

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO
INŽENÝRSTVÍ**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023

NIKOL ZIMOVÁ



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta biomedicínského inženýrství

Katedra přírodovědných oborů

Nitrooční tlak v oftalmologické praxi

Intraocular Pressure in Ophthalmological Practice

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Optika a optometrie

Autor Bakalářské práce: Nikol Zimová

Vedoucí Bakalářské práce: doc. MUDr. Ján Lešták, CSc. MBA

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zimová** Jméno: **Nikol** Osobní číslo: **499961**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra přírodovědných oborů**
Studijní program: **Biomedicínská a klinická technika**
Studijní obor: **Optika a optometrie**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Nitrooční tlak v oftalmologické praxi

Název bakalářské práce anglicky:

Intraocular Pressure in Ophthalmological Practice

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte současné možnosti měření nitroočního tlaku s důrazem na jejich výhody a nevýhody. V praktické části pak vzájemně porovnejte naměřené hodnoty zjištěné bezkontaktní tonometrií, bezkontaktní tonometrií se zohledněním tloušťky rohovky, diferenciální tonometrií zjištěné Schiotzovým tonometrem a Ocular Response Analyser.

Seznam doporučené literatury:

- [1] HEISSIGEROVÁ, J. a kol., Oftalmologie: pro pregraduální i postgraduální přípravu, ed. 2, Praha: Maxdorf, 2021, ISBN 978-80-7345-704-4
- [2] LEŠTÁK, Ján a ROZSÍVAL, Pavel, The Influence of Corneal Thickness on Progression of Hypertensive Glaucoma. [online]. 2012, [cit. 2012-10-30], DOI: 10.4172/2155-9570.1000235
- [3] QIN, X., YU, M., ZHANG, H., CHEN, X., LI, L., The Mechanical Interpretation of Ocular Response Analyzer Parameters, BioMed Research International, ročník 2019, číslo 5701236, 2019, DOI: 10.1155/2019/5701236
- [4] KAUSHIK, S., PANDAV, S.S., Ocular Response Analyzer, Journal of Current Glaucoma Practice, ročník 6, číslo 1, 2012, pp. 17-19. DOI: 10.5005/jp-journals-10008-1103

Jméno a příjmení vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. MUDr. Ján Lešták, CSc. MBA

Jméno a příjmení konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **15.02.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **20.09.2024**

doc. Ing. Petr Kudrna, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA
děkan

Název Bakalářské práce: Nitrooční tlak v oftalmologické praxi

Abstrakt:

Nitrooční tlak je jedním z faktorů, které ovlivňují kvalitu našeho vidění. Bakalářská práce „Nitrooční tlak v oftalmologické praxi“ se v první řadě zabývá různými metodami tonometrie. Práce popisuje význam nitroočního tlaku a význam jeho hodnot naměřených pomocí kontaktních a bezkontaktních metod tonometrie. Podrobněji se práce zaměřuje na metody diferenciální tonometrie, kterou je například Schiötzův tonometr a dále pak na její bezkontaktní metody, které jsou dnes často využívány v praxi. Právě na jejich využití v praxi se zaměřuje experimentální část bakalářské práce, kde jsou zpracovány naměřené hodnoty nitroočního tlaku pomocí různých metod tonometrie a následně jsou mezi sebou porovnány. Pak se práce zabývá anatomickými strukturami oka, vznikem nitrooční tekutiny, její dynamiky a jejím vztahem s nitroočním tlakem. V neposlední řadě se práce věnuje vztahu mezi tloušťkou rohovky a nitroočním tlakem. V oftalmologii je nitrooční tlak spjatý se vznikem očního onemocnění zvané glaukom, který je jednou z nejčastějších příčin slepoty. Proto je této problematice věnována část bakalářské práce, která se zabývá právě závislostí nitroočního tlaku na vzniku tohoto onemocnění. Nitrooční tlak je u hypertenzních glaukomů rozhodující veličinou určující progresi onemocnění. Součástí práce je rozdělení glaukomu dle příčiny vzniku a způsoby léčby, které dnešní medicína nabízí. Závěrem bakalářské práce je již zmíněná experimentální část, která porovnává naměřené hodnoty nitroočního tlaku pomocí 3 různých přístrojů: bezkontaktní tonometr TX – 10, ORA a Schiötzův tonometr. K vyhodnocení experimentální části jsou stanoveny tři hypotézy: **H1:** Hodnoty nitroočního tlaku naměřené bezkontaktním tonometrem Canon TX – 10 budou nižší než hodnoty naměřené tonometrem ORA. **H2:** Hodnoty nitroočního tlaku naměřené bezkontaktními tonometry (Canon TX 10 A ORA) budou nižší než hodnoty naměřené impresním Schiötzovým tonometrem. **H3:** Hodnoty nitroočního tlaku budou vyšší v souvislosti se zvyšujícím se věkem.

