŠTÁK, J., NUTTEROVÁ, E., JIRASKOVÁ, N., NAVRÁTIL, L., Ganglion cell complex and nerve fibre layer in hypertension and normal-tension glaucoma, Wulfenia Journal, ročník 23, číslo 1, 2016, pp. 2-12

Zadání platné do: 20.09.2019

Vedoucí: doc. MUDr. Šárka Pitrová, CSc.



.....
vedoucí katedry / pracoviště



.....
děkan

V Kladně dne 19.02.2018

Název bakalářské práce: Porovnání strukturálních a funkčních změn u glaukomu

Abstrakt:

Cílem teoretické části této bakalářské práce je uvedení do problematiky glaukomu. Bakalářská práce se zabývá objasněním dostupných vyšetřovacích metod tohoto onemocnění, seznamuje s dvěma základními typy – strukturální metodou (OCT, GDx, HRT) a funkční metodou (perimetrie). Soustřeďuje se hlavně na strukturální typ metody, při které má nemalý význam právě Ganglion cell komplex. Díky jeho pozorování lze včas odhalit počáteční stádia onemocnění glaukomu a začít s dřívější, a tudíž úspěšnější, léčbou.

Experimentální část se zaměřuje na porovnání změn strukturálních, týkajících se Ganglion cell komplexu a vrstvy nervových vláken sítnice, a změn funkčních, které lze odhalit perimetrickým vyšetřením. Potřebná data byla získána na základě dvojího měření 49 očí 25 pacientů Privátní oční kliniky JL v Praze 5 - Nové Butovice, s časovým odstupem jednoho roku.

Při porovnání naměřených dat s normativní databází a následném určení odchylky bylo zjištěno, že u obou zkoumaných tloušťek GCC (Ganglion Cell Complex) a RNFL (Retinal Nerve Fiber Layer) dochází k jejich postupnému úbytku, o něco více na straně GCC.

Při porovnání průměrných hodnot GCC a RNFL a průměrných hodnot Pattern Defektu, sledovaných v časovém úseku jednoho roku, se potvrdila závislost kvality zorného pole na tloušťce vrstev sítnice.

Průměrná hodnota NT klesla v průběhu roku přibližně o 2,0 mm Hg, zatímco průměrná hodnota Pattern Defektu se za toto období navýšila o cca 0,30 jednotek. To znamená, že i přes pokles NT došlo k mírné progresi změn zorného pole.

Klíčová slova:

glaukom, ganglion cell komplex (GCC), gangliové buňky, nitrooční tlak, strukturální diagnostické metody, funkční diagnostické metody

Bachelor's Thesis title: Comparison of structural and functional changes by glaucoma

Abstract:

The aim of the theoretical part of this bachelor thesis is to introduce glaucoma. The bachelor thesis deals with the explanation of the available investigation methods of this disease, it acquaints with two basic types - structural method (OCT, GDx, HRT) and functional method (perimetry). It focuses on the structural type of the Ganglion cell complex. Thanks to his observations, the early stage of glaucoma can be detected early and begin treatment earlier and the better.

The experimental part focuses on comparing the structural changes related to the Ganglion cell complex and the retinal nerve fibers layer, and functional changes that can be detected by perimetric examination. Required data were obtained based on a double measurement of 49 eyes of 25 patients of the Private Eye Clinic JL in Prague 5 - Nové Butovice with a one-year delay.

When comparing the measured data with the normative database and subsequently determining the variance, it was found that both GCC and RNFL thicknesses undergo a gradual decrease, slightly more on the GCC side.

When comparing the mean GCC and RNFL values and the mean Deflection Pattern values observed over a one-year timeframe, the visual field quality dependence on the thickness of the retinal layers was confirmed.

The average NT value decreased by about 2.0 mm Hg over the course of the year, while the average defect pattern increased by about 0.30 units during this period. This means that despite the decrease of the NT there was a slight progression of changes in the field of vision.

Key words:

glaucoma, ganglion cell complex (GCC), ganglion cells, intraocular pressure, structural diagnostic methods, functional diagnostic methods

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala paní docentce MUDr. Šárce Pitrové CSc., FEBO za odborné vedení mé bakalářské práce, její trpělivost, vstřícnost a morální podporu. Dále děkuji paní docentce Ing. Marii Pospíšilové CSc. za cenné rady při statistickém zpracování dat.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Porovnání strukturálních a funkčních změn u glaukomu“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k projektu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V *Kladně* dne 18. 5. 2018

.....

Podpis

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Anatomie sítnice a její význam pro vznik glaukomu.....	2
2.1	Ganglion cell komplex.....	3
2.2	Vrstva gangliových buněk.....	4
2.3	Vrstva nervových vláken – zrkový nerv.....	5
3	Glaukom.....	6
3.1	Teorie vzniku.....	6
3.2	Rizikové faktory.....	7
3.3	Projevy onemocnění.....	8
3.3.1	Subjektivní pocity pacientů.....	8
3.3.2	Objektivní nálezy.....	8
3.4	Diagnostika glaukomu.....	9
3.4.1	Metody zjišťující funkční změny u glaukomu.....	9
3.4.2	Metody zjišťující strukturální změny u glaukomu.....	18
3.5	Nejčastější změny u glaukomu s otevřeným úhlem.....	23
3.5.1	Funkční změny.....	23
3.5.2	Strukturální změny.....	24
4	Experimentální část.....	26
4.1	Úvod.....	26
4.2	Metodika výzkumu sledovaného souboru.....	26
4.3	Výsledky měření vybraných parametrů.....	28
4.3.1	Vízus a pachymetrie.....	28
4.3.2	Vyšetření GCC a RNFL přístrojem OCT Optovue RTVue.....	28
4.3.3	Vyšetření zorného pole přístrojem MEDMONT M700 USB C.....	31
4.3.4	Měření nitroočního tlaku přístrojem Canon TX-F Full Auto-tonometr.....	32
4.4	Analýza dat a jejich vzájemná korelace.....	33

4.4.1	Pattern Defekt a nitrooční tlak.....	33
4.4.2	Porovnání časově odlišných měření GCC a RNFL s normativní databází	35
4.4.3	Porovnání časově odlišných měření GCC a RNFL s Pattern Defektem	37
5	Diskuse.....	38
6	Závěr	39
	Seznam použité literatury	41
	Seznam zkratk.....	45
7	Seznam obrázků	46
8	Seznam tabulek	47
9	Příloha: Komplexní tabulka s daty.....	48

1 Úvod

Bakalářská práce se zabývá glaukomem z hlediska jeho funkčních a strukturálních změn a jejich vzájemným porovnáním. Toto onemocnění postihuje všechny věkové kategorie. Dochází při něm k nevratnému poškození zrakových funkcí postupným odumíráním a degenerací nervových vláken. Důsledkem může být částečná nebo úplná ztráta zraku.

Vědecké studie, zabývající se glaukomem, obsahují ještě mnoho neznámého, dosud nejsou např. objasněny všechny možné příčiny vzniku tohoto poškození. Stále se vyvíjejí a zdokonalují vyšetřovací metody, které by dokázaly zachytit co nejranější stadium onemocnění a umožnit tak jeho včasnou léčbu.

Velmi důležitou součástí diagnostiky glaukomu je posuzování doprovodných strukturálních změn, které mapují jak úbytek nervových vláken, tak i poškození gangliových buněk sítnice. Z těchto důvodů se hned první kapitola bakalářské práce zaměřuje na popis anatomie sítnice zdravého oka, aby v experimentální části bylo možno hodnotit odchylky těchto strukturálních změn na očích s glaukomem. Strukturální změny u glaukomu lze detekovat pomocí několika vyšetřovacích metod (HRT, GDx nebo OCT). V experimentální části byly hodnoceny výsledky vyšetření OCT, při kterém je možno v průběhu jednoho vyšetření zmapovat jak úbytek nervových vláken, tak i stupeň poškození gangliových buněk. V teoretické části je vyšetřování pomocí OCT věnována samostatná podkapitola.

Funkční změny u glaukomu jsou nejčastěji testovány pomocí vyšetření zorného pole - perimetrie, které odhaluje především ztrátu nervových vláken. Problematikou vyšetření zorného pole se v teoretické části zabývá samostatná kapitola. Počátek onemocnění glaukomem lze zjistit ale i dříve než pomocí perimetrie, a to díky časnějším strukturálním změnám sítnice, projevujícím se postupnou ztrátou gangliových buněk a následně i úbytkem nervových vláken.

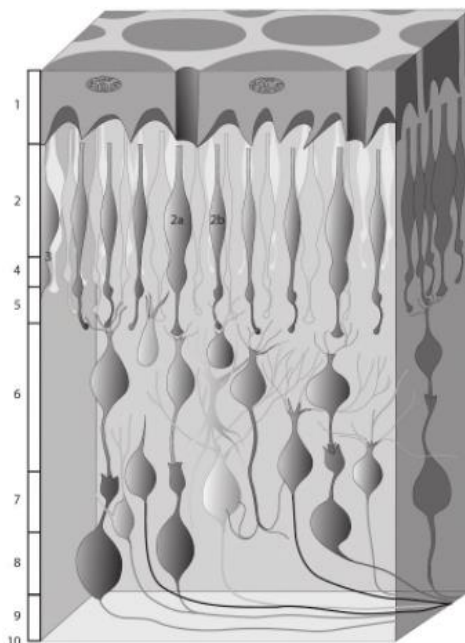
2 Anatomie sítnice a její význam pro vznik glaukomu

Sítnice (*retina*) je vnitřní vrstva oka pokrývající část orbity. Z přední strany na ni naléhá sklivec, který mimo jiné zajišťuje její hladký povrch, a z druhé strany volně přiléhá k cévnatce. Pevně je fixována pouze k terči zrakového nervu v oblasti *ora serrata*.

Sítnice sestává ze dvou částí, optické (*pars optica retinae*) a slepé (*pars coeca retinae*). Optická část je tvořena světločivnými elementy – početnějšími tyčinkami a centrálněji umístěnými čípkami. Slepá část tvoří pouze vnitřní obal plochy řasnatého tělíska a zadní plochy duhovky. V oblasti optické části se nachází místo s nejhustším výskytem čípků, které je místem nejostřejšího vidění, tzv. žlutá skvrna (*macula lutea*), uvnitř ní je *fovea* a v jejím centru *foveola*. V pravém centru makuly se nenacházejí téměř žádné tyčinky, zato vysoce převládají čípkami.

Sítnice se skládá z deseti hlavních vrstev (obr.2.1):

1. *stratum pigmenti retinae* – vrstva cylindrických buněk, obsahujících v cytoplazmě zrna pigmentu,
2. vrstva tyčinek a čípků,
3. *membrana limitans externa* – zevní patky neurogliových (podpůrných) Müllerových buněk,
4. zevní vrstva jádrová – jádra smyslových buněk,
5. zevní vrstva plexiformní – konečná rozvětvení vodivých výběžků smyslových buněk a dendritů buněk bipolárních, uskutečňuje se v ní synapse mezi I. a II. neuronem zrakové dráhy,
6. vnitřní vrstva jádrová – těla a jádra bipolárních, amakrinních a horizontálních buněk a jádra Müllerových buněk,
7. vnitřní vrstva plexiformní – konečná rozvětvení neuritů bipolárních buněk, dendritů buněk amakrinních a dendritů multipolárních buněk (dochází zde k synapsi mezi II. a III. neuronem zrakové dráhy),
8. vrstva gangliových buněk – těla multipolárních buněk,
9. vrstva nervových vláken – neurity multipolárních buněk,
10. *membrana limitans interna* – vnitřní patky neurogliových (podpůrných) Müllerových buněk. [1]



Obr. 2.1: Struktura sítnice [OLK]

Z těchto deseti vrstev se zaměříme na vrstvu osmou a devátou, tedy na vrstvu gangliových buněk a vrstvu nervových vláken.

2.1 Ganglion cell komplex

Ganglion cell komplex (GCC) se skládá ze tří vrstev:

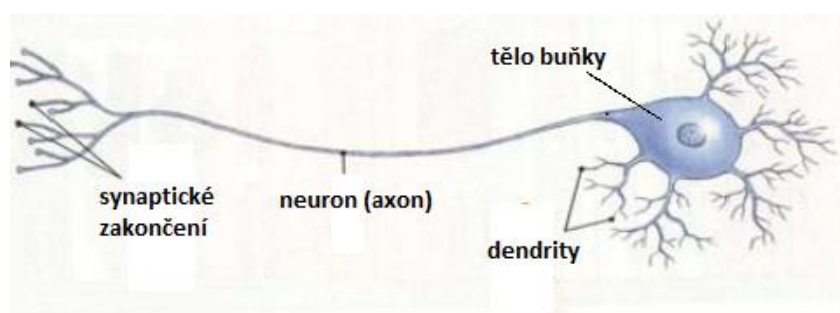
1. vnitřní plexiformní vrstvy tvořené dendrity gangliových buněk (INL),
2. vrstvy samotných buněk tvořené jejich těly (GCL),
3. vrstvy sítnicových nervových vláken tvořené axony gangliových buněk (RNFL). [3]

Pozorování jednotlivých vrstev GCC má velký význam pro zachycení počátečního stadia glaukomu. Kvalitní optický přístup k rozlišení jednotlivých vrstev sítnice umožňuje optická koherentní tomografie (OCT); v našem případě nás zajímá hlavně zobrazení GCL (tělo gangliové buňky) a RNFL. Vzhledem k tomu, že nejdříve hynou synapse gangliové buňky napojující se na nervová vlákna a až poté její tělo, lze tak vzniklé ztenčení GCC detekovat pomocí OCT časněji, než kdybychom sledovali pouze tloušťku RNFL kolem hlavy optického nervu. [4]

Přibližně 50 % synapsí gangliových buněk se sbíhá do středu sítnice k oblasti makuly o průměru 5 mm. Právě tato oblast je díky tomu více než vhodná pro detekování časných změn u glaukomu a ke sledování vývoje tohoto onemocnění. [4]

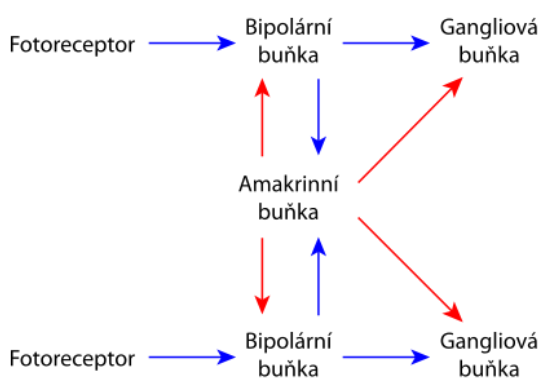
2.2 Vrstva gangliových buněk

Gangliové buňky jsou jedním typem neuronu, tzv. multipolární nervové buňky (obr.2.2). Nacházejí se u povrchu sítnice (blízko sklivce). V embryologickém vývoji řídí orientaci jejich růstových kónusů (výběžků, kterými axon prohledává okolí budoucí synapse) radiální glie a později molekuly extracelulárního matrixu. Tvoří III. vertikální neuron sítnice. Sítnice obsahuje dohromady tři tyto neurony vedoucí od čípků a tyčinek právě ke gangliovým buňkám.



Obr. 2.2: Multipolární nervová buňka – gangliová buňka (popisky vlastní) [5]

Gangliové buňky jsou tedy nepostradatelnou součástí zrakové dráhy. Přes bipolární a amakrinní buňky dostávají vstupní signál od fotoreceptorů, jejichž množství závisí na lokalizaci gangliové buňky na sítnici (obr.2.3).