Klíčová slova:

nitrooční tlak, kontaktní tonometrie, bezkontaktní tonometrie, anatomie oka, nitrooční tekutina, rohovka, glaukom, pachymetrie

Bachelor's Thesis title: Intraocular Pressure in Ophthalmological Practice

Abstract:

Intraocular pressure is one of the factors that affect the quality of our vision. The bachelor thesis "Intraocular pressure in ophthalmic practice" deals primarily with different methods of tonometry. The thesis describes the importance of intraocular pressure and the significance of its values measured by contact and non-contact methods of tonometry. In more detail, the thesis focuses on the methods of differential tonometry, such as the Schiottz tonometer, and then on non-contact methods, which are often used in practice these days. The experimental part of the bachelor's thesis focuses on their use in practice, where the measured values of intraocular pressure using different methods of tonometry are processed and then compared with each other. Then the thesis deals with the anatomical structures of the eye, the formation of the intraocular fluid, its dynamics and its relationship with the intraocular pressure. The thesis discusses the relationship between corneal thickness and intraocular pressure. In ophthalmology, intraocular pressure is associated with the development of an eye disease called glaucoma, which is one of the most common causes of blindness. Therefore, a part of the bachelor's thesis is devoted to this issue, which deals with the dependence of intraocular pressure on the occurrence of this disease. In hypertensive glaucoma, intraocular pressure is a crucial variable determining the progression of the disease. The thesis includes the classification of glaucoma according to the cause of its occurrence and the methods of treatment offered by today's medicine. The thesis concludes with the experimental part mentioned above, which compares the measured values of intraocular pressure using 3 different devices: non-contact tonometer TX - 10, ORA and Schiottz tonometer. **H1:** The values of intraocular pressure measured with the non-contact tonometer Canon TX - 10 will be lower than the values measured with the ORA tonometer. **H2:** The values of intraocular pressure measured by non-contact tonometers (Canon TX - 10 A ORA) will be lower than the values measured by the impression Schiottz tonometer. **H3:** Intraocular pressure values will be higher with increasing age.

Key words:

intraocular pressure, contact tonometry, non-contact tonometry, anatomy of the eye, intraocular fluid, cornea, glaucoma, pachymetry

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala doc. MUDr. Jánu Leštákovi CSc. MBA za vedení bakalářské práce. Za cenné rady, zkušenosti a data, která byla přínosná k vypracování teoretické i praktické části této práce.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem Bakalářskou práci s názvem „*Nitrooční tlak v oftalmologické praxi*“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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), ve znění pozdějších předpisů.

V *Kladně* dne

.....

podpis

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Anatomie předního segmentu oka.....	2
2.1	Anatomie a fyziologie rohovky.....	2
2.2	Anatomie a fyziologie bělimy.....	3
2.3	Anatomie a fyziologie spojivky.....	4
2.4	Anatomie a fyziologie víček.....	5
2.5	Anatomie a fyziologie slzného aparátu.....	5
2.6	Slzný film.....	6
3	Nitrooční tekutina.....	7
3.1	Tvorba nitrooční tekutiny.....	8
3.2	Složení nitrooční tekutiny.....	9
3.3	Dynamika nitrooční tekutiny.....	9
4	Nitrooční tlak.....	11
4.1	Charakteristika a hodnoty nitroočního tlaku.....	11
4.2	Hypotonie a hypertonie (kritické hodnoty nitroočního tlaku).....	12
4.3	Faktory ovlivňující hodnotu nitroočního tlaku.....	13
5	Měření nitroočního tlaku (Tonometrie).....	14
5.1	Historie tonometrie.....	15
5.2	Schiotzův impresní tonometr.....	16
5.3	Goldmannův aplanační tonometr (GAT).....	19
5.4	Bezkontaktní tonometrie.....	20
6	Hystereze rohovky a tloušťka rohovky.....	21
6.1	Hystereze rohovky.....	21
6.2	Tloušťka rohovky.....	22
6.3	Vliv tloušťky rohovky na nitrooční tlak.....	23
7	Glaukom.....	24
7.1	Rizikové faktory.....	24
7.2	Klasifikace glaukomů.....	25
7.2.1	Kongenitální glaukom.....	25
7.2.2	Primární glaukom s otevřeným úhlem.....	25

7.2.3	Primární glaukom s uzavřeným úhlem.....	26
7.3	Léčba glaukomu	26
8	Experimentální část	26
8.1	Cíle práce.....	27
8.2	Pracovní hypotézy	27
8.3	Metodika výzkumu.....	28
8.4	Přístroje	28
8.5	Výsledky experimentální části	29
9	Diskuze.....	46
10	Závěr.....	48
	Seznam použité literatury.....	50
	Seznam symbolů a zkratek.....	58
	Seznam obrázků	59
	Seznam Tabulek	60
	Seznam grafů.....	61

1 Úvod

Hlavním záměrem bakalářské práce „Nitrooční tlak v oftalmologické praxi“ je podtrhnout významnou úlohu nitroočního tlaku v oftalmologii, jeho souvislosti s očními chorobnými jevy, shrnout možnosti měření nitroočního tlaku pomocí jednotlivých metod tonometrie a následně jejich přesnost ověřit v experimentální části, kde jsou jednotlivé metody porovnány mezi sebou.

Nitrooční tlak (NOT) je významným parametrem pro správnou funkci oka a pro zachování dobrého vidění. Je závislý na rychlosti produkce a odtoku nitrooční tekutiny. Pravidelným pozorováním jeho hodnot můžeme odhalit případné oční patologie. V oftalmologii se NOT nejčastěji pojí s onemocněním zvané glaukom neboli zelený zákal, který je jednou z nejčastějších příčin slepoty. Zvýšený NOT nastává vlivem nedostatečného odtoku nitrooční tekutiny, která neustále proudí ze zadní komory oční do přední komory oční a odtéká pryč prostřednictvím Schlemmova kanálu. Pokud dojde k omezení průtoku, nitrooční tekutina se hromadí a nitrooční tlak se zvyšuje. Za normálních podmínek je NOT relativně stálá hodnota, která se v průběhu dne mění jen nepatrně. Hodnoty NOT, při kterých nedochází ke změnám zrakového nervu, vnitřních struktur oka a optických medií, se pohybují v rozmezí 10 až 20 mmHg. Naopak nízký NOT může být následkem diabetických obtíží, zánětů a může způsobit poškození zrakového nervu či deformaci tvaru oka. Dalšími faktory, které mohou ovlivnit výslednou hodnotu NOT je věk, rasa, genetika, vliv farmaceutických látek nebo například vyšší fyzická zátěž.

Vyšetřovací metoda, pomocí které měříme hodnoty NOT, se nazývá tonometrie. Měření NOT je běžná praxe oftalmologa a patří mezi základní vyšetření. K měření nitroočního tlaku existuje hned několik přístrojů založených na různých principech. Mezi základní typy tonometrů řadíme bezkontaktní a kontaktní tonometr. Dnes se nejčastěji setkáme s měřením NOT pomocí bezkontaktní tonometrie, zatímco dříve k orientačnímu zjištění jeho hodnot sloužila palpace oka přes víčko. Tato metoda se stále používá v případech, kdy nemůžeme použít jinou metodu, např. u pacientů po transplantaci rohovky. Při vyšetření kontaktními tonometry dochází k přímému kontaktu s okem, přístroj vyvíjí tlak na rohovku, která se následkem tohoto tlaku oplošťuje. Tlak potřebný k oploštění je úměrný výsledné hodnotě NOT. Je zřejmé, že přístroje na měření NOT prošly značnou evolucí. V posledních letech vývoj směřuje k výrobě přístrojů, které by mohl pacient používat mimo oční ordinaci bez přítomnosti oftalmologa.

Několik studií dokázalo, že tloušťka rohovky je jedním z faktorů, který ovlivňuje hodnotu NOT. Na tuto problematiku poukázal významný vědec a průkopník v oboru oftalmologie Dr. Hans Goldmann a v roce 1950 představil nový typ tonometru, tzv. aplanační. K aplanaaci dochází pouze na malé části rohovky, takže hodnoty nejsou ovlivněny oční rigiditou a jsou poměrně přesné. Od doby, kdy byl Goldmannův aplanační tonometr (GAT) zaveden do klinické oftalmologické praxe, se stal zlatým standardem a je stále používán v diagnostice. Stejně tak se v praxi ujal Pascalův dynamický konturní tonometr (DCT), který byl uveden v roce 2004. DCT funguje je principu konturní tonometrie. Jedná se o kontaktní tonometr měřící nitrooční tlak, přičemž není třeba barvit oko fluoresceinem jako u jiných kontaktních metod měření nitroočního tlaku.

Nevýhodou kontaktní metody měření NOT může být riziko přenosu infekce a je tedy důležité klást důraz na důkladnou dezinfekci přístrojů i okolí. U nejnovějších přístrojů dochází k měření NOT přes víčko, takže riziko oční infekce je zde minimální. Obecně je ale tonometrie bezpečná metoda, která vede jen zřídka ke komplikacím. Každá z nich má své výhody a nevýhody a cílem teoretické části práce bude tyto poznatky shrnout, porovnat a přiblížit problematiku nitroočního tlaku v oftalmologické praxi. V experimentální části jsou pak uvedené metody tonometrie vyzkoušeny v praxi a výsledné hodnoty jsou porovnány mezi sebou v různých závislostech. Mezi tyto závislosti patří krom věku i závislost hodnoty nitroočního tlaku na pohlaví, jelikož právě tyto faktory mohou ovlivnit výši naměřeného nitroočního tlaku.