Obr 2.3: Schéma šíření signálu mezi buňkami [6]

Vstupní signál je ještě před předáním gangliovým buňkám kontrolován a upravován buňkami amakrinními. Gangliové buňky své dendrity vysílají do vnitřní plexiformní vrstvy, kde

navazují synaptická spojení s bipolárními a amakrinními buňkami sítnice. Svě bezmyelinové neurity vysílají po povrchu sítnice přímo k optickému nervu. V celé vrstvě je rozmístěno přibližně 3000 velkých gangliových buněk, jejichž dendrity společně vytvářejí složitou síť. Tato populace velkých buněk obsahuje pigment melanopsin, díky němuž jsou buňky citlivé především na vlnové délky modrého světla, kterého je nejvíce při stmívání či svítání. Axony těchto gangliových buněk vedou až do hypothalamu a do mozkového kmene. [7, 2]

Gangliové buňky na lidské sítnici lze dělit na dva typy – typ M a typ P. Buňky typu M jsou větší, citlivější na méně kontrastní podněty a se širším receptivním polem. Po jejich axonu se akční potenciál pohybuje rychleji než po axonu buňky typu P. Menší typ buněk P, na rozdíl od těch druhých, reaguje na podnět po celou dobu jeho trvání, a to zvýšenou frekvencí akčních potenciálů. Rozdíl mezi dobou reakce na podnět u jednotlivých typů buněk je důležitý při tvorbě zrakového vjemu. Gangliové buňky neslouží pro zachycení obrazu, ale pro určování celkové úrovně osvětlení zrakového systému. Napomáhají také k ovlivnění pupilárního reflexu. [7, 2]

2.3 Vrstva nervových vláken – zrakový nerv

Nemyelinisovaná vlákna zrakového nervu se sbíhají z gangliových buněk sítnice. Po průchodu *lamina cribrosa* (sklérou) jsou obohacena myelinovými pochvami, které jsou tvořeny oligodendroglíemi. [7]

Celý zrakový nerv je dlouhý přibližně 4,5 cm, z velké většiny probíhá orbitou. Skládá se z milionu nervových vláken. Podle průchodu sklérou se dělí na čtyři úseky:

1. *pars intraocularis* (vlákna nervu bez myelinových pochev na vnitřní ploše sítnice),
2. *pars praelaminaris* (vlákna na povrchu papily nervu),
3. *pars intralaminaris* (vlákna v průchodu skléry),
4. *pars postlaminaris* (vlákna v části za sklérou). [7]

3 Glaukom

Termín je přejatý z latiny, ze slova *glaukosis*, což v překladu znamená nazelenalá barva moře. Tento významový obsah zřejmě vedl k vytvoření českého termínu „zelený zákal“. Laická veřejnost si toto slovní spojení často spojuje s šedým zákalem oční čočky. V případě glaukomu se ale o žádný skutečný zákal nejedná. Je to v podstatě chronická neuropatie (nezánětlivé postižení) zřetivého nervu, která vede k ireverzibilnímu poškození zřetivých funkcí oka. [8, 9, 10]

Jedná se o multifaktoriální onemocnění, jehož nejdůležitějším rizikovým faktorem je zvýšený nitrooční tlak (NT). Ten způsobuje snížení perfuzního tlaku cév v oblasti papily zřetivého nervu a tím dysfunkci a odumření gangliových buněk sítnice. [8, 9, 10]

Normální NT by se měl pohybovat od 9 do 21 mm Hg (do 21 torrů). Ale ani vyšší tlak, než je tlak v normě, nemusí nutně znamenat glaukom. Je nezbytné provést vyšetření terče zřetivého nervu, a je-li tento beze změn, pak se jedná pouze o oční hypertenzi. Regulace nitroočního tlaku je zajištěna správnou tvorbou a průtokem nitrooční tekutiny. Ta se tvoří v *pars plicata corpus ciliare* (řasnatém tělísku), zornicí proudí do přední komory a komorovým úhlem odtéká do Schlemmova kanálku, dále se přes episklerální i intrasklerální vény vrací do celkového oběhu. Část tekutiny je také přímo absorbována duhovkou nebo řasnatým tělískem. Právě dysfunkce průchodu trámčiny (komorového úhlu) bývá hlavní příčinou zvýšení NT, a tím vzniku glaukomového onemocnění. Nitrooční tekutina tak nemá kam odtékat a dochází k jejímu hromadění v přední komoře oka. [8, 9, 10]

3.1 Teorie vzniku

Uvádí se čtyři různé teorie vzniku glaukomu; mechanická, vaskulární, neuroprotektivní a axoplazmatický tok. Mechanická teorie se zabývá tvorbou a průchodem nitrooční tekutiny. Není-li tento mechanismus v pořádku, dochází ke zvýšení nitroočního tlaku, a tím ke zhoršení výživě očních tkání. [11, 12]

Podle vaskulární teorie jsou příčinou vzniku glaukomu poruchy cirkulace. Vysoký NT způsobí útlak cév, a tak sníží jejich průchodnost. Dále také mohou probíhat změny na gangliových buňkách a také na papile zřetivého nervu. [11, 12]

Neuroprotektivní teorie se zakládá na tom, že glutamát působí v normálních podmínkách na CNS a retinu jako neurotransmitter, při vyšší koncentraci však jako neurotoxin. U očí postižených glaukomem byla prokázána jeho vyšší koncentrace v zadním sklivci. [11, 12]

Při dysfunkci axoplazmatického toku dochází ke ztrátě axonů v průběhu optického nervu i zrakové dráhy, jejich zduření a akumulaci mitochondrií. [11, 12]

3.2 Rizikové faktory

Mimo hlavní rizikový faktor, kterým je zvýšený NT, existují faktory další, jako např. věk, pohlaví, rodinná anamnéza, rasa, *diabetes mellitus*, refrakční vady, oběhové poruchy, anatomické predispozice.

Se zvyšujícím se věkem počet rizikových faktorů celkově narůstá, zatímco počet nervových vláken se naopak snižuje. Onemocnění glaukomem je více pravděpodobné ve vyšším věku, hlavně díky degeneraci v oblasti trámčiny. [13]

Je možné, že ženy jsou citlivější na změnu NT než muži, tudíž se u nich projeví normotenzní glaukom dříve. Proto lze tvrdit, že ženy jsou postiženy normotenzním glaukomem častěji. Změny NT mohou nastat i během těhotenství, kdy klesá, a naopak v období menopauzy, kdy zase roste. [13, 14]

U glaukomu platí genetická predispozice. Pokud se tedy objeví v rodině, měli by všichni členové docházet na pravidelné kontroly. [13, 14]

Lidé s černým typem pleti mají vyšší NT už i v mladším věku, tím je u nich riziko vzniku glaukomu vyšší než např. u Evropanů. Naopak Japoncům se NT v průběhu života snižuje, a tak nejčastěji trpí normotenzním typem glaukomu. [13, 14]

U *diabetes mellitus* není známa příčina častého výskytu. [13]

Myopické (delší) oko je citlivější na změnu NT, poškození zrakového nervu se u něj vyskytuje častěji. U hypermetropie zase může spíše vzniknout pupilární blok (přitlačení kořene duhovky dopředu), a tím dojde k projevu glaukomu s uzavřeným úhlem. [13]

Mezi komplikující oběhové poruchy se řadí systémová hypotenze v nočních hodinách nebo ortostatický pokles krevního tlaku a vazospasmus cév, vaskulární dysregulace a následná porucha perfuze. [13, 14]

K anatomickým predispozicím se řadí menší axiální délka bulbu (hypermetropie), menší zakřivení obou ploch rohovky a přední plochy čočky, větší průměr oční čočky a její posun vpřed. To vše umožňuje snadnější uzavření komorového úhlu a změlčení přední komory, a tím následný vznik glaukomu. Dalším faktorem je již nějakým způsobem poškozený terč zrakového nervu, ten je pak více citlivý na změny NT. [13, 14]

3.3 Projevy onemocnění

3.3.1 Subjektivní pocity pacientů

Ke každému typu glaukomu se váží odlišné příznaky. Zde se zaměříme na ty nejfrekventovanější.

Projevy při průběhu glaukomového onemocnění se logicky váží hlavně ke glaukomu s uzavřeným úhlem, zvláště k akutnímu glaukomovému záchvatu. Pacient si stěžuje na silné bolesti oka, hemikranii, zarudlou spojivku, nauzeu, zvracení, náhle zhoršenou zrakovou ostrost, zamlžené vidění až na jeho úplnou ztrátu, fotofobii, irizaci, nebo tzv. barevný haló efekt. Může se objevit také slzení nebo otok horního víčka. [8]

Naopak glaukom s otevřeným komorovým úhlem téměř žádné subjektivní příznaky nemá. Tím je tento typ daleko zákeřnější. Pacienti si stěžují pouze na potíže při čtení, nebo na horší vidění při slabém osvětlení. [8] V pozdějším stádiu onemocnění dochází k závažným poškozením zorných polí, což se může projevit až tzv. trubicovitým viděním.

3.3.2 Objektivní nálezy

Při podrobnějším vyšetření si lze u glaukomu s uzavřeným úhlem všimnout perikorneálního městnání krve, chemózy bulbární spojivky, dilatované, nepravidelně široké (vertikálně oválná) a špatně reagující zornice, která je fixována zadními synechiemi k čočce, dále atrofické duhovky, štěrbinovitě mělké přední komory. Rohovka postiženého oka je zašedlá, ztlustělá, tvoří se edém epitelu. Duhovka je překrvená, kresby na ní jsou smazané. Sklivec je zkalený, tím znemožňuje vyšetření fundu klasickým způsobem. Pod předním pouzdrém čočky se mohou objevit bílé skvrny. Bulbus je při palpačním vyšetření značně tvrdý v důsledku vysokého NT. [8, 15]

Pro glaukom je charakteristický vzhled zrakového nervu, vzniká tzv. glaukomová neuropatie optiku. Typická je asymetrie nálezu na papílách, proto je dobré vždy srovnávat papily obou očí, popř. porovnávat snímky v čase, které mohou signalizovat progresi onemocnění s

následným viditelným zvětšením exkavace papily na postižené straně. Terč zrakového nervu může být překrvený s dilatací sítnicových cév. Nasedání cév endotelu na ztvrdlý okraj cévy je označováno jako plaménková hemoragie. [8]

Glaukom s otevřeným úhlem se projevuje u většiny pacientů zvýšeným NT, až nad 22 mm Hg, defekty nervových vláken, popřípadě zářezem na okraji terče zrakového nervu. [15]

Ve shrnutí glaukom přináší četné změny na papile zrakového nervu, jako je prohlubování její exkavace, zřetelnější *lamina cribrosa*, bledý okraj a posunutí cévní jamky nasálně. [8]

3.4 Diagnostika glaukomu

Diagnostické metody pro vyšetření zeleného zákalu jsou velmi bohaté. Mimo anamnézu, jakožto základní vyšetřovací metodu, do této kategorie řadíme vyšetření na šterbinové lampě, oftalmoskopii, gonioskopii, měření nitroočního tlaku a vyšetření zorného pole, ke kterému využíváme speciální zobrazovací metody, metody sledování perfúze terče a jeho okolí anebo moderní metody, které sledují biomechanismy nervových buněk, jako je např. apoptóza. [11]

3.4.1 Metody zjišťující funkční změny u glaukomu

Vyšetření terče zrakového nervu a sítnice

K přímé oftalmoskopii se využívá oftalmoskopu s případným použitím zvětšovací čočky. Pro průhled až na sítnici musí být samozřejmě zajištěna čirá optická media a dostatečně rozevřená pupila. Šířku pupily lze případně ovlivnit mydriatiky, která způsobí její dilataci. Ideální vyšetření zajistíme spojením oftalmoskopu, šterbinové lampy a speciálně zvětšovací čočky. Tato technika však vyžaduje spoustu zkušeností a zručnosti. [11]

Vyšetření úhlu přední komory

Trámčinou komorového úhlu odtéká větší část nitrooční tekutiny. Pomocí gonioskopie zjišťujeme stav (otevřenost) komorového úhlu. Důležité je rozlišit hloubku přední komory. Pokud světelný paprsek dopadající paralelně s duhovkou přestoupí oba její okraje (okraje zornice), je komora normálně hluboká a komorový úhel pravděpodobně otevřený. Jestliže však paprsek neosvítí oba okraje zornice, pak je hloubka přední komory mělká a úhel úzký až uzavřený. [11]

K vyšetření pomocí gonioskopie je zapotřebí štěrbinová lampa (biomikroskop) a speciální gonioskopická kontaktní čočka, která je pod lokální anestezií přiložena na rohovku. Docílíme tak zvětšeného stereoskopického obrazu komorového úhlu. [11]

Měření nitroočního tlaku

Velikost nitroočního tlaku můžeme změřit třemi způsoby; indentačně (impresně), aplanačně nebo bezkontaktně. [11]

Zástupcem impresního měření je Shiotzův tonometr. Funguje na principu odporu rohovky, čím více je rohovka tvrdá (vyvolává vůči přikládané tyčince větší odpor), tím je naměřen vyšší NT. Podle velikosti odporu se na tonometr zavěšují tři různá závažíčka o hmotnosti 5,5-7,5-10 g. Na dvaceti-dílkové stupnici pak pomocí nomogramu odečítáme naměřený NT. Přístroj přichází do přímého kontaktu s rohovkou, proto je nutná lokální anestezie. Hlavní nepřesnost přístroje je, že nepočítá s vlastní vahou působící na bulbus, bere v úvahu pouze hmotnost závaží. [11]

Goldmannův aplanační tonometr oplošťuje rohovku známým tlakem (na rozdíl od indentační metody), pomocí čidla o vzhledu plastového cylindru, na malém úseku. Lze tak pozorovat přímo okamžik aplanace. Hodnotu NT lze přímo odečíst na stupnici zařízení. Bývá přímo součástí štěrbinové lampy, popř. existuje i v přenosné verzi. [11]

Už méně atakující způsob zjištění NT je zajištěn díky bezkontaktnímu tonometru. Ten oplošťuje rohovku pomocí okamžitého nárazu vzduchu o rychlosti 1-3 m/s. Jedná se tedy o bezkontaktní metodu a lze ji využívat ke screeningu mnoha pacientů. [11]

V dnešní době existuje i mnoho dalších přístrojů, jako je např. Pascalův dynamický konturní tonometr, který má zabudovaný tlakový senzor v konkávním čidlu, tvarově přizpůsobeném povrchu rohovky, nebo tzv. Tonopen, což je v podstatě varianta Goldmannova aplanačního tonometru ukrytá v malém „peru“. [11]

NT je lépe měřit několikrát v různých denních dobách, jeho hodnoty se mohou měnit. Vyšší hodnota může znamenat diagnostiku glaukomu, je ale nutno pamatovat, že změny na terči zrakového nervu nemusí mít vždy tuhle doprovodnou fázi. [11]

3.4.1.1 Vyšetření zorného pole – perimetrie

Perimetrie je subjektivní oční vyšetření sloužící ke zmapování periferního i centrálního zorného pole. Lze s ním objevit skotomy – výpadky v ZP, dále hodnotit jeho rozsah nebo jakékoli omezení. Změny v ZP nemusí být způsobeny pouze očním onemocněním, mohou je způsobit např. neurologické problémy, roztroušená skleróza nebo nemoci hypofýzy. [20]

K proměření ZP se využívá speciální přístroj – perimetr. Vyšetření může probíhat dvěma způsoby, kineticky nebo staticky. V obou případech probíhá metodika vyšetření na stejném principu, pacient je vyzván k monokulární fixaci jednoho bodu, umístěného ve středu jeho ZP (při přímém pohledu před sebe). V periférii jeho ZP jsou zobrazovány světelné body a on lékař sděluje, zda je vnímá, či ne. Následně jsou tyto záznamy vyhodnoceny. [20]

Méně přesná, a dnes už spíše orientační, je kinetická metoda. Jedná se posuvnou, otáčivou a převážně kovovou konstrukci, na které jsou v různých osách umístěvány barevné nebo světelné značky. Pacient, fixující stále stejný bod, hlásí vyšetřujícímu, když takovou značku uvidí. Ten si viděné podněty ručně zaznamenává do grafu a poté ho vyhodnotí. Ještě jednodušší variantou kinetického vyšetření je vyšetření pomocí pouhých rukou lékaře, ty nahradí barevné body. Postačí tedy, když pacient hlásí, kdy ruce lékaře, které slouží v tomto případě jako podněty, ještě vidí, a kdy už ne. Tato metoda bez použití jakéhokoli přístroje slouží opravdu spíše jen jako orientační. [20, 22]

Försterův perimetr

Jedná se o nejstarší typ přístroje. Je sestaven z kovového půlkruhového oblouku, širokého asi 5 cm. Pacient je fixován pomocí bradové opěrky ve vzdálenosti 33 cm od tohoto oblouku a dívá se na značku umístěnou ve středu pásu. Vyšetřující po obvodu oblouku, z periferie do středu a naopak, pohybuje upevněnými tyčinkami s různě barevnými testovacími značkami o různém průměru a pacient oznamuje lékaři, když značky vidí, či naopak kdy už ne.

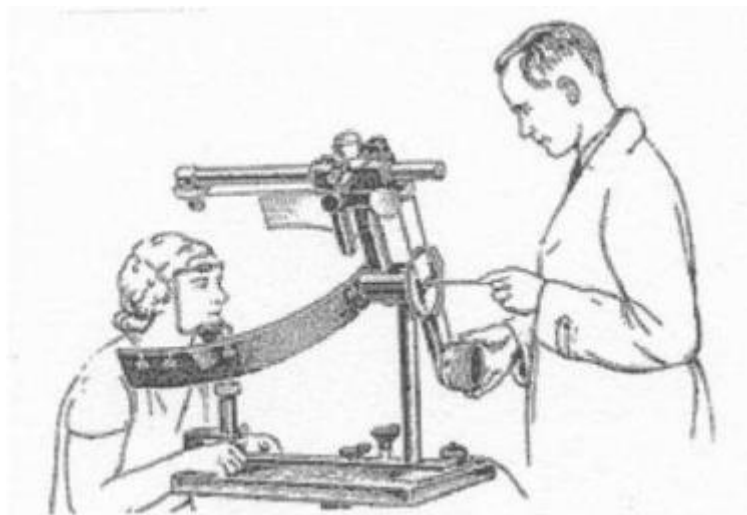
Tento typ již v podstatě patří mezi archaického přístroje. Měla jsem zcela nečekanou možnost si ho prohlédnout v kolínské nemocnici, kam jsme byli vysláni v předešlých letech na praxi.

U pacientů, kteří nejsou schopni pohybu a jsou upoutáni na lůžko, se využívá obdobná konstrukce o menších rozměrech a s rukojetí namísto stojanu. [23, 24]

Projekční Maggioreův perimetr

Jedná se o vzhledově podobně vypadající přístroj jako Försterův perimetr, jako fixační značku však využívá kříž s možností změny intenzity. Testovací body jsou promítány na elektricky osvětlený půlobloukový pás široký 10 cm, v rozmezí sto stupňů na každou stranu. Součástí přístroje je i registrační zařízení sloužící pro záznam dat do již předtištěných grafů (obr.3.1).

[24, 25]



Obr. 3.1: Projekční Maggioreův perimetr [26]

Goldmannův projekční perimetr

Nejnovější typ kinetické perimetrie zastupuje Goldmannův projekční perimetr (obr.3.2). K projekci světelných bodů, u kterých lze obdobně měnit intenzitu a velikost, využívá dutou sférickou bílou polokouli. Pro co nejlepší udržení stálé pozice hlavy, tedy i oka, pacientovi napomáhá mimo bradové opěrky i opěrka čelní (stejný fixační systém lze nalézt u většiny dnešních optických přístrojů, jako je např. šterbinová lampa nebo autorefraktometr). Jako kontrola správné a stálé fixace oka slouží dalekohledový systém, který je součástí perimetru. Střed zornice oka je stále v centru dalekohledové soustavy. [24, 25]



Obr. 3.2: Goldmannův perimetr-OCULUS Twinfield® 2 [30]

Při průběhu asi dvacetiminutového vyšetření by měla být místnost ztemnělá. Světelným bodem se přibližujeme z periferie do středu polokoule a místo, kde pacient značku zaznamená, označíme v papírovém schématu.

Daleko méně časově náročné, a především přesnější, je statické vyšetření ZP. Tato metoda využívá počítač. Pacient je usazen rovněž před polokoulí s průměrem o velikosti 33 cm, kde jsou mu nepravidelně, kvůli možné adaptaci sítnice, promítány světelné body, které se nepohybují. Úkolem vyšetřovaného je zmáčknout tlačítko, které má vloženo v ruce a které je propojeno s přístrojem, vždy, když bod spatří. Nasbíraná data si pak přístroj sám vyhodnotí a zaznamená do grafu. Méně citlivá místa na sítnici jsou znázorněna různými odstíny šedé a úplný skotom pak barvou černou. Mimo barevné odlišení zmapování ZP přístroj dále umožňuje porovnání jednotlivých míst sítnice s průměrnou hodnotou dané věkové skupiny. Pokud je tedy před zaznamenaným číslem záporné znaménko, znamená to, že daný bod má pro hodnotu tohoto čísla lepší citlivost než norma v jeho věkové skupině. [26]

Jednou z výhod tzv. počítačové perimetrie je zobrazení 3D mapy ZP. Ta vzniká díky grafu, který na své ose x udává vzdálenost vyšetřovaných bodů od centra ve stupních a na ose y je zobrazena naměřená hodnota prahu citlivosti v kandelách. Neméně využívanou předností je pak možnost zvolení měřicího programu podle výběru sledované oblasti – periferie, centrální část v rozmezí 30°, nebo dokonce typu onemocnění. To vyšetřujícímu velmi usnadní následné vyhodnocení. [26]

Samozřejmě i tento daleko dokonalejší způsob měření má v sobě zabudovanou kameru pro kontrolu fixace oka. Pokud se tedy oko uchýlí jiným směrem, nebo v době stimulu dojde k mrknutí, kamera to zaznamená a počítačový program dostane pokyn daný stimul, stejnou testovou značku, zopakovat. [26]

Vyšetření trvá několik minut a je prováděno monokulárně. V případě potřeby pacientovy korekce do blízka je možno předsadit do zkušební objímky korekční čočku, v případě nasazené vlastní kontaktní čočky si ji pacient smí ponechat. [22]

Existují různé faktory, které mohou celkové výsledky obecné perimetrie více či méně zkreslit, až znehodnotit. Jedná se jednak o anatomické nedostatky, např. šířka zornice, omezená transparentnost optických medií nebo případná nekorigovaná refrakce. Dále mohou k nepřesnosti přispět další vedlejší faktory – únava, nepozornost, motivace, postoj klienta k probíhajícímu vyšetření nebo samotné porozumění testu. [21]

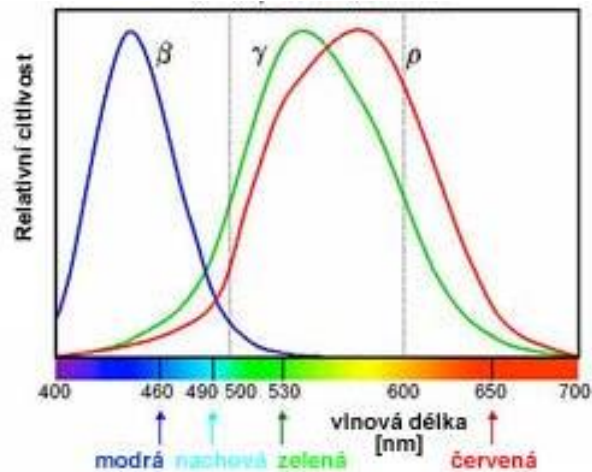
Následující popsané techniky perimetrie souvisí se sítnicovými elementy. Gangliové buňky sítnice rozdělujeme na parvocelulární a magnocelulární. [26]

Parvocelulární buňky, umístěné především v centrální oblasti sítnice, mají za úkol analyzovat vysokofrekvenční signály promítaného kontrastu. Díky nim je docíleno vysoké kontrastní citlivosti, prostorové rozlišitelnosti, a především barevného vidění. [26]

Druhým typem gangliových buněk jsou buňky magnocelulární. Vyskytují se spíše v periférii a starají se o zpracování nízkofrekvenčních signálů promítaného kontrastu. Ve srovnání s buňkami parvocelulárními se charakterizují přesně kontrastními vlastnostmi, navíc jsou schopny rychlé časové rozlišitelnosti a citlivosti na stereoskopické vidění. [26]

Dalším důležitým parametrem pro vyšetření perimetrie je barevné vidění, přesněji spektrální citlivost jednotlivých druhů čípků (obr. 3.3). To zajišťuje fotoaktivní pigment iodopsin, který je v čípkách obsažen. Rozlišujeme tři druhy tohoto pigmentu a následně podle tohoto dělení i tři druhy čípků s odlišnou citlivostí na různý rozsah vlnových délek světla:

- modré čípky s maximem citlivosti kolem 440 nm (4 % z celkového počtu),
- zelené čípky s citlivostí 540 nm (32 % z celkového počtu),
- červené čípky s citlivostí 570 nm (64 % z celkového počtu). [30]

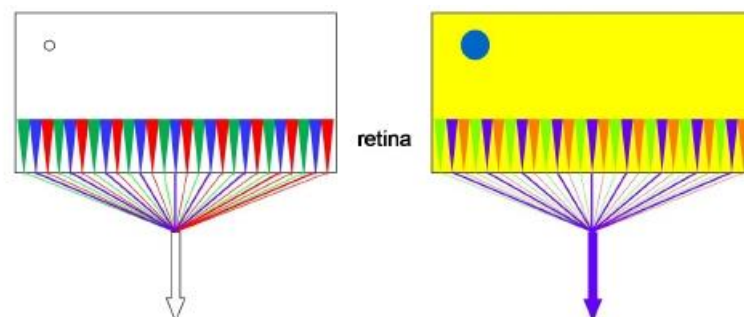


Obr. 3.3: Relativní citlivost čípků + nastínění viděných barev [29]

SWAP – Modro-žlutá perimetrie (blue-on-yellow)

SWAP využívá dvoubarevný prahový systém sloužící k zhodnocení funkčního stavu mechanismů citlivých právě na krátkovlnnou délku. Díky této proceduře lze odhalit změny na sítnici způsobené např. glaukomem daleko dříve (o tři a více let), než při vyšetření standardní metodou bílá na bílé. Důvodem této výhody je daný fakt, že glaukom poškozuje barevné vidění v oblasti modré, modrožluté a modrozelené části spektra. Již z názvu vyplývá, že tato metoda testuje pouze parvocelulární gangliové buňky. [29]

V praxi si lze představit používanou modrou testovací značku sloužící jako podnět, na žlutém pozadí (obr.3.4). [26]



Obr. 3.4: Znárodnění klasické bílobílé perimetrie vs. perimetrie SWAP [29]

Flicker perimetry (FP)

Jedná se o blikající podněty vysílané pacientovi do jeho zorného pole. Je známo, že schopnost rozeznat přerušované světlo a tmavé střídání vizuálního podnětu v periférii klesá. Totéž se děje i u oka postiženého glaukomem. Glaukomové oko rozeznává, nebo vůbec nerozeznává, blikající světelné podněty. Flicker perimetrie je tedy považována za dostačující k odhalení tohoto onemocnění a následnému sledování jeho progresu. [31]

Frequency-doubling technology perimetry (FDP)

Při této metodě vyšetřovaný sleduje sinusoidální pruhy o velikosti 0,25 cyklu na stupeň pohybující se rychlostí 25 Hz. Pruhy se mění z pozitivního obrazu na negativní a probíhají v různých oblastech zorného pole pacienta. Ten má za úkol zareagovat na změnu jejich intenzity, která se nepravidelně mění. Vyšetřovací metoda je založena na velikostech struktury a pohybu, které vytvářejí sledovaný objekt, a na citlivosti na kontrast. Zorné pole se zde vyšetřuje do 20°. [26, 32]

Mikroperimetrie

K vyšetření pomocí mikroperimetrie je zapotřebí spolupráce více přístrojů, pomocí kterých se kombinuje subjektivní počítačové zobrazení a objektivní obraz sítnice. Mikroperimetr je tedy složen z digitální nemydriatické fundus kamery, ta má za úkol zobrazovat snímky očního pozadí pomocí infračerveného světla a následně vyhodnotit pomocí 45° snímků, a z fundus related perimetrie, pro zjištění citlivosti ZP v místě patologie. Další důležitou součástí je perimetr se screeningovou a prahovou strategií. Na něm lze vybírat z testů kinetických, semiautonomních, statistických a peripapilárních. Perimetr má plochu o velikosti 44 x 36 stupňů, na které může být umístěno až 90 stimulů, lze i individuálně nastavit polohu, tvar, počet, barvu nebo dobu trvání stimulu a v neposlední řadě i velikost, barvu, tvar a polohu pozadí fixačního terče. [26]

Mikroperimetr dokáže eliminovat nepřesnosti, ke kterým dochází ztrátou fixace, díky monitoraci polohy oka a případnému posunutí vyšetřovaného bodu ZP potřebným směrem. [26]

Vyšetření mikroperimetrem je přibližně 3x rychlejší než u klasické metody perimetrie. [26]

Vyhodnocení testu

Ke konečnému vyhodnocení testu slouží tři různé statistické indexy.

Index HoV věkového normálu (Hill of Vision – kopec vidění**)**

- HoV je založen na třech daných věkových skupinách obyvatelstva určených pro konkrétní perimetr. Věkové skupiny jsou rozděleny následovně:

1–45 let

46-60 let

61 let a více

Tento typ statistického indexu vyjadřuje prahovou hodnotu vidění v závislosti na dané vzdálenosti od středu. Výsledek se uvádí jako lineárně klesající parametr osvětlených značek v dB/10° (sklon) a jako úroveň 3° při excentricitě.

Př. HoV

Sklon: 4,5 dB/10°

Úroveň: 28,5 dB

Z toho lze odvodit, že při 3° vzdálenosti od středu je průměrná prahová hodnota vyšetřovaného 28,5 dB. S každými dalšími 10° vzdalujícími se od středu tato hodnota o 4,5 dB klesá. Takže např. při 30° by úroveň HoV klesla na 19,5 dB ($28,5 - 4,5 \times 2$). [27, 28]

Index OD (Overall Defect – celkový defekt)

- Celková porucha je dána průměrným rozdílem mezi hodnotou HoV odvozenou od pacienta nebo střední odchylky a hodnotou věkové normy HoV. Pokud jsou hodnoty kopce vidění vzaté od pacienta s nižší věkovou normou, pak dosahuje OD záporných hodnot. Závažnost defektu se dále značí až třemi hvězdičkami, dle míry 1-3. [27, 28]

Index PD (Pattern Defect – vzorový defekt)

- Jedná se stupeň soustředění (shlukování) a závažnosti defektů. Charakteristicky vystihuje míru prostorové korelace a shlukování odchylek. PD je založen na prostorové korelaci a je měřítkem shlukování a hloubky defektů.

Je to měřítko vypovídající o výsledku ukazujícím HoV odchylky, na stupnici popisuje následek zjištěné odchylky HoV konkrétního bodu a bodů s ním sousedících. Určuje rozsah, ve kterém jsou odchylky prostorově korelovány nebo shlukovány.

Umístění hodnot HoV v zorném poli více či méně náhodně značí nízký index PD. Naopak hromadění několika těchto hodnot defektů na jednom místě pak zapříčiní nárůst vzorového defektu. I poruchy PD se značí hvězdičkami, podle stupně důležitosti. [27, 28, 42]

- Právě tento index vzorového defektu je důležitý pro porovnání strukturálních a funkčních změn na sítnici zjištěných u pacientů postižených glaukomem.