2 Anatomie předního segmentu oka

Přední segment oka zahrnuje kromě rohovky a bělimy také spojivku, víčka, řasy a slzný aparát. [1, 52]

2.1 Anatomie a fyziologie rohovky

Rohovka (cornea) je hladká, lesklá, průhledná a bezcévná povrchová vrstva, která je součástí předního očního segmentu a vytváří tak jeho stěnu. Kromě ochranné funkce plní i funkci optickou, protože jejím úkolem je průchod a lom světla. Vzhledem k velkému počtu nervových zakončení je rohovka řazena mezi nejcitlivější tkáně lidského těla. Její tvar je polokruhovitý, průměr činí 11 mm a směrem k limbu se rohovka progresivně oplošťuje – dosahuje hodnot až 100 μm , přičemž průměrná hodnota centrální tloušťky rohovky (CCT) je 555 μm . Okraj rohovky volně přechází v bělimu, tuto oblast nazýváme limbus. Stejně tak jako

tonometrie, i pachymetrie je ve vývoji a poslední dobou jí je obzvlášť věnována pozornost. Hodnoty tloušťky rohovky u populace totiž značně kolísají. Studie léčby oční hypertenze poukázala na to, že tloušťka rohovky hraje významnou roli v odhalení glaukomu. Je několik faktorů, které ovlivňují její tloušťku. Například příslušníci určitých rasových skupin a pacienti se střední myopií mají tendenci mít tenčí rohovku. [1, 3, 2, 52, 5, 4, 9, 7, 60]

Z hlediska histologie rohovku členíme do celkem 5 vrstev. Nejsvrchnější vrstvou je mnohvrstevný dlaždicový epitel, který se skládá z pěti vrstev buněk. Oproti ostatním vrstvám rohovky je schopen se sám regenerovat, tedy obnovovat a jeho obnova trvá okolo šesti dní. Pod nejsvrchnější vrstvou se nachází homogenní Bowmanova membrána, stroma z tenkých kolagenních vláken a Descemetova membrána obsahující elastická vlákna. Poslední, nejnitrnější vrstvou, je endotel složený z jedné vrstvy šestibokých buněk. Počet endotelových buněk s věkem postupně klesá, u novorozence je hodnota endotelových buněk $5000/\text{mm}^2$ a u dospělého člověka okolo $2000/\text{mm}^2$. V případě poklesu endotelových buněk pod hranici $800/\text{mm}^2$ dochází k porušení hydratace rohovky a jejímu edému, což může mít za následek ztrátu vidění. Jak bylo zmíněno, rohovka je průhledná tkáň, a to díky uspořádání kolagenních vláken a také díky hydrataci. Endotelová pumpa je složitým mechanismem, který zajišťuje aktivní transport vody a iontových látek. Činnost endotelové pumpy závisí na množství kyslíku, metabolismu glukózy, stromálním tlaku a množství ATP – endotelová pumpa pro svoji činnost totiž spotřebovává největší část energie. Naopak od epitelu se endotel regeneruje jen minimálně, je velmi náchylný k poškození a poškozené buňky následně zanikají. [50, 3, 2, 5, 52, 1, 7, 4, 60]

Rohovka je důležité optické medium oka, které má lomivost okolo +43dpt, zatímco celková optická mohutnost neakomodovaného oka je +59dpt. Její výživa je zajištěna komorovou vodou a slzami. Index lomu rohovky je 1,37 a jelikož je to první vrstva oka, odděluje jeho vnitřní prostředí od okolního vzdušného prostředí s indexem lomu 1, což ji činí z celého lomného systému neúčinnější. [1, 5, 3, 7, 47, 4, 2, 60, 48]

2.2 Anatomie a fyziologie bělimy

Bělima (sclera) je bílá a neprůhledná povrchová vrstva, která obsahuje malé množství cév, kolagen, elastická vlákna a ohraničuje zadní oční segment. Její tloušťka se pohybuje mezi 0,5 mm – 1,5 mm, nejsilnější je v zadní části a naopak nejtenčí v místě, kde se na bělimu upínají okohybné svaly. Bělima je pevná struktura, jejíž funkcí je převážně udržovat nitrooční tlak a

ochrana vnitřních struktur oka. V přední části bělimy se nachází spojivka a episkléra a v zadní části vystupuje zrakový nerv (nervus opticus). [1, 3, 2, 7, 4, 9, 5, 52, 53]

2.3 Anatomie a fyziologie spojivky

Spojivka (tunica conjunctiva) je tenká, lesklá, průhledná blanka, která je součástí zadní plochy víček a přední strany očního bulbu. Na okrajích víček se z ní stává víčková spojivka (tunica conjunctivita palpebrarum), která pokrývá zadní stranu víček. Následují klenby spojivky, jejichž vyklenutí umožňuje pohyby víček (fornix conjunctivae superior a fornix conjunctivae inferior). Z klenby spojivka přechází v bulbární část (tunica conjunctiva bulbi), která vepředu pokrývá skléru a volně navazuje na epitel rohovky. Mezi zadní stranou víček a oční koulí se nachází prostor, který nazýváme spojivkový vak (saccus conjunctivae). V místě přechodu obou kleneb spojivky se v koutku oka nachází slzní jezírko (lacus lacrimalis), kde dochází k hromadění slz a spojivka zde přechází v malý, narůžovělý hrbolek (caruncula lacrimalis), který můžeme popsat jako slizniční vyvýšeninu, kde spojivka přechází do slzovodných cest a dochází tak ke spojení s nosní dutinou. O cévní zásobení spojivky se starají víčkové arterie a přední ciliární arterie. Co se týče inervace spojivky, senzitivní vlákna vedou do spojivky podél cév. Jedná se o senzitivní vlákna I. a II. větve n. trigeminu. [1, 4, 2, 7, 5, 9, 53, 63, 60, 64, 65]