3.4.2 Metody zjišťující strukturální změny u glaukomu

K zobrazovacím technikám v oblasti oční optiky se řadí HRT, GDx a OCT. Umožňují nám získat objektivní a kvantitativní údaje o vrstvách nervových vláken a hlavě optického nervu. Pro každou z těchto metod je používán speciální přístroj, který pracuje na specifickém principu a zaznamenává různé části sítnice. Všechny typy přístrojů využívají soubory vyhodnocovacích programů. Díky nim pak lze provést srovnání s normativní databází a s předchozím měřením. Hlavní využití zobrazovacích technik slouží je ke sledování progresu nemoci (glaukom). Vyšetření je rychlé, pohodlné a většinou jednoduché, nezatěžuje tak nijak ani pacienta, ani vyšetřujícího. Výsledky by měly být analyzovány na základě klinických údajů. [11, 16, 17]

HRT II = Heidelbergský retinální tomograf

Zástupcem skenovací laserové oftalmoskopie je laserový skener, který měří odražené světlo laseru od vyšetřované struktury, v tomto případě terče zřetivého nervu a jeho okolí. K posouzení stavu struktury v prostoru je využíván konfokální efekt – není zachycováno celé světlo odražené z jednoho bodu sítnice, ale pouze od jedné roviny. [11, 16, 18]

Laser o vlnové délce 670 nm vysílá paprsek směrem k ose x a ose y – horizontální a vertikální rozměry, dále kolmo k ose z – osa podél optického nervu. Odražením tak vzniká dvourozměrný snímek. Tyto snímky jsou následně pospojovány tak, aby vytvořily trojrozměrný obraz. V tloušťce 1 mm lze provést 32 transaxiálních laserových skenů (v nižší tloušťce až 64). [11, 16, 18]

Konfokální mikroskopie nabízí ve srovnání s konvenční optickou mikroskopií četné výhody, jako jsou kontrolovatelná hloubka ostrosti, eliminace informací o deformaci obrazu mimo ohnisko nebo schopnost sériově shromažďovat optické snímky silných vzorků. Hlavní

složkou konfokálního způsobu je prostorové filtrování. Jedná se o eliminaci světla nebo zaostření mimo ohnisko ve vzorcích, které jsou silnější než rovina zaostření. [18]

GDx = analyzátor nervových vláken

Využívá polarizační vlastnosti sítnice a díky tomu dokáže změřit tloušťku vrstvy retinálních nervových vláken (peripapilární RNFL). Po dopadu polarizovaného světla o vlnové délce 780 nm na povrch s pravidelnou strukturou, dojde k rozdělení paprsku na dvě k sobě kolmé roviny. Jejich rychlost je různá, ale rozdíl těchto rychlostí náleží tloušťce vrstvy nervových vláken. Dochází tedy k odeslání laserového paprsku na zadní sítnici a následně k vyhodnocení změny polarizace odraženého paprsku. Tohle zpomalení paprsku je způsobeno dvouřetězcovými vlastnostmi neurotubulů, které jsou součástí axonů gangliových buněk sítnice. Vytvoří se obraz peripapilární sítnice a optického nervu o vysokém rozlišení 256 x 256 pixelů. [11, 16, 18]

Při každém skenování vznikají tři sériové snímky. GDx měří tloušťku nervových RNFL v celém záběru, ale pravá tloušťka RNFL je určena pro dvojitý hrb (= grafický obraz tloušťky RNFL kolem optického nervu) podél kružnice o průměru 3,2 mm se středem disku – výpočetní kruh. Dvojité hrb je normově nejtlustší ve svém horním a dolním pólu. Některé parametry jsou prezentovány pouze z výpočetního kruhu, ale indikátor nervových vláken, který představuje právě pravděpodobnost ztráty RNFL u glaukomu, vychází z celé mapy tloušťky. Celkové měření je dále srovnáváno s normativními daty, a tak se zpřesňuje průběh určení výsledku. [18]

3.4.2.1 OCT – Optická koherentní tomografie

Optická koherentní tomografie je bezkontaktní, neinvazivní, transpupilární zobrazovací diagnostické vyšetření. Díky ní lze prozkoumat jednotlivé příčné řezy sítnicí s vysokou rozlišovací schopností zajištěnou menším rozptylem. OCT lze využívat i v jiných oborech, než je oftalmologie. Je možno provádět řezy např. tenkou vrstvou kůže nebo sliznice, povrchem zubu, či díky nim diagnostikovat onemocnění koronárních tepen. Řezy jsou provedené ve trojrozměrném zobrazení a lze tedy s nimi libovolně otáčet. [35, 36]

Používá se ke zmapování a sledování změn na sítnici a zrakovém nervu. OCT je velmi využívané právě u glaukomu a dále např. u věkem podmíněné makulární degenerace, nádorových onemocnění oka nebo různých otoků sítnice vzniklých především následkem

diabetu. OCT může poskytnout kvantitativní informace o patologii sítnice, jejíž sledování je důležité k odhadu progresu onemocnění, jako je např. glaukom nebo makulární edém vzniklý díky diabetické retinopatii. Největší předností OCT oproti ostatním vyšetřujícím metodám sítnice je, že dokáže diagnostikovat již počáteční stavy nemoci daleko dříve, než se objeví její fyzické příznaky a s nimi nenávratná ztráta vidění. [35, 38]

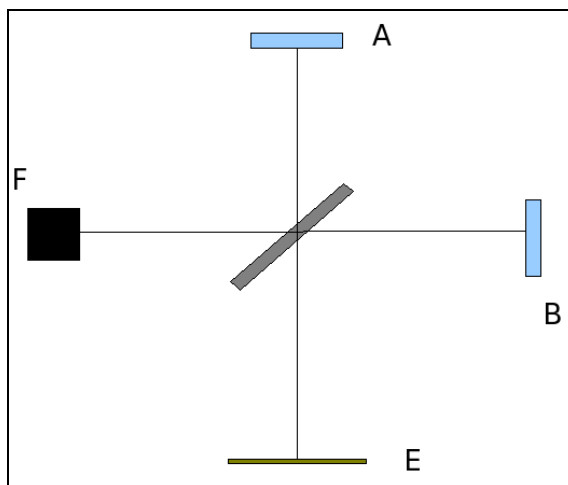
Jak už z názvu vyplývá, metoda OCT je založena na interferenci nízko-koherentního optického záření s vlnovou délkou blízkou oblasti infračerveného záření (600 až 1300 nm). Tento typ záření s větší vlnovou délkou snáze proniká hlouběji do zkoumané tkáně. Pro představu se jedná přibližně o 1 až 3 mm hloubky. Světelný paprsek si lze představit, jako by byl složený z jednotlivých krátkých optických impulsů. Důležitá není pouze délka spektra, ale také jeho šířka, která dosahuje až 100 nm. Šířka spektra ovlivňuje hloubkové rozlišení, kterého lze v současné době v tomto případě dosáhnout 1 až 15 μm . [36, 38]

Jako zdroj záření se nejčastěji využívají femtosekundové lasery nebo superluminiscenční LED diody. [36]

Princip OCT lze přirovnat k ultrazvukovému zobrazování. I když hloubka zobrazení není tak hluboká jako u ultrazvuku, má OCT více než 10-100 krát jemnější rozlišení než klasický ultrazvuk. Při představě postačí nahradit mechanické vlny optickým zářením. Vzhledem k tomu, že optické záření má daleko vyšší rychlost, rychlost světla ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$) než mechanické vlny využívané u ultrazvuku (1540 m/s), je nutno při měření časového zpoždění vln využít interferometrickou nebo korelační techniku. Časová zpoždění se světlem jsou extrémně rychlá. Výsledek interference s nízkou koherencí je roven dráhovému rozdílu dvou světelných vln, a tak lze pak výsledek určit pomocí rozdílu drah vlnami uraženého. Měření je tedy založeno na určování velikosti odrazů a časového zpoždění vln odražených v různé hloubce tkáně v daných časových úsecích. Dalo by se také říci, že interferometrie měří časové zpoždění ozvěny a intenzitu zpětného rozptýleného světla ve srovnání se světlem, které prošlo již známou délkou a časovým zpožděním. [36, 38]

Příkladem vyšetření OCT za použití interferometrii se provádí za pomoci Michelsonova interferometru (obr. 3.5). První překážkou pro světlo ze zdroje se stává rozdělovač paprsků, tzv. beam splitter neboli polopropustné zrcadlo umístěné pod úhlem 45° uprostřed přístroje. Ten paprsek světla rozdělí na dva odlišně jdoucí paprsky. Jeden paprsek poté dopadá na snímáný vzorek díky umístěnému zrcadlu a druhý přejde na vztažnou cestu s časovým zpožděním a proměnnou délkou dráhy. Světlo, které se šíří nazpět od vzorku, se střetává

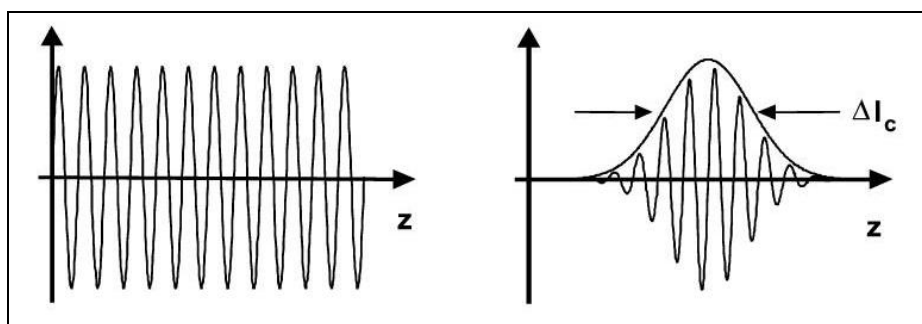
s odraženým světlem z vtažného ramene a je detekováno u výstupu interferometru fotodetektorem. Zjednodušeně řečeno, paprsek vyšlý ze zdroje světla se pomocí rozdělovače paprsků rozdělí na dva na sebe kolmé paprsky, každý z nich si jde svou cestou, než narazí na zrcadlo, od kterého se odráží zpět a polopropustným zrcadlem jsou směřován přímo k detektoru. [38]



Obr. 3.5: Zjednodušené schéma Michelsonova interferometru [39]

(F – zdroj světla, A – vztažná cesta/zrcadlo, B – vzorek, E – detektor u výstupu interferometru, + beam splitter pod $\approx 45^\circ$)

U krátkého pulzního světla, nebo za použití nízké koherence, dojde právě k interferenci odraženého světla od vzorku a vztažné dráhy pouze za podmínky, že se dvě délky dráhy rovnají samotné délce koherence světla (obr. 3.6). [4]



Obr. 3.6: Zobrazení vlnových délek vysoko-koherentního světla (A) a nízko-koherentního světla (B) [4]

K provádění řezů tkání lze dojít dvěma způsoby, podle toho rozlišujeme optické koherentní tomografie fungující na časové – TD OCT nebo frekvenční - FD OCT oblasti. [36]

TD OCT (Time Domain)

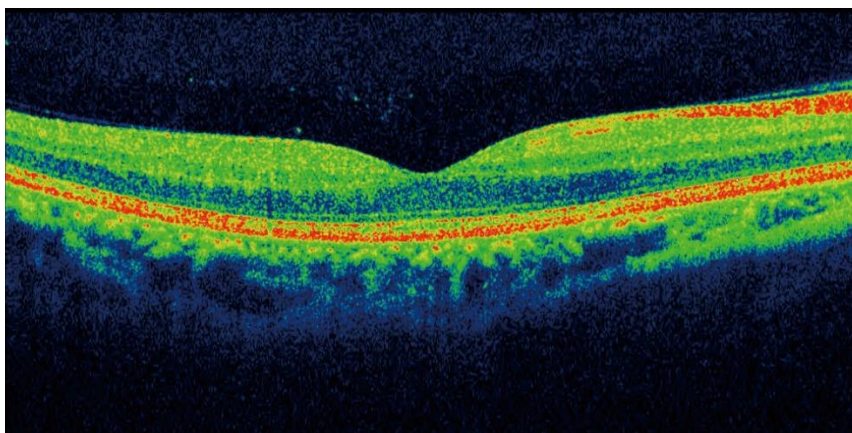
Při tomto měření dochází během skenování k posunu referenčního zrcadla o danou vzdálenost. Nevýhodou je časová náročnost skenování vzhledem k tomu, že přístroj mapuje každou hloubku tkáně zvlášť a postupně. [36]

FD OCT (Frequency Domain)

Zde jsou obrazy z různých hloubek detekovány současně jako tzv. interferenční spektrum. To lze získat postupnou změnou spektra zdroje světla (laser s nastavitelnou vlnovou délkou), nebo díky difrakční mřížce a lineárnímu poli fotodetektorů. Technika FD OCT je daleko rychlejší a vyniká lepší citlivostí než technika využívající posuvné referenční zrcadlo. [36]

OCT provádí mnoho jednorozměrných skenů, které skenují míru odrazu v závislosti na tkáňové hloubce, a následně z nich vzniká dvourozměrný příčný řez tkání. Během pouhých 2 sekund je schopno provést více než 30 tisíc individuálních skenů. Tvorbu obrazů lze provádět *in situ* nebo v reálném čase, tedy aniž by bylo nutné zpracovávat vzorek. Zobrazení v reálném čase také umožňuje provádění chirurgických zákroků za použití OCT, což je obrovská výhoda. Z celkového vzniklého souboru příčných řezů pak lze zhotovit právě i řez trojrozměrný. [36, 38]

Popis struktury tkáně je dán tvarem interferenčního signálu, který také mapuje místa, kde se měřicí paprsek přístroje odrazí od dané tkáně. V jaké velikosti se světlo zobrazí na měřené tkáni určuje, o jaký typ tkáně se jedná. Ve výsledném vyobrazení se pak místa s nízkou odrazivostí promítnou do tmavých barev (modrá, černá) a naopak místa s vysokou odrazivostí jsou znázorněna světlými, jasnými barvami (bílá, červená) – viz. obr. 3.7. [36, 37]



Obr. 3.7: Zobrazení místa nejostřejšího vidění (makuly) pomocí OCT [37]

Největší nevýhodou zobrazování OCT je, že světlo je rozptylováno většinou biologických tkání. Proto je nejvíce používané právě v oftalmologii, kde většina tkání, kterými musí paprsek projít, je víceméně průhledných. V jiných oborech tato nevýhoda omezuje hloubku průniku na 2-3 mm. [38]

3.5 Nejčastější změny u glaukomu s otevřeným úhlem

3.5.1 Funkční změny

Při glaukomovém onemocnění dochází ke změnám v zorném poli. Tyto změny jsou následkem úbytku gangliových buněk sítnice a jejich axonů, což je podstatná charakteristika právě ohledně funkčních změn. Pacient začne rozeznávat nedostatečnosti v zorném poli až při ztrátě přibližně 30 % gangliových buněk, a proto nelze mnohdy s přesností diagnostikovat onemocnění v rámci časné diagnostiky. [16]

Funkční změny lze vyšetřit různými metodami. Radíme mezi ně metody psychofyziologické, elektrofyziologické a metody morfologické, které slouží ke zjištění tloušťky vrstvy nervových vláken sítnice. [16]

Psychofyziologické metody:

Citlivost na kontrast: Sítnice lidského oka se skládá ze dvou typů gangliových buněk – parvocelulární (nacházejí se hlavně v centrální části sítnice, díky nim lze barevně rozlišovat podněty, reagovat na podněty s nízkým kontrastem a odpovídají za centrální zrakovou ostrost) a magnocelulární (na periférii sítnice, reagují na rychle se pohybující podněty s vysokým kontrastem). Onemocnění glaukomem poškozuje oba tyto typy a způsobuje poruchu kontrastní citlivosti. [16]

Porucha barvocitu: Největší porucha je v oblasti modré barvy, dále také modrozelené a modrožluté části barevného spektra. [16]

SWAP (Short wavelength automated perimetry), FDP (Frequency-doubling technology perimetry) a FP (Flicker perimetry) byly podrobněji popsány v podkapitole 3.4.1.1 Vyšetření zorného pole – perimetrie.

HPRD (High-pass resolution perimetry): Jde o metodu promítání různě velkých kruhů v padesáti místech v zorném poli do 30°. Nejmenší kruh má velikost 0,8°. Výsledek vyšetření zajistí nejmenší kruh, který ještě vyšetřovaný vidí. HPRD je charakteristická vysokou senzitivitou, a hlavně kratší dobou měření oproti ostatním zmíněným metodám. [16]

3.5.2 Strukturální změny

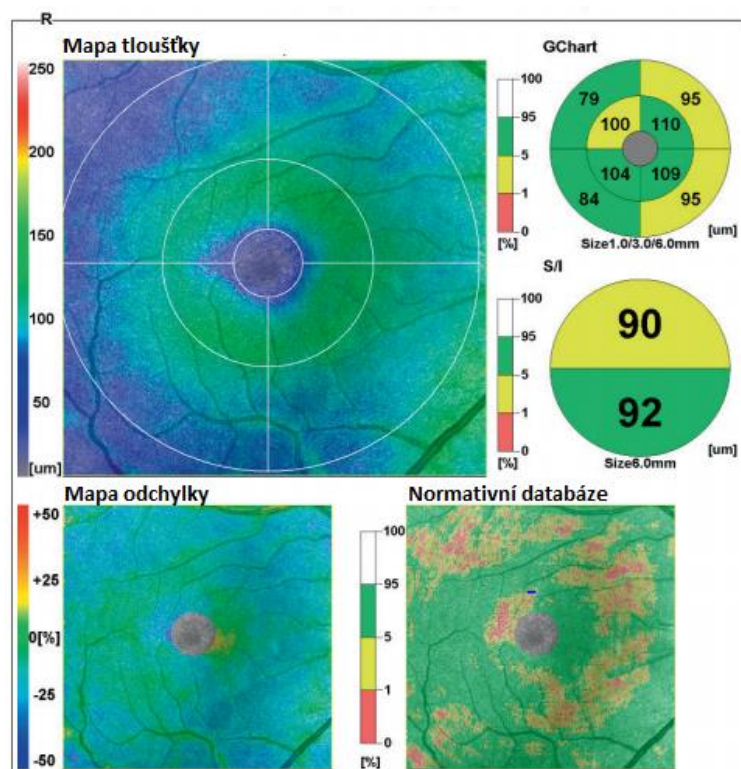
Strukturální změny se týkají poškození sítnice v oblasti GCC. Jedná se o změny, které nejsou rozpoznatelné funkčními vyšetřovacími metodami (perimetrie), ale pouze strukturálními způsoby pomocí přístrojů jako jsou OCT, HRT nebo GDx, zmíněnými výše.

K poškození synapsí gangliových buněk při počínajícím glaukomu dochází daleko dříve, než se změny stihnou projevit v nedokonalostech a odlišnostech zorného pole. Díky strukturálním vyšetřovacím metodám tak lze onemocnění odhalit včas a včas proti němu zakročit.

Gangliové buňky sítnice mohou být poškozeny dvěma způsoby: axotomií (oddělení retrobulbárního optického nervu; ztráta zásobení) nebo zvýšeným nitroočním tlakem. Nejdříve dojde následkem štěpení mitochondrií k poškození dendritického obalu. Následně umírá buněčné tělo. Studie dokazují, že nejprve dochází ke ztrátě mikrotubulů uvnitř axonu (zjištěno na GDx skenování) a až poté případně dochází k fagocytóze celého samotného axonu. Na snímcích pořízených OCT se tento jev detekuje jako tzv. ředění RNFL (nervová vlákna). [4]

Všechny dostupné přístroje sloužící pro skenování GCC jsou zaměřeny na foveu a snímají obraz o průměru 6-9 mm v závislosti na možnosti nastavení softwaru. Výsledky je pak možno zobrazit jako absolutní tloušťku GCC, nebo je porovnat s normativní databází (viz Obr. 3.8). [4]

Průměrná tloušťka celého GCC se pohybuje od 95 do 100 mikrometrů. Pomocí progresivní analýzy tak lze sledovat, zda nedochází k postupnému ztenčování vrstvy. [4]



Obr. 3.8: GCC sken provedení přístrojem NIDEK RS3000 (popisky přepsány) [4]

Z přiloženého záznamu z OCT lze vyčíst základní poznatky skenování. Přístroj zaznamenával oblast v okolí 6 mm kolem makuly. Tloušťka GCC je odstupňována pomocí barev a znázorněna jak v mikrometrech, tak v procentech. Ze skenu mapy tloušťky je zřejmé, že nejsilnější je vrstva v okolí makuly, naopak v jejím centru a v periferii nasálně tloušťka silně klesá. Mapa deviace znázorňuje v procentech, o kolik se liší (jestli je vyšší, či nižší) naměřená tloušťka od normativních dat. Normativní databáze udává, na kolik procent se naměřená tloušťka shoduje s normou.

4 Experimentální část

4.1 Úvod

V experimentální části bakalářské práce jsem se zaměřila na určení možné korelace mezi strukturálními a funkčními změnami na očích u pacientů s glaukomem. Strukturální změny (GCC a RNFL) a funkční perimetrické změny byly u každého oka měřeny dvakrát v časovém rozpětí jednoho roku. Výsledky měření zkoumaných parametrů byly mezi sebou porovnány. Statistickou analýzou výsledných dat byla ověřována platnost stanovených hypotéz.

Hypotéza H1: Úbytek tloušťky vrstvy GCC přímo úměrně koreluje s úbytkem tloušťky vrstvy RNFL v daném časovém úseku.

Hypotéza H2: Předpokládá se, že dojde-li k úbytku tloušťky jedné z vrstev, tento pokles se projeví na perimetrickém vyšetření, tedy na poklesu komplexnosti zorného pole pacienta.

Hypotéza H3: Jednotlivé hodnoty nitroočního tlaku korelují s naměřenými hodnotami Pattern Defektů ve stejném časovém úseku.

K potvrzení či odmítnutí výše uvedených hypotéz bylo provedeno vzájemné porovnání naměřených hodnot získaných při prvním a druhém měření. Cílem bylo sledování korelace změn mezi tloušťkou vrstvy GCC a vrstvy RNFL a hodnot NT s Pattern Defektem.

Výzkum mé bakalářské práce se týkal detailního vyšetření 25 pacientů, kteří byli sledováni na ambulanci Privátní oční kliniky JL v Praze 5 - Nové Butovice po dobu jednoho roku. Z důvodu nesprávného naměření jedné hodnoty u pravého oka jednoho pacienta bylo nutno toto oko z hodnocení vyřadit. Do zkoumaného souboru je proto zahrnuto 49 očí u 25 pacientů.

4.2 Metodika výzkumu sledovaného souboru

U každého pacienta zkoumaného souboru byla zjištěna základní charakteristická data při vstupním vyšetření: pohlaví, rok narození, typ glaukomu, korigovaný vízus do dálky a tloušťka rohovky. Tabulka 4.1 uvádí souhrnně základní charakteristiky našeho souboru.

Tabulka 4.1: Pohlaví a věk pacientů zkoumaného souboru

	Pohlaví		Věk		
		%	rozpětí	průměr	sd
M	11	44	44-71	60	10,62
Ž	14	56	42-88	66,14	14,61
M+Ž	25	100	42-88	63,44	13,54

M-muži, Ž-ženy, sd-standard deviation (směrodatná odchylka)

Z tabulky 4.1 vyplývá, že z celkového počtu pacientů je 56 % žen (14) a 44 % mužů (11). Lze tedy konstatovat, že pohlaví jsou téměř vyrovnána. Věkový průměr pacientů se pohyboval kolem 63,44 let, přitom nejmladšímu bylo 44 let a nejstaršímu 88 let. Z tabulky také vyplývá, že ženy v našem výzkumu mají vyšší věk než vybraní muži. Směrodatná odchylka, určující, na kolik se od sebe vzájemně liší jednotlivé hodnoty ve zkoumaném souboru, se pohybuje kolem věku 13,54 let.

Tabulka 4.2 uvádí souhrnně zastoupení jednotlivých typů glaukomu u sledovaných pacientů.

Tabulka 4.2: Typy glaukomu u pacientů zkoumaného souboru

	Typ glaukomu									
	POAG	%	PG	%	PEXG	%	NTG	%	PACG	%
M	4	16	6	24	1	4	0	0	0	0
Ž	11	44	0	0	1	4	1	4	1	4
M+Ž	15	60	6	24	2	8	1	4	1	4

M-muži, Ž-ženy, POAG-primární glaukom otevřeného úhlu, PG-pigmentový glaukom, PEXG-pseudoexfoliativní glaukom, NTG-normotenzní glaukom, PACG-primární glaukom uzavřeného úhlu

Jak z tabulky 4.2 vyplývá, ve zkoumaném souboru se vyskytuje celkem pět různých typů glaukomu. Největší podíl zde má primární glaukom s otevřeným úhlem (POAG) s celkovým počtem patnácti případů, což činí 60 % z celého souboru. S výskytem 24 % (6 očí) je zastoupen pigmentový glaukom (PG). Dále se v souboru vyskytují dva případy pseudoexfoliativního glaukomu (PEXG) a po jednom mají zastoupení normotenzní (NTG) a primární glaukom s uzavřeným úhlem (PACG).

4.3 Výsledky měření vybraných parametrů

4.3.1 Vízus a pachymetrie

Hodnoty naměřeného vízu do dálky u 49 očí 25 pacientů se pohybovaly v rozmezí od 0,5 až po 1,0. V tabulce 4.3 je vypočítána jeho průměrná hodnota, která se téměř blíží vízu 0,9. Lze konstatovat, že díky tomuto zjištění spolu s nízkou hodnotou směrodatné odchylky (0,13), je patrné, že zraková ostrost zkoumaných očí byla velmi dobrá. Je však nutné podotknout, že více jak polovina vyšetřovaných očí docílila tohoto vízu s odpovídající korekcí.

V tabulce 4.3 jsou rovněž uvedena data naměřené tloušťky rohovky pomocí pachymetrie. Tloušťka rohovky má důležitý vliv na správné vyhodnocení NT. Pokud je totiž rohovka silnější nebo tenčí než normová hodnota, která se pohybuje kolem 550 μm , může být výsledný naměřený NT vyšší nebo nižší, než ve skutečnosti je.

Tabulka 4.3: Hodnoty vízu a pachymetrie u sledovaných očí souboru

Hodnocené oči (49)	Vízus	Pachymetrie (μm)
Rozpětí	0,5-1,0	430-422
Průměr	0,88	554,76
Sd	0,13	37,42

sd-standard deviation (směrodatná odchylka)

V našem souboru se naměřené pachymetrické hodnoty pohybují od 430 do 622 μm – průměrná hodnota tloušťky rohovky je 554,76 μm a směrodatná odchylka činí 37,42. Poměrně vysoká hodnota směrodatné odchylky je způsobena dvěma nízkými hodnotami jedné pacientky. Ta v minulosti prodělala laserovou operaci na odstranění vysoké myopie. Díky ní se tloušťka jejích rohovek snížila na nízkých 430 a 433 μm .

4.3.2 Vyšetření GCC a RNFL přístrojem OCT Optovue RTVue

Všechna získaná data týkající se OCT byla naměřena v systému optické koherentní tomografie Optovue RTVue with Normative Database 510(K), který byl uveden na trh pro in vivo zobrazování a měření sítnice, sítnicové vrstvy nervových vláken a optického disku jako pomocná technika k diagnostice a následnému sledování sítnicových chorob. Tento systém je v podstatě kvantitativní nástroj pro srovnávání dat o sítnici, nervových vláknech a optickém disku, naměřených v lidském oku, s již známými normálními subjekty. RTVue with NDB byl

vyroben k používání jako diagnostický přístroj pro pomoc v odhalení a kontrole očních chorob. [40]

RTVue je ve své podstatě počítač kontrolující oftalmologické zobrazování a měřící systém zaměřený na OCT zobrazování a měření zadního segmentu oka. Zobrazování a měření se soustředí na vnitřní limitující membránu, vrstvu nervových vláken, ganglion cell komplex, sítnicový pigmentový epitel, vnější a celkovou sítnicovou tloušťku a optický disk včetně okraje a pohárku. Aktuálním podáním je pro softwarovou modifikaci přidání normativní databáze. RTVue je schopen porovnat naměřená data GCC, RNFL, celkové tloušťky sítnice a optického nervu s přidanou normativní databází (NDB) uloženou v přístroji. Popisovaný systém poskytuje statistické reference o všech možných měřených subjektech a ukládá je mezi již známé normální naměřené subjekty. Následně bude poskytovat analytické informace, které budou moci být využity jako klinický odkaz na pomoc s diagnosou a sledováním očních chorob. [40]

NDB je využívána vyšetřujícími jako pomoc při diagnostice očních patologií. Jedná se o rozčlenění naměřených hodnot ze skupiny normálních, zdravých jedinců. [41]

Pravděpodobné hodnoty (p-hodnoty) jsou přiděleny individuálním měřením na základě srovnání se standardem nebo porovnáním individuálních výsledků. To je provedeno určením, kde je normální rozdělení individuální klesající hodnota, a následným přiřazením dat odpovídající p-hodnotě. Pokud má pacient přesně změřené průměrné hodnoty, mohly by spadat do centra rozdělení a p-hodnoty spojené s tímto měřením by byly 50 %. Přesněji polovina z normálů rozdělení by měla silnější hodnoty a polovina by měla hodnoty slabší. Pokud byla daná pacientova hodnota v porovnání s normálem slabá, může mít p-hodnotu 10 %, což znamená, že 90 % z normálů může mít hodnotu silnější a 10 % z normálů ji může mít slabší. P-hodnota odráží relativní umístění daných dat v NDB. Pokud je p-hodnota velmi nízká, značí to vyšší pravděpodobnost přítomnosti nějaké oční patologie. Pokud je naopak p-hodnota vysoká, znamená to vysokou pravděpodobnost, že naměřená data jsou v normálu, tedy, že se nejedná o žádnou patologii. [41]

P-hodnoty spojené s daným měřením jsou klasifikované softwarem do tří skupin: „within normal limits“ (v normálních mezích), „borderline“ (hraniční) a „outside normal limits“ (mimo normální meze). Pro odhalení glaukomu je právě cílem odhalit výrazné ztenčení RNFL nebo GCC. Statistické konvence udávají normální úbytek tloušťky vrstvy jako p-hodnotu o 5 %. Výsledky s vyšší p-hodnotou, než je 5 %, jsou klasifikované jako „within normal limits“.