Spojivku histologicky rozlišujeme do dvou vrstev: epitel a stroma. Svrchní vrstvu, epitel, tvoří 2-9 vrstev buněk, které navazují na bazální membránu. V případě suchého oka dochází ke keratinizaci, která vede ke zpevnění tkáně a její mechanické odolnosti. Stroma (substantia propria) tvoří bohatě prokrvená pojivková tkáň a od epitelu ho dělí bazální membrána. Stroma obsahuje fibroblasty, leukocyty, plazmatické a Langerhansovy buňky a melanocyty a také akcesorní slzné žlázy Wolfringovy a Krausovy. Ty se podílejí na tvorbě vodné vrstvy slzného filmu. [7, 1, 4, 2, 9, 5, 48, 64, 49, 60, 63]

Mezi hlavní funkce spojivky patří funkce ochranná a sekreční. V bulbární spojivce a fornixu se díky plazmatickým buňkám a lymfocytům produkují látky, které zajišťují ochranu oka – jsou to antibakteriální substance jako lysozym, imunoglobuliny, interferon a prostaglandiny. Ochranu oka zajišťuje spojivka i spolu s očními víčky, které při mrknutí rozprostírají slzný film, čistí a kryjí oko. Sekreční funkci zastávají pohárkové buňky, které produkují mucin, což je hlenovitá sloučenina tvořená glykoproteiny zajišťující smáčivý povrch. [1, 4, 8, 9, 5, 2, 60, 7]

2.4 Anatomie a fyziologie víček

Oční víčka (*palpebrae*) jsou párové kožní výběžky, jejichž pohyb je ovladatelný vůlí a hlavní funkcí je chránit oči před okolními vlivy a proti úrazu. Opора víček je tvořena tarzem, což je chrupavčitá ploténka, rozlišujeme tarzus horní a dolní, který je v obou případech tvořen z kolagenních a elastických vláken. Dolní víčko (*palpebrae inferior*) je oproti hornímu (*palpebrae superior*) poloviční, k oběma koncům se zužuje a přechází do závěsného ligamenta. Ta se upínají ke kostěné očníci a způsobují, že víčko je napnuté tak, aby kopírovalo zakřivení bulbu. Ze shora se k tarzu upíná aponeuróza levátoru horního víčka, zatímco zdola probíhají snopce hladkého Mullerova svalu. Místo, kde se horní a dolní víčka spojují, nazýváme vnitřní a zevní koutek. Vnitřní koutek obsahuje slzný kanálek, z něhož odtékají slzy do slzovodných cest. Každé sevření očních víček stlačí slzné kanálky a vak, jejich obsah se tak cestou *ductus nasolacimalis* posune do dutiny nosní, kde ústí pod dolní nosní skořepou. Naopak při otevření horních víček se vak rozvine a vznikne podtlak, který nasaje část slz do odvodných slzných cest. Jednosměrný tok slz je zajištěn díky četným chlopním. Na vrchní (obličejové) straně je víčko pokryto kůží, která je velmi jemná a citlivá. Vnitřní strana víček je pokryta víčkovou spojivkou. Uzávěr štěrbiny zajišťuje kruhový svěrač víček (*m. orbicularis oculi*), což je jediný sval v oftalmologii, který je inervován n. *facialis*. Pohyb horního víčka zajišťuje zvedáč horního víčka (*musculus levator palpebrae superioris*). Při jeho poruše nebo při jeho špatném vyvinutí může dojít o omezení této funkce a následnému poklesu horního víčka, tzv. ptóze. Spodní i horní víčko je zakončeno řasami, které přispívají k ochranné funkci. Díky nim je oko ochráněno před nečistotami jako jsou prachové částice, nebo před nadměrným osvětlením. [8, 2, 1, 3, 7, 5, 54, 48, 49, 60, 65, 64]