Výsledky s nižší než 5 % p-hodnotou jsou pak značené jako hraniční a pro výsledky, které mají p-hodnotu nižší než 1 % připadá označení „outside normal limits“. Pro výsledky s takto nízkou p-hodnotou platí vyšší pravděpodobnost přítomnosti glaukomu u pacienta, kterému byly tyto hodnoty naměřeny. Nicméně pro výsledky spadající do skupiny mimo normální meze nemusí nutně znamenat, že pacient má definitivně glaukom, jedná se pouze o statistické porovnání sloužící jako výpomoc pro klinické rozhodnutí spolu s ostatními dostupnými informacemi. [41]

V mnoha případech mohou být různé naměřené hodnoty ovlivněny některými proměnnými, jako je například věk pacienta. Je známo, že procesem stárnutí organismu dochází k postupné ztrátě gangliových buněk sítnice, a to až o 5 tisíc buněk ročně. To logicky zapříčiňuje ztenčování vrstvy nervových vláken. Mnoho očních chorob souvisí s narůstajícím věkem, a proto může být sledování vztahu dané proměnné k normálnímu stárnutí velmi užitečné pro statistické porovnání s NDB. [41]

Díky NDB je znám celkový průměr obou těchto měřených dat. Pro GCC činí celkový průměr tloušťky této vrstvy 98,28 μm se směrodatnou celkovou odchylkou 9,31. celkový průměr tloušťky RNFL je dán jako 100,82 μm , celková směrodatná odchylka je 8,11. [40]

Tyto hodnoty byly zjištěny právě se zohledněním věku pacienta. Obsahem výzkumu byly čtyři různé etnické skupiny (Afroameričané, Hispánci, Asiati a Kavkazané), jejichž součástí se stávalo 555 očí. Věkové rozpětí zkoumaných osob se pohybovalo od 18 do 82 let, s průměrným věkem 49,42 let. Směrodatná odchylka činila 13,8. [41]

Pro náš výzkum byly důležité průměrné hodnoty GCC a průměrné hodnoty RNFL, které mohly být následně porovnány s normativní databází. Jejich měření probíhalo ve dvou fázích s průměrným časovým rozestupem jeden rok. Pro získání hodnot tloušťky vrstvy gangliových buněk (GCC) byla sledována oblast makuly sítnice, kde je jejich největší koncentrace. Naopak pro získání údajů o tloušťce vrstvy nervových vláken (RNFL) byla podstatná oblast zřetivého nervu. Naměřené hodnoty jsou vyobrazeny v tabulce 4.4.

Tabulka 4.4: Hodnoty GCC a RNFL zjištěné při 1. a 2. měření přístrojem OCT (μm)

	OCT GCC 1.měření	OCT GCC 2.měření	OCT RNFL 1.měření	OCT RNFL 2.měření
min	55,38	59,65	56,77	51,06
max	105,50	106,30	117,60	119,84
průměr	81,73	81,57	87,62	86,38
sd	12,60	12,33	14,08	16,24

*GCC-ganglion cell complex, RNFL-retinal nerve fiber layer
sd-standard deviation (směrodatná odchylka)*

4.3.3 Vyšetření zorného pole přístrojem MEDMONT M700 USB C

Dalším prováděným vyšetřením v rámci našeho výzkumu, jehož měření probíhalo ve dvou fázích s průměrným časovým rozestupem jednoho roku, byla perimetrie prováděná na automatickém perimetru značky Medmont. Jedná se o model MEDMONT M700 USB C vyrobený v Austrálii. [42] Při zpracování dat byl hodnocen Pattern Defekt (PD), který je jedním ze tří statistických indexů získaných při perimetrickém vyšetření.

Zkoumané hodnoty byly naměřeny na softwaru automatického perimetru, který je sestavený jako součást Medmontského integrovaného klinického prostředí zvaného Medmont Studio. Medmont Studio je rozšiřitelný softwarový rámec umožňující kontrolu softwaru pro jiné zdravotnické přístroje. Plně se integruje do samostatných pracovních prostředí. [42]

Automatický perimetr Medmont provádí rychlé a spolehlivé promítání a prahový test vizuálního pole, během celého vyšetření probíhá obsáhlá kontrola a sbírají se detailní informace o celém procesu. Testování zorného pole použitím automatického perimetru může zahrnovat nesčetně druhů různých testů jako jsou např. test pro glaukom, Flicker perimetrie, binokulární a neurologické testování, testování makuly a další. Snadno sledovatelné instrukce umožňují vyšetřujícímu rychle provádět přesné testování zorného pole. [42]

Testování zorného pole obnáší používání technologie statické perimetrie se stimulačními cíli ve formě zadního osvětlení LED, tzv. světelnými body. K testování může být zvoleno ze dvou polí s odlišně barevnými stimuly. Jedna sada je zelená a druhá červená. Správná fixace je monitorována Heijl-Krakau technologií s náhodnými stimuly ve formě prezentace ve slepém místě, nebo používáním nepřetržitého video nahrávání pacientovy duhovky. [42]

Výsledné hodnoty Pattern Defektu se dělí do tří skupin označených hvězdičkami podle závažnosti. Čím vyšší Pattern Defekt, tím větší počet hvězdiček. Pro označování existují přesné číselné normy vyobrazené v tabulce 4.5. [42]

Tabulka 4.5: Vztah mezi Pattern Defektem a počtem hvězdiček [42]

Pattern Defekt	Hvězdičky
$\geq 2,8$	*
$\geq 5,7$	**
$\geq 8,6$	***

V tabulce 4.6 jsou uvedeny průměrné hodnoty, maxima a minima a směrodatná odchylka Pattern Defektu (PD), získané při perimetrickém vyšetření u vyšetřovaných očí našeho souboru.

Tabulka 4.6: Vypočtené hodnoty 1. a 2. měření perimetrie

	Perimetr - 1.měření	Perimetr - 2.měření
min	1,48	1,22
max	20,97	20,59
průměr	4,33	4,62
sd	3,84	4,05

Naměřené průměrné hodnoty byly při prvním měření 4,33, při druhém měření mírně poklesly na 4,62, což svědčí o mírné progresi perimetrických změn v průběhu jednoho roku. Ve zkoumaném souboru se však objevily dvě poměrně nezvykle vysoké hodnoty Pattern Defektu, a to u ženy, která je postižena primárním glaukomem uzavřeného úhlu. Její hodnoty se vyšplhaly nad 20 a jsou zároveň maximem našeho souboru.

4.3.4 Měření nitroočního tlaku přístrojem Canon TX-F Full Auto-tonometr

Posledním důležitým a významným hodnoceným parametrem bylo zjišťování hodnot nitroočního tlaku. Stejně jako u vyšetření OCT a perimetru probíhalo měření ve dvou fázích s průměrným časovým rozestupem jednoho roku, NT byl na každém oku změřen třikrát po sobě.

Ze tří získaných hodnot, naměřených pomocí bezkontaktního přístroje Canon TX-F Full Auto-tonometr, jsme určili průměr a z něj následně odvodili celkový průměr souboru dat, minimum a maximum a směrodatnou odchylku. (viz. tabulka 4.7)

Tabulka 4.7: Hodnoty NT získané při 1. a 2. měření (mm Hg – rtuťového sloupce)

	NT - 1.měření	NT - 2.měření
min	7,67	7,00
max	27,33	21,00
průměr	16,09	14,06
sd	4,58	3,59

NT-nitrooční tlak, sd-standard deviation (směrodatná odchylka)

Výběr sledovaných pacientů z našeho souboru byl proveden s ohledem na efektivitu kompenzace NT v průběhu sledovaného období. V případě neuspokojivé kompenzace byly sledovány případné dopady tohoto stavu na GCC, RNFL a perimetru.

U NT nelze určit jakékoli normativní hodnoty, podle kterých by bylo možno určit, zda už jsou kritické pro vznik např. glaukomu. Každé oko je silně individuální, hodnota, která by byla u jednoho oka naprosto normální a bezproblémová, může u jiného oka způsobit závažné potíže. Pro diagnostiku a případnou progresi onemocnění glaukomem je sice NT považován za nejdůležitější rizikový faktor, jeho naměřenou hodnotu je však nutno posuzovat ve vztahu k dalším důležitým zjištěním, jakými je klinický průběh onemocnění, nálezům na terči zrakového nervu a naměřeným hodnotám strukturálních a funkčních změn na oku.

4.4 Analýza dat a jejich vzájemná korelace

4.4.1 Pattern Defekt a nitrooční tlak

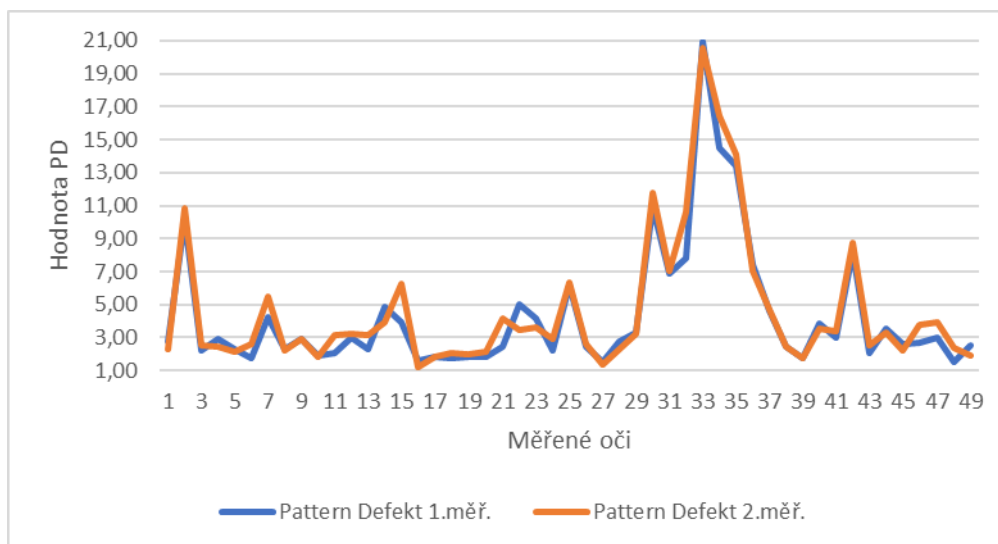
Z celkových průměrných výsledků měřeného Pattern Defektu a hodnot NT uvedených v tabulce č. 8 vyplývá, že ačkoliv se NT ve sledovaném období poměrně výrazně snížil o 12,62 %, došlo naopak ke vzrůstu zkoumaného Pattern Defektu o 6,28 %.

Tabulka 4.8: Průměrné hodnoty Pattern Defektu a NT v období jednoho roku

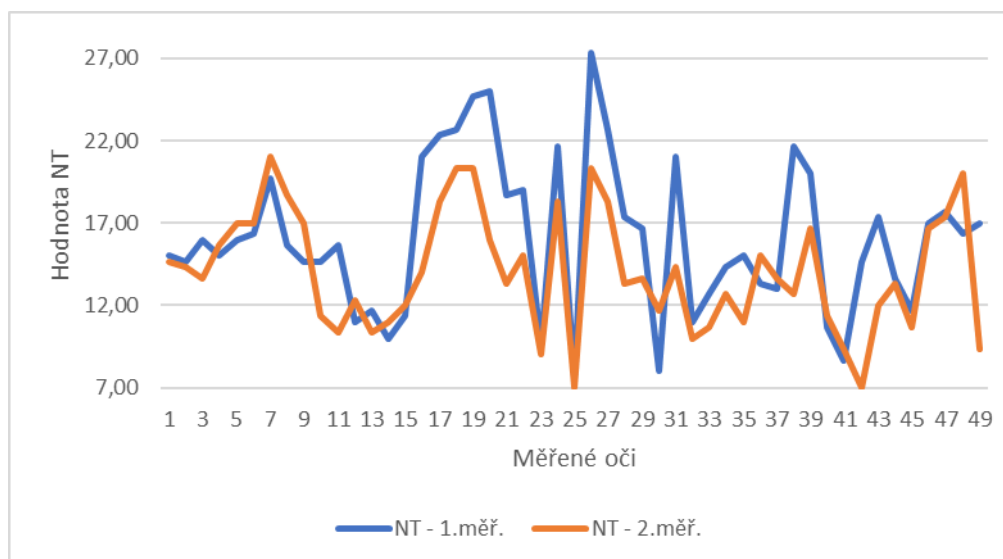
	1.měření	2.měření	Progrese v %
Průměr-PD	4,33	4,62	6,28
Průměr-NT	16,09	14,06	12,62

PD-Pattern Defekt, NT-nitrooční tlak

Na základě tabulky 4.8 a souvisejících grafů (obr. 4.1 a obr. 4.2) je patrný zajímavý výsledek. U většiny pozorovaných subjektů došlo ke snížení hodnot NT při 2. měření, zřejmě vlivem podávané medikace (xalatan, xalacom, carteol, lumigan, betoptic, ...). Tato skutečnost se však nijak neodrazila na stavu jejich zorného pole, neboť ve srovnání se zlepšením NT zůstaly hodnoty PD téměř beze změny.



Obr. 4.1: Porovnání časově odlišných měření PD



Obr. 4.2: Porovnání časově odlišných měření NT

4.4.2 Porovnání časově odlišných měření GCC a RNFL s normativní databází

Pro stanovení odchylky mezi prvním a druhým měřením jsme použili normové hodnoty jednotlivých tloušťek vrstev (GCC a RNFL), které jsou zmíněné v textu již dříve. Tyto hodnoty bylo třeba odečíst od provedených měření každého zkoumaného subjektu.

$$\Delta x.\text{měření} = \text{hodnota } x.\text{měření} - \text{norma}$$

Následně pro zjištění celkového sledovaného rozdílu mezi jednotlivými měřeními bylo nutno od sebe dvě získané odchylky, z prvního a druhého měření, odečíst.

$$\Delta \text{ sledovaného} = \Delta 2.\text{měření} - \Delta 1.\text{měření}$$

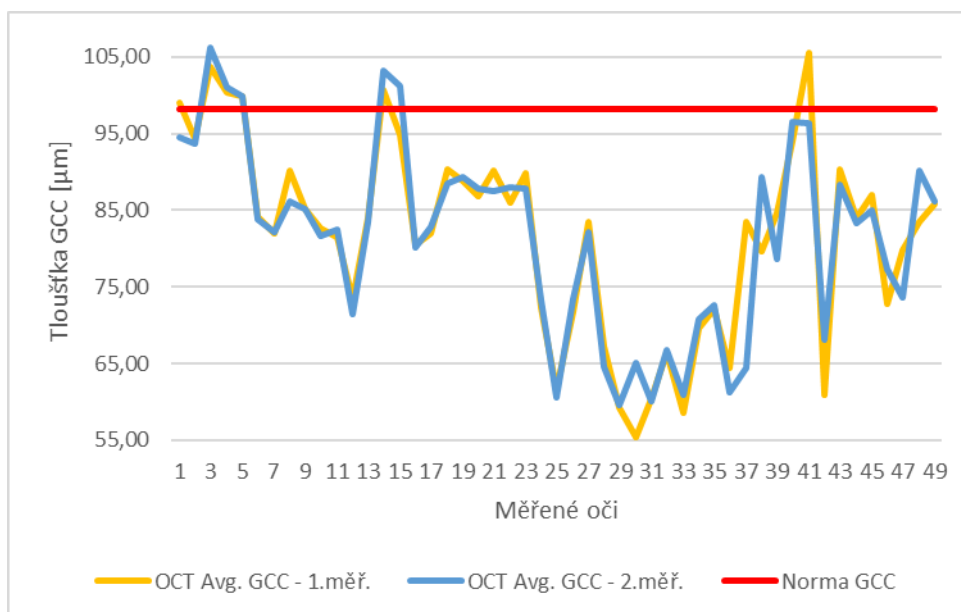
Výsledky statistického zpracování naměřených hodnot tloušťky vrstvy GCC a vrstvy RNFL jsou shrnuty v tabulce 4.9.