2.5 Anatomie a fyziologie slzného aparátu

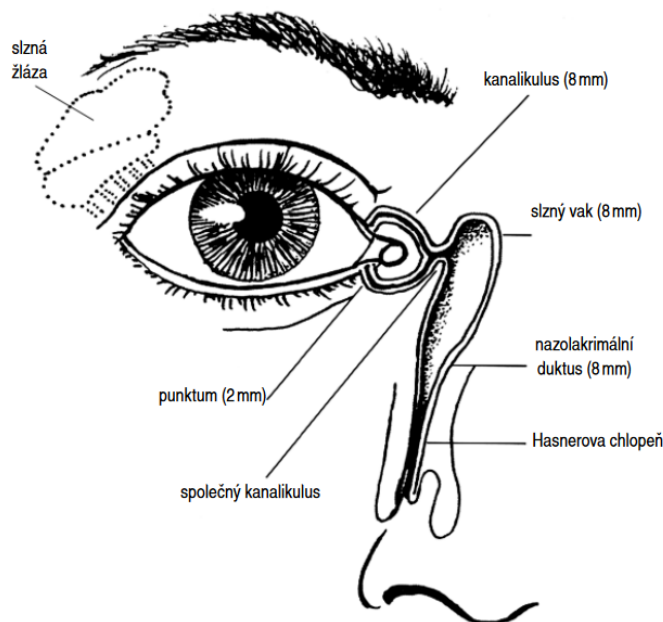
Slzný aparát, latinsky *apparatus lacrimalis*, je tvořen ze dvou částí. Rozlišujeme část slzotvornou a část slzovodnou. Sekreční činnost řídí slzotvorné orgány a odvodnou činnost orgány slzovodné. Mezi slzotvorné orgány řadíme slznou žlázu (*glandula lacrumalis*), která zajišťuje reflexní sekreci, tedy sekreci podmíněnou reakcí na okolní vlivy, jako jsou například dráždění nebo emoce. Palpebrální část žlázy, jejíž povrch je pokrytý spojivkou, je dobře viditelná část žlázy, které někdy prosvítají její uzlíky. Orbitální část žlázy je za normálních okolností nepřístupná klinickému vyšetření. Kromě slzné žlázy patří do slzotvorných orgánů i přídatné slzné žlázy (*glandulae accesoriae*) - to jsou především Wolfringovy žlázy uložené podél orbitálního okraje obou tarzů víčka a Krauseho žlázy lokalizované ve spojivkové tkáni. Přídatné slzné žlázy zajišťují bazální sekreci, tedy klidovou sekreci slz. Slzovodná část je

tvořena slznými body (puncta lacrimalia), umístěnými na okraji víček v blízkosti vnitřního koutku oka. Slzné body obsahují malé otvory, které fungují jako slzná pumpa. Slzy jsou touto pumpou nasávány do slzných kanálků (canaliculi lacrimales), ze kterých slzy dále pokračují k slznému váčku (saccus lacrimalis), který se nachází v jeho jamce a v prohlubenině slzné kůstky.

Funkcí slzotvorné části je především sekrece slz, zatímco slzovodná část slzy odvádí pryč ze spojivkového vlaku směrem do dutiny nosní. Obecně je hlavní funkcí slzného ústrojí ochrana a zvlhčování oka. [9, 4, 2, 3, 7, 5, 1, 61, 51, 48, 47, 64, 62]

2.6 Slzný film

Slzy produkované slznými žlázami jsou pomocí pohybu víček, tedy mrkáním rozprostírány po povrchu oka v tenké vrstvě (4,5 – 8,7 μm). Tato vrstva se nazývá slzný film. Slzný film je bezbarvá, průhledná, tenká struktura, skládající se ze tří vrstev: lipidová vrstva, vodná vrstva a mucinová vrstva. Vrstvou na povrchu je vrstva lipidová, která je produkována Meibomskými žlázkami. Jak název napovídá, obsahuje především mastné kyseliny, cholesterol a jeho estery, trycylglyceridy a sterolové estery. Nepochopitelně vrstva lipidů slouží k ochraně před odpařováním a přetékáním slz přes okraj dolního víčka, zatímco polární vrstva, složená z fosfolipidů a sfingolipidů, vytváří vazbu k vodní vrstvě. Lipidová vrstva také zabraňuje kontaminaci slzného filmu před kožními lipidy. Vodnou vrstvu tvoří voda s rozpuštěnými látkami, konkrétně solemi, glukózou, kyslíkem a proteiny jako lysozym, albumin, laktoferin a imunoglobuliny, které jsou důležité pro imunitní ochranu. Vodná vrstva především oko chrání, přičemž ochrana spočívá ve vyplavování zbytků odumřelých buněk a bakterií ven z oka, v antibakteriálním účinku proteinů a mimo jiné dodává vodná vrstva rohovce kyslík a podporuje hojení ran a obecně regeneraci. Vnitřní vrstva (mucinová) je produkována pohárkovými buňkami spojivky a nasedá přímo na epitel rohovky. Skládá se z glykoproteinů, které jsou povrchově aktivní a vytváří hydrofobní povlak, který mucinovou vrstvu váže na hydrofilní složky slzného filmu. Funkcí mucinové vrstvy je lubrikace pro hladký povrch oka a hladký skluz oka při mrkání. Pokud se do oka dostanou cizí částice či bakterie, mucinová vrstva je obalí a vyloučí z povrchu oka ven. [13, 3, 5, 10, 9, 7, 1, 4, 2, 12, 4, 48]



Obrázek 1: Anatomie slzného aparátu [9]

3 Nitrooční tekutina

Nitrooční tekutina (humor aquosus), též komorová tekutina, či nitrooční mok je hustá, tekutá látka v těle organismů, vyplňující prostor mezi oční čočkou a přední vrstvou oka, tedy rohovkou. Nitrooční tekutina je z velké části tvořena vodou (99 %), ale obsahuje i další látky, například některé ionty, proteiny, kyselinu askorbovou (vitamín C), glukózu, kyselinu mléčnou či aminokyseliny. Nitrooční tekutina je produkována z krevní plazmy výběžky řasnatého tělíska, konkrétně procesem ultrafiltrace, aktivní sekrece nebo pomocí difuze. Za normálních podmínek je nitrooční tekutina hypertonická, její osmotický tlak je tedy vyšší než osmotický tlak plasmu. Index lomu n této tekutiny je 1,337 a díky svému chemickému složení má hned několik funkcí. V první řadě vyživuje přední segment oka, především rohovku, čočku a stroma (trámčinu), dále odvádí metabolity, plní imunitní funkci a podílí se na transportu kyseliny askorbové do předního segmentu oka. Průhlednost a normální hydratace rohovky je udržována transportem tekutiny z rohovky do přední komory rychlostí 10 μ l za hodinu. Nitrooční tekutina je také úzce spjata s nitroočním tlakem, udržuje totiž jeho stálou hodnotu. [1, 5, 15, 7, 3, 14, 55, 56, 59, 57, 66]

Zmíněný obsah kyseliny askorbové, který je poměrně vysoký, je dán především jejím vlivem na ochranu tkání před volnými radikály, které vznikají účinkem UV záření, účinkem zánětu či traumatu. Nízký obsah glukózy způsobuje její využití při procesu získávání energie. Buňky řasnatého tělíska na sebe těsně navazují a za fyziologického stavu není umožněno

prostupování velkým ani středně velkým molekulám (hlavně bílkovinám), z krve do nitrooční tekutiny. Pokud dojde k porušení této bariéry vlivem traumatu, farmak, zánětu či jiné patologie, následkem bude narušení fyziologického složení nitrooční tekutiny. Nitrooční tekutina postupuje zornicí do přední komory a odtud odtéká trámčinou komorového úhlu. Malé množství této tekutiny odtéká řasnatým tělískem a duhovkou, nevýznamná část pak rohovkou. [7, 1, 5, 3, 2, 55, 56, 57, 59, 66]

Tabulka 1: Porovnání složení nitrooční tekutiny a plazmy [1]

	oční mok v přední komoře	plazma (umol/ml)
sodík	152	148
chloridy	131	107
bikarbonát	22	26
draslík	3,9	4
vápník	2,5	4,9
hořčík	1,2	1,2
fosfáty	0,6	1,1
urea	6,1	7,3
glukóza	2,8	5,9
laktát	4,5	1,9
askorbát	1,06	0,04

3.1 Tvorba nitrooční tekutiny

Tvorbu nitrooční tekutiny můžeme označit za proces, který se skládá za dvou fází. Začíná pasivní sekrecí (ultrafiltrací nebo difuzí plazmy z kapilár do stomatu) a následuje aktivní sekrece zprostředkovaná nepigmentovými ciliárními buňkami, kdy nitrooční tekutina postupuje do zadní komory. Proces ultrafiltrace je závislý na nitroočním a krevním tlaku, na množství kapilár a na tloušťce kapilární stěny. Cévní odolnost ovlivňují různé faktory, které na tento dvoufázový proces mohou působit. Jsou to různé fyziologické, neurologické a farmakologické podněty. [5, 3, 56, 57, 59, 66]

Tvorba nitrooční tekutiny je neustálý konstantní proces. Tedy stále se vytváří nová tekutina, která proudí ze zadní komory oční do přední komory oční, ze které následně odtéká Schlemmovým kanálem. Schlemmův kanál je lymfatická céva kruhového tvaru, nacházející se

v těsné blízkosti komorového úhlu. V případě, že odtok komorové tekutiny nefunguje správně, tekutina se kumuluje a dochází ke zvyšování hodnoty nitroočního tlaku. S komorovou vodou úzce souvisí oční onemocnění zvané glaukom, ke kterému dochází právě vlivem zvyšování hodnoty nitroočního tlaku. [7, 5, 16, 56, 57, 66]

3.2 Složení nitrooční tekutiny

Množství jednotlivých složek, které nitrooční tekutina obsahuje se v mnoha parametrech liší od složení plazmy, ze které nitrooční tekutina vzniká – viz. Tabulka č. 1. Nitrooční tekutina obsahuje především kyselinu askorbovou (vitamín C), pyruvát, tedy konjugovanou zásadu kyseliny pyrohroznové, která se účastní procesu buněčného dýchání. Obsahuje zároveň některé aminokyseliny a v menším množství i proteiny, glukózu a ureu, které se uplatňují v metabolismu rohovky a čočky. [1, 7, 4, 9, 5, 2, 56, 57, 55, 66]