Tabulka 4.9: Zhodnocení dat OCT vůči normativní hodnotě

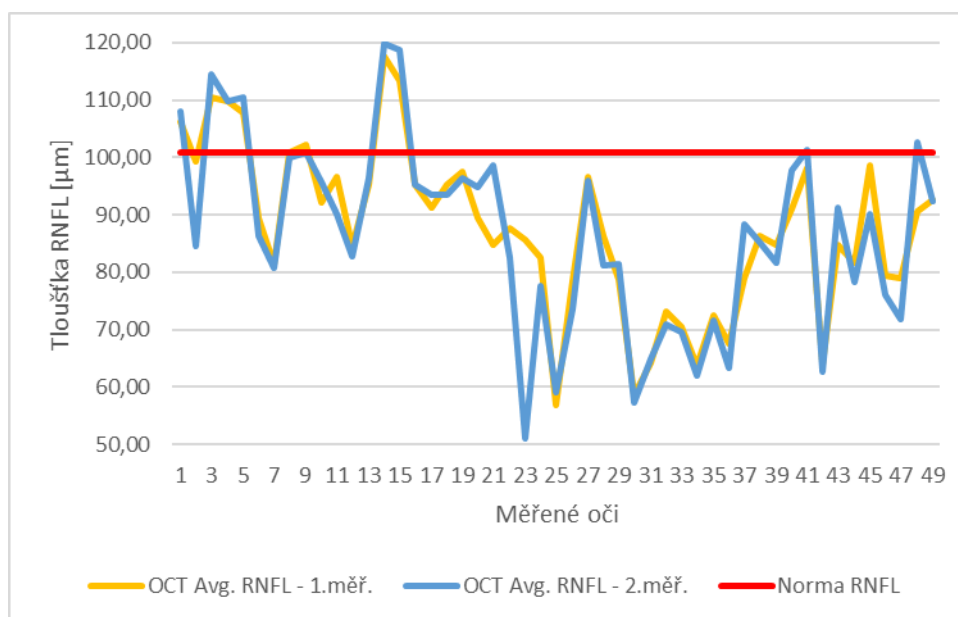
	OCT-GCC		OCT-RNFL	
	1.měření	2. měření	1.měření	2. měření
Norma (μm)	98,28		100,82	
1. a 2.měř. - Norma	-16,55	-19,15	-13,20	-14,04
Δ sled.	-2,60		-0,84	
% Δ sled.	2,65		0,83	

Po statistickém zpracování hodnot týkajících se tloušťky vrstvy GCC a vrstvy RNFL byla zjištěna jen nepatrná progresse mezi prvním a druhým měřením. Získané hodnoty jednotlivých měření vrstvy GCC se průměrně navýšily jen o 2,65 %. U vrstvy RNFL došlo ještě k méně statisticky významnému nárůstu, a to o pouhých 0,83 %.

Dále bylo provedeno porovnání časově odlišných měření GCC (obr. 4.3) a RNFL (obr. 4.4) u jednotlivých subjektů ve vztahu k datům normativní databáze.



Obr. 4.3: Porovnání časově odlišných měření GCC ve vztahu k normě



Obr. 4.4: Porovnání časově odlišných měření RNFL ve vztahu k normě

Z výše zobrazených grafů 4.3 a 4.4 je zřejmé, že většina měřených subjektů nedosahuje hodnoty stanovených norem (GCC 98,28 μm a RNFL 100,82 μm), a to, jak se dalo předpokládat, ani po ročním časovém odstupu dalšího měření, jehož hodnoty se od prvního liší minimálně.

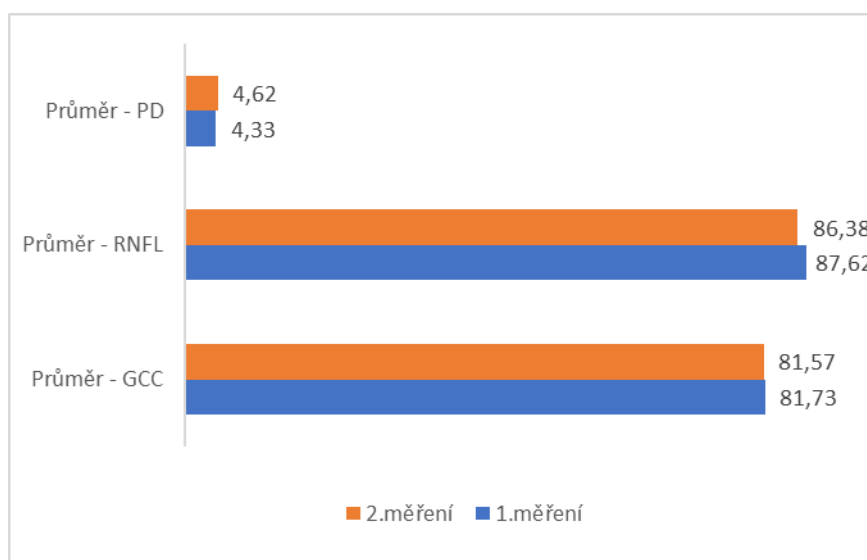
4.4.3 Porovnání časově odlišných měření GCC a RNFL s Pattern defektem

Při sledování změn mezi 1. a 2. měřením u hodnot GCC a RNFL a hodnot Pattern Defektu je zřejmé, že spolu tyto progresivní změny korelují (tabulka 4.10). Během ročního období, které uběhlo mezi dvěma měřeními, došlo ke snížení hodnot průměrné tloušťky GCC i RNFL a zároveň se hodnota Pattern Defektu navýšila, což značí celkové zhoršení perimetrického stavu.

Tabulka 4.10: Porovnání průměrných hodnot GCC, RNFL a Pattern Defektu mezi měřeními

Prům. hodnoty	1.měření	2.měření
GCC	81,73	81,57
RNFL	87,62	86,38
Pattern Defekt	4,33	4,62

Zjištěné výsledky jsou patrné i na níže uvedeném grafu (Obr.4.5).



Obr. 4.5: Porovnání průměrných hodnot Pattern Defektu, RNFL a GCC ve sledovaném čase

5 Diskuse

V první hypotéze jsme měli zjistit, zda úbytek tloušťky vrstvy GCC přímo úměrně koreluje s úbytkem tloušťky vrstvy RNFL v daném časovém úseku, tedy ve dvou na sebe vázaných měřeních. Při porovnání naměřených dat s normativní databází a následném určení odchylky bylo zjištěno, že u obou zkoumaných tlouštěk dochází k postupnému úbytku. U GCC dochází sice ke ztrátě gangliových buněk o přibližně 1,80 % více, než ke ztrátě jejich axonů ve vrstvě RNFL, přesto se dá říci, že spolu tyto dvě hodnoty korelují. Danou hypotézu tak mohu potvrdit.

Podobným problémem se již dříve zabývala oční klinika JL s.r.o., V Hůrkách 1296/10, 158 00 Praha 5 – Nové Butovice spolu s Fakultou biomedicínského inženýrství, ČVUT v Praze, Katedra zdravotnických oborů a ochrany obyvatelstva, Kladno, vedoucí katedry prof. MUDr. Leoš Navrátil, CSc. Autorem výzkumu je přednosta kliniky doc. MUDr. Ján Lešták, CSc., FEBO, FAOG a doc. MUDr. Šárka Pitrová, CSc., FEBO, která je vedoucí mé bakalářské práce. Předmětem výzkumu bylo zjistit, zda existuje korelace mezi GCC a vrstvou RNFL ve stejné altitudiální polovině sítnice u skupiny normotenzních a hypertenzních glaukomů. Závěrem jejich výzkumu bylo, že porovnáním GCC, RNFL a zorných polí bylo prokázána středně silná korelace jen u normotenzního glaukomu, to znamená, že diagnostické skupiny jsou odlišné. [3]

Druhá hypotéza předpokládala, že dojde-li k úbytku tloušťky jedné z vrstev, tento pokles se projeví na perimetrickém vyšetření, tedy na poklesu komplexnosti zorného pole pacienta. Při porovnání průměrných hodnot GCC a RNFL, naměřených pomocí OCT, a průměrných hodnot Pattern Defektu sledovaných v časovém úseku jednoho roku se potvrdila závislost kvality zorného pole na tloušťce vrstev sítnice. Tím lze s danou hypotézou souhlasit.

Ve třetí hypotéze bylo cílem zjistit, zda hodnoty NT korelují s naměřenými hodnotami Pattern Defektu ve stejném časovém úseku. Předpokládalo se, že pokud dojde ke snížení NT, hodnota perimetrického vyšetření se poté také sníží, a tak se zlepší kvalita pacientova zorného pole, nebo se progresse Pattern Defektu alespoň zastaví. Po zjištění celkových průměrných hodnot NT a Pattern Defektu a následným porovnáním jednotlivých měření v časovém úseku jednoho roku bylo překvapivě zjištěno, že hypotéza nemůže být potvrzena. Zatímco průměrná hodnota NT klesla přibližně o 2,0 mm Hg. Průměrná hodnota Pattern Defektu se s uplynutým ročním rozestupem navýšila o cca 0,30 jednotek. Třetí hypotézu je tedy nutno zamítnout.

6 Závěr

Cílem teoretické částí bakalářské práce bylo seznámení se s problematikou glaukomu a dostupnými vyšetřovacími metodami tohoto onemocnění. Zaměřili jsme se na objasnění podstaty GCC a jeho souvislosti s různými způsoby diagnostiky výše zmíněné choroby.

V experimentální části bakalářské práce jsme se věnovali porovnání dvou základních typů vyšetřovacích metod, které jsou schopny zachytit glaukom již v počínajícím stádiu, a právě díky změnám v GCC sledovat progresi onemocnění.

Jednalo se o porovnání korelace naměřených hodnot tloušťky vrstvy GCC a vrstvy RNFL a posouzením, zda dojde k prokazatelným změnám na tloušťce těchto vrstev, změřené pomocí OCT, dříve, než se následek onemocnění projeví na vyšetření perimetrem. Následně jsme sledovali, zda při snížení hodnot NT dojde přímo úměrně k poklesu, nebo minimálně k pozastavení progresu hodnot Pattern Defektu měřeném při perimetrickém vyšetření. Byly vysloveny celkem 3 hypotézy, jejichž platnost měla být výsledky našeho výzkumu potvrzena či vyvrácena.

Hypotéza H1, která předpokládala, že úbytek tloušťky vrstvy GCC přímo úměrně koreluje s úbytkem tloušťky vrstvy RNFL v daném časovém úseku, *byla naším výzkumem potvrzena*. Při porovnání naměřených dat s normativní databází a následném určení odchylky bylo zjištěno, že u obou zkoumaných tlouštěk GCC a RNFL dochází k jejich postupnému úbytku, o něco více na straně GCC.

Hypotéza H2 předpokládala, že dojde-li k úbytku tloušťky jedné z vrstev, tento pokles se projeví na perimetrickém vyšetření zorného pole pacienta. Při porovnání průměrných hodnot GCC a RNFL a průměrných hodnot Pattern Defektu sledovaných v časovém úseku jednoho roku se potvrdila závislost kvality zorného pole na tloušťce vrstev sítnice. *Tím byla platnost hypotézy potvrzena*.

Hypotéza H3 předpokládala, že jednotlivé hodnoty nitroočního tlaku korelují s naměřenými hodnotami Pattern Defektu ve stejném časovém úseku. *Tuto hypotézu bylo nutno zamítnout*, neboť zatímco průměrná hodnota NT klesla přibližně o 2,0 mm Hg, průměrná hodnota Pattern Defektu se s uplynutým ročním odstupem navýšila o cca 0,30 jednotek. To znamená, že i přes pokles NT došlo k mírné progresi změn zorného pole.

Všechny potřebné hodnoty k zhotovení experimentální části mé bakalářské práce, které jsou přiloženy v příloze na CD disku, byly naměřeny na pracovišti Privátní oční kliniky JL v Praze

5 - Nové Butovice pod dohledem doc. MUDr. Šárky Pitrové, CSc., FEBO, která je vedoucí mého projektu i bakalářské práce.

Seznam použité literatury

- [1] Tunica interna oculi (tunica nervosa, retina, sítnice). In: MedAtlas 2 [online]. Masarykova universita, Lékařská fakulta, 2003-2006. [vid. 4. 1. 2018]. Dostupnost z: http://www.med.muni.cz/histology/MedAtlas_2/MA_txt11-2-1-3.htm
- [2] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství. 2.*, přepracované a doplněné vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-5079-8.
- [3] Lešták Jan, Pitrová Šárka, „Ganglion cells komplex“ a vrstva nervových vláken u hypertenzních a normotenzních glaukomů. *Česká a slovenská oftalmologie*, 2016/6, č.1, str.199-203.
- [4] LAKKIS, Graham. The ganglion cell complex and glaucoma, *Pharma* [online]. 2014, March, 28-32. [vid. 26. 12. 2017]. Dostupnost z: <http://www.nidek-intl.com/archives/004/201411/55a8a1526111f.pdf>
- [5] Multipolární neuron. In: SlidePlayer [online]. Josef Mašek. [vid. 5. 1. 2018]. Dostupnost z: <http://slideplayer.cz/slide/2945144/>
- [6] Retinální gangliová buňka. In: Wikipedie: otevřená encyklopedie [online]. Wikimedia Foundation, 2003. Stránka naposledy edit. 12. 9. 2015 v 08:36. [vid. 23. 12. 2017]. Česká verze. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Retin%C3%A1ln%C3%AD_gangliov%C3%A1_bu%C5%88ka
- [7] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie. Třetí, upravené a doplněné vydání*. Ilustroval Ivan HELEKAL, ilustroval Jan KACVINSKÝ, ilustroval Stanislav MACHÁČEK. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5636-3.
- [8] Růžičková E., Marek Fichtl, Radka Martincová, Klára Sedláková. Glaukomové onemocnění. Multimediální podpora výuky klinických a zdravotnických oborů: Portál 1. lékařské fakulty Karlovy Univerzity [online]. 7.12.2006, poslední aktualizace 26.6.2009. [vid. 17. 11. 2017]. Dostupný z: <<http://portal.lf1.cuni.cz/clanek-643-glaukomove-onemocneni>>
- [9] PatientTV. Zelený zákal (glaukom) - onemocnění oka vedoucí k postupnému poškození zrakového nervu [video] YouTube [online]. 13.1.2016. [vid. 17. 11. 2017]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=tg4MhzaPWTM>

- [10] Glaukom. In: WikiSkripta [online]. Stránka naposledy edit. 20. 10. 2017. [vid. 17.11.2017]. Česká verze. Dostupnost z: <http://www.wikiskripta.eu/w/Glaukom>
- [11] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Galén, 2006. ISBN 80-7262-404-0.
- [12] VÝBORNÝ, Petr. *Glaukom - vybrané kapitoly*. Hradec Králové: Nucleus HK, 2008. Oftalmologie. ISBN 978-80-87009-35-2.
- [13] Anamnéza [online]. [vid. 20. 11. 2017]. Dostupné z: <http://www.anamneza.cz/nemoc/Glaukom-474>
- [14] URBÁNKOVÁ, Nikola. Nitrooční tlak - možnosti měření a související oční patologie. Brno, 2013. Bakalářská práce. Masarykova universita v Brně, Fakulta lékařská. https://is.muni.cz/th/258340/lf_b/NITROOCNI_TLAK_-_MOZNOSTI_MERENI_A_SOUVISEJICI_OCNI_PATOLOGIE.pdf
- [15] Medicinman [online]. MUDr. Maňasková Dana, 2010. [vid. 5. 1. 2018]. Dostupnost z: <http://medicinman.cz/?p=nemoci-sympt/glaukom>
- [16] MUDr. Ján Lešták, Moderní vyšetřovací postupy u glaukomu. In: SANQUIS [online]. 2004, č.31, str.14. [vid. 13. 12. 2017]. Dostupnost z: <http://www.sanquis.cz/index2.php?linkID=art545>
- [17] J.-P.RenardJ.-M.Giraud. Glaucomes. Imagerie de la structure: HRT, GDx et OCT. In: Journal Français d'Ophtalmologie [online]. January 2006, č.1, stránky článku 64-73. [vid. 26. 12. 2017]. ISSN 0181-5512. Dostupnost z: [.https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0181551206737524](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0181551206737524)
- [18] Optic Nerve and Retinal Nerve Fiber Imaging. In: EyeWiki: American academy of ophthalmology [online]. MediaWiki, Semantic mediaWiki, January 2015. Stránka naposledy edit. 18.10. 2017, 16:21. [vid. 23. 12. 2017]. Anglická verze. Dostupné z: http://eyewiki.aao.org/Optic_Nerve_and_Retinal_Nerve_Fiber_Imaging
- [19] BRÍMOVÁ, Pavlína. Úroveň znalostí pacientů s glaukomem. Brno, 2008. Bakalářská práce. Masarykova universita v Brně, Fakulta lékařská. https://is.muni.cz/th/142371/lf_b/Bakalarska_prace_PBrimova.pdf
- [20] Perimetrie – vyšetření zorného pole. Oční klinika Brno – Neovize [online]. NeoVize [cit.28.04.2018].Dostupnéz: <https://www.neovize.cz/odborna-ocni-vysetreni/perimetrie-vysetreni-zorneho-pole/>

- [21] MUDr. Skorkovská K., Ph.D. Perimetrie [online]. Klinika nemocí očních a optometrie LF MU Fakultní nemocnice u sv. Anny, Brno [cit. 28.04.2018]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1411/podzim2016/BTNO0311p/um/Perimetrie.pdf>
- [22] Flammer, J.: Glaukom. 1.vyd. Praha, Triton, 2003
- [23] Otradovec, J.: Klinická neurooftalmologie. 1. vyd. Praha, Grada Publishing a.s., 2003
- [24] Polášek, J. a kol.: Technický sborník oční optiky. Praha, SNTL, 1975
- [25] Schwedtová, V.: Geometrická optika. 1. vyd. Martin, Osveta, 1998
- [26] Sádovská D. Vyšetření zorného pole [online]. Brno: Masarykova univ., Lékařská fakulta; 2006 [cit. 28.04.2018] 53str. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/gulki/Vysetreni_zorneho_pole-Sadovska_Dominika.pdf
- [27] Vyšetření zorného pole [online]. Dostupné z: http://old.lf.upol.cz/fileadmin/user_upload/LF-kliniky/hippokrat/Pracoviste/Biofyzika/05_Vysetreni_zorneho_pole.pdf
- [28] Perimetrie. In: WikiSkripta, projekt sítě lékařských fakult MEFANET [online]. ISSN 1804-6517. Stránka naposledy edit. 17. 4. 2018 [cit. 29. 04. 2018]. Česká verze. Dostupné z: [https://www.wikiskripta.eu/w/Perimetrie_\(2._LF_UK\)](https://www.wikiskripta.eu/w/Perimetrie_(2._LF_UK))
- [29] Ing. Pihan R. copyright © 2013 Dostupné z: http://www.fotoroman.cz/tech1/light_color.htm
- [30] Demirel S., Short wavelength automated perimetry (SWAP) in ophthalmic practice. [online]. Department of Ophthalmology, University of California, Davis 95816, USA [cit. 29. 04. 2018] Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8888875>
- [31] Flicker Perimetry, In: IPS – Imaging and Perimetry Society [online]. Chris A. Johnson, Ph.D., [cit. 29. 04. 2018] Dostupné z: <http://webeye.ophth.uiowa.edu/ips/PerimetryHistory/flicker/index.htm>
- [32] Frequency Doubling Technology - EyeWiki. Document Moved [online]. Dostupné z: http://eyewiki.aao.org/Frequency_Doubling_Technology

- [33] Barevné vidění: druhý pohled - PALADIX foto-on-line. PALADIX foto-on-line - PALADIX foto-on-line [online]. Dostupné z: <https://www.paladix.cz/clanky/barevne-videni-druhy-pohled.html?PLXID=847176b89f8e10fb842b3ac93c0617ca>
- [34] Компьютерный периметр OCULUS Twinfield® 2, OCULUS Optikgeräte GmbH , Германия. Медицинское офтальмологическое оборудование, приборы и инструменты. [online]. Dostupné z: <http://r-optics.ru/product/kompjuternyj-perimetr-twinfield-2-5003>
- [35] OCT - neinvazivní vyšetření zraku - Ordinance.cz. Ordinance - Ordinance.cz [online]. Dostupné z: <http://www.ordinace.cz/clanek/co-je-opticka-tomografie/>
- [36] Sedlář M., Optická koherentní tomografie [Optical Coherence Tomography – OCT] Biofyzikální ústav LF MU v Brně [online]. 2013 [cit. 30.05.2018] Dostupné z: <http://www.med.muni.cz/biofyz/zobrazovacimetody/files/OCT.pdf>
- [37] OCT Eye Scans are now available at Pybus Opticians - Pybus Opticians. Canterbury Opticians - 01227 760501 - Pybus Opticians [online]. Dostupné z: <http://www.pybusopticians.co.uk/oct-eye-scans-now-available-pybus-opticians/>
- [38] Optical Coherence Tomography: An Emerging Technology for Biomedical Imaging and Optical Biopsy. National Center for Biotechnology Information [online]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1531864/>
- [39] Michelsonův-Morleyův experiment In: Wikipedie: otevřená encyklopedie [online]. Wikimedia Foundation, 2003. Stránka naposledy edit. 11.12. 2017 v 04:43. [vid. 01. 05. 2018]. Česká verze. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Michelson%C5%AFv%E2%80%93Morley%C5%AFv_experiment
- [40] Optovue RTVue with NDB 510(K) Premarket Notification, 15.9. 2010
- [41] The Normative Database for the RTVue, Software version 4.0 for US, Rohit Varma, MD& Michael J. Sinai, PhD
- [42] User manual – Medmont International Pty Ltd

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
FDP	Frequency-doubling technology perimetry
FP	Flicker perimetry
GCC	Ganglion cell komplex
GCL	Těla gangliových buněk
GDx	Analyzátor nervových vláken
HPRD	High-pass resolution perimetry
HRT	Heidelberský retinální tomograf
INL	Dendrity gangliových buněk
NDB	Normative database
NT	Nitrooční tlak
NTG	Normotenzní glaukom
OCT	Optický koherentní tomograf
OD	Overall Defekt
PACG	Primární glaukom s uzavřeným úhlem
PD	Pattern Defekt
PEXG	Pseudoexfoliativní glaukom
PG	Pigmentový glaukom
POAG	Primární glaukom s otevřeným úhlem
RNFL	Axony gangliových buněk (vrstva sítnicových nervových vláken)
sd	Standard deviation
SWAP	Short wavelength automated perimetry
ZP	Zorné pole

7 Seznam obrázků

Obr. 2.1: Struktura sítnice [OLK]	3
Obr. 2.2: Multipolární nervová buňka – gangliová buňka (popisky vlastní) [5].....	4
Obr. 2.3: Schéma šíření signálu mezi buňkami [6]	4
Obr. 3.1: Projekční Maggioreův perimetr [26].....	12
Obr. 3.2: Goldmannův perimetr-OCULUS Twinfield® 2 [30]	13
Obr. 3.3: Relativní citlivost čípků + nastínění viděných barev [29]	15
Obr. 3.4: Znázornění klasické bílo-bílé perimetrie vs. perimetrie SWAP [29]	15
Obr. 3.5: Zjednodušené schéma Michelsonova interferometru [39].....	21
Obr. 3.6: Zobrazení vlnových délek vysoko-koherentního světla (A) a nízko-koherentního světla (B)21	
Obr. 3.7: Zobrazení místa nejostřejšího vidění (Makuly) pomocí OCT [37].....	22
Obr. 3.8: GCC sken provedený přístrojem NIDEK RS3000 (popisky přepsány) [4]	25
Obr. 4.1: Porovnání časově odlišných měření PD.....	34
Obr. 4.2: Porovnání časově odlišných měření NT	34
Obr. 4.3: Porovnání časově odlišných měření GCC ve vztahu k normě	36
Obr. 4.4: Porovnání časově odlišných měření RNFL ve vztahu k normě	36
Obr. 4.5: Porovnání průměrných hodnot Pattern Defektu, RNFL a GCC ve sledovaném čase.....	37

8 Seznam tabulek

Tabulka 4.1: Pohlaví a věk pacientů zkoumaného souboru	27
Tabulka 4.2: Typy glaukomu u pacientů zkoumaného souboru.....	27
Tabulka 4.3: Hodnoty vízu a pachymetrie u sledovaných očí souboru.....	28
Tabulka 4.4: Hodnoty GCC a RNFLzjištěné při 1. a 2. měření přístrojem OCT (μm).....	31
Tabulka 4.5: Vztah mezi Pattern Defektem a počtem hvězdiček [42]	32
Tabulka 4.6: Vypočtené hodnoty 1. a 2. měření perimetrie	32
Tabulka 4.7: Hodnoty NT získané při 1. a 2. měření (mm Hg – rtuťového sloupce)	33
Tabulka 4.8: Průměrné hodnoty Pattern Defektu a NT ve období jednoho roku.....	33
Tabulka 4.9: Zhodnocení dat OCT vůči normativní hodnotě	35
Tabulka 4.10: Porovnání průměrných hodnot GCC, RNFL a Pattern Defektu mezi měřeními.....	37

9 Příloha: Komplexní tabulka s daty

Pořadí	Inc.	Pohlaví	Rok nar.	Typ G.	Oči	Visus (dálka)	Ref.sfr	Ref.cyl	Ref.osa	Pachym.	NT - 1.měsí	NT - 2.měsí	GCC - 1.měsí	RNFL - 1.měsí	GCC - 2.měsí	RNFL - 2.měsí	PD - 1.měsí	PD - 2.měsí	Medikace
1.	SJ	M	1952	POAG	OP	0,8		1,5		556	15,00	14,67	99,11	106,17	94,45	108,07	2,73	2,30	xalatan (prostaglandin)
					OL	0,8				569	14,67	14,33	94,32	99,23	99,61	84,48	10,12	10,87	xalatan (prostaglandin)
2.	BS	M	1950	PEXG	OL	0,8				564	16,00	13,67	103,78	110,53	106,30	114,58	2,24	2,50	lumigan (prostaglandin)
3.	MR	M	1974	PG	OP	0,8				584	15,00	15,67	100,38	109,76	101,00	109,75	2,92	2,44	xalatan (prostaglandin)
					OL	0,8				592	16,00	17,00	99,91	107,84	99,89	110,46	2,26	2,14	xalatan (prostaglandin)
4.	SL	Ž	1973	POAG	OP	0,8	-1			615	16,33	17,00	84,14	89,56	83,84	86,41	1,78	2,62	xalatan (prostaglandin)
					OL	0,8	-1			622	19,67	21,00	81,92	81,35	82,14	80,75	4,20	5,47	xalacom
5.	JZ	M	1950	POAG	OP	1	0,5			539	15,67	18,67	90,25	100,93	86,20	100,04	2,26	2,23	
					OL	1				533	14,67	17,00	85,23	102,11	85,13	100,88	2,93	2,89	
6.	VD	Ž	1994	POAG	OP	0,5	-1	35		552	14,67	11,33	82,70	92,18	81,64	95,67	1,88	1,79	carteol
					OL	0,8				555	15,67	10,33	81,41	96,62	82,51	90,04	2,10	3,17	carteol
7.	SJ2	Ž	1999	POAG	OP	0,8	0,5	-0,5	45	516	11,00	12,33	73,44	84,44	71,40	82,77	2,99	3,21	carteol
					OL	1	-0,5	125		520	11,67	10,33	84,04	95,30	83,54	96,30	2,31	3,12	carteol
8.	ZD	Ž	1930	NTG	OP	1				592	10,00	11,00	100,67	117,60	103,25	119,84	4,88	3,94	betoptic
					OL	0,8				600	11,33	12,00	94,94	113,33	101,19	118,83	3,90	6,23	betoptic
9.	MV	Ž	1954	POAG	OP	0,8	-4,5			573	21,00	14,00	80,45	95,21	80,11	95,36	1,59	1,22	xalacom
					OL	0,8	-4,5			584	22,33	18,33	81,92	91,19	82,82	93,43	1,85	1,80	xalacom
10.	VJ	Ž	1944	POAG	OP	0,8				556	22,67	20,33	90,28	95,37	88,43	93,59	1,74	2,03	carteol
					OL	1				568	24,67	20,33	88,77	97,51	89,41	96,34	1,81	2,02	carteol
11.	NJ	M	1947	PG	OP	1	-5			577	25,00	16,00	86,81	89,39	87,83	94,90	1,86	2,15	lumigan (prostaglandin)
					OL	1	-3			590	18,67	13,33	90,14	84,82	87,47	98,54	2,43	4,16	lumigan (prostaglandin)
12.	HM	M	1976	PG	OP	1	-1	-0,25	170	520	19,00	15,00	86,07	87,73	88,03	82,55	4,99	3,49	carteol, lumigan
					OL	1	-0,5	-1,5	180	522	9,67	9,00	89,93	85,56	87,81	51,06	4,13	3,64	
13.	MH	Ž	1946	PEXG	OP	0,6	-3,5	-0,5	20	590	21,67	18,33	72,26	82,64	73,27	77,63	2,25	2,91	cosot, xalatan
					OL	0,8				600	7,67	7,00	61,67	56,77	60,64	59,09	6,17	6,30	
14.	BE	Ž	1949	POAG	OP	1	2	-0,5	80	566	27,33	20,33	71,80	78,44	73,51	73,66	2,44	2,63	xalatan (prostaglandin)
					OL	1	1,5			560	22,67	18,33	83,49	96,51	82,10	95,86	1,48	1,34	xalatan (prostaglandin)
15.	BJ	M	1959	POAG	OP	1	-0,75	-0,5	70	541	17,33	13,33	67,25	86,35	64,64	81,26	2,73	2,26	kape nepravdělně
					OL	1	-2	-0,5	30	538	16,67	13,67	59,18	78,74	59,65	81,33	3,32	3,23	kape nepravdělně
16.	RS	Ž	1960	POAG	OP	0,7	1	-2	10	540	8,00	11,67	55,38	58,66	65,04	57,27	10,95	11,81	
					OL	1	-0,5			560	21,00	14,33	60,43	64,10	60,07	64,94	6,92	7,02	
17.	ZA	Ž	1937	PACG	OP	0,8				551	11,00	10,00	66,48	73,14	66,83	70,89	7,79	10,61	
					OL	0,8				555	12,67	10,67	58,53	70,54	60,95	69,62	20,97	20,59	
18.	ZA1	Ž	1940	POAG	OL	0,9	0,75	-0,5	90	527	14,33	12,67	69,67	63,84	70,78	61,93	14,50	16,48	
					OP	0,6	-5			530	13,33	15,00	64,42	67,65	61,22	63,32	7,39	7,01	
					OL	0,8	-5			536	13,00	13,67	83,55	79,06	64,43	88,30	4,61	4,72	
19.	ZM	Ž	1970	POAG	OP	1				600	21,67	12,67	79,71	86,23	89,27	85,21	2,45	2,45	
					OL	1				612	20,00	16,67	84,60	84,75	78,72	81,61	1,78	1,78	
20.	SV	Ž	1974	POAG	OP	1				561	10,67	11,33	94,08	91,10	96,56	97,74	3,87	3,53	xalatan (prostaglandin)
					OL	0,8	-1,75	0,75	105	541	8,67	9,33	105,50	98,07	96,35	101,23	3,01	3,42	xalatan (prostaglandin)
21.	HP	M	1960	PG	OP	1	-1,25	-0,5	15	430	14,67	7,00	60,97	63,96	68,16	62,58	8,18	8,74	kosopt
					OL	1	-1	-0,75	145	433	17,33	12,00	90,32	84,71	88,41	91,19	2,04	2,53	kosopt
22.	FI	Ž	1967	POAG	OP	1	0,25			540	13,67	13,33	83,96	81,65	83,25	78,39	3,55	3,27	xalacom
					OL	1	0,25			530	11,67	10,67	86,98	98,58	84,96	90,23	2,60	2,24	xalacom
23.	SJ3	M	1947	POAG	OP	1	-4,5			530	17,00	16,67	72,74	79,47	77,25	76,02	2,70	3,78	Simbrinza, xalacom
					OL	1	-4,75			531	17,67	17,33	79,77	79,06	73,71	71,72	2,96	3,90	Simbrinza, xalacom
24.	SM	M	1974	PG	OP	1				577	16,33	20,00	83,43	90,57	90,20	102,65	1,53	2,36	xalatan (prostaglandin), carteol
					OL	1				578	17,00	9,33	85,89	92,59	86,19	92,28	2,54	1,92	xalatan (prostaglandin), carteol