Co se týče hodnoty pH, tak nitrooční tekutina je vzhledem k vysokému podílu chloridů a nižšímu obsahu bikarbonátu spíše kyslejší. Hodnota pH v přední komoře je 7,21 a v plazmě 7,40. V porovnání s plazmou je nižší i hladina proteinů, hodnota v přední komoře je o poznání nižší (0,024) než hodnota v plazmě (7 gm/dL). Naopak v nitrooční tekutině najdeme vyšší procento nízkomolekulárních proteinů albuminu a betaglobulinu. Hladina proteinů v nitrooční tekutině se může měnit, a to při poškození hematoikulární bariéry. Hematoikulární bariéru představuje membrána kontrolující vstup látek z krve do oka. Vstup látek je regulován pomocí tight junctions, neboli pomocí pevných spojení mezi buňkami nepigmentovaného epitelu řasnatého tělíska, které zabraňují vstupu velkých molekulárních látek z plazmy do nitrooční tekutiny. Látky, jako například bílkoviny, inzulin a dextran, procházejí přes hematoikulární bariéru jen velmi málo. Naopak látky s malými nebo ionizovanými molekulami procházejí bariérou o poznání lépe. Velmi lehce pak procházejí molekuly rozpouštědel, například etylalkohol, thiourea a sulfonamidy. [1, 7, 2, 56, 57, 55, 4, 9, 59, 66]

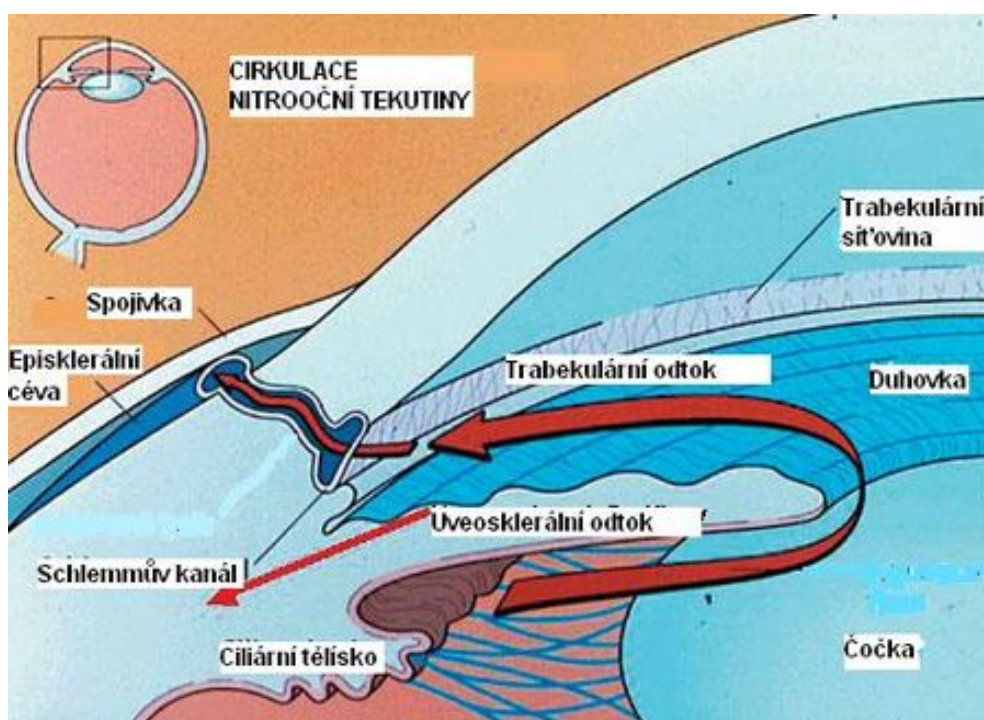
3.3 Dynamika nitrooční tekutiny

Jak již bylo zmíněno, nitrooční tekutina je produkována nepřetržitě. Za normálních okolností udržuje dynamika nitrooční tekutiny stálý objem a nitrooční tlak. Mezi faktory, které mohou negativně ovlivnit tuto dynamiku (tvorbu a odtok nitrooční tekutiny) patří věk. Vlivem věku se totiž snižuje ovlivňuje produkce nitrooční tekutiny, a proto se s věkem zvyšuje i riziko výskytu očního onemocnění glaukom. Dynamiku nitrooční tekutiny může ovlivnit i úraz, snížení až úplné zastavení přítoku tepenné krve do tkáně (ischémie). [1, 7, 14, 58, 57, 66]

„Dynamika nitrooční tekutiny v průběhu 24 hodin u zdravého dospělého člověka je přibližně $2,3 \mu\text{l}/\text{min}$. Nejrychlejší je u aktivního jedince ráno od 8 hodin do poledne $2,91 \pm 0,77 \mu\text{l}/\text{min}$. Pokles dynamiky nastává mezi polednem a 16. hodinou $2,66 \pm 0,58 \mu\text{l}/\text{min}$. Nejpomalejší tok je ve spánku mezi půlnocí a 6. hodinou ránní $1,23 \pm 0,41 \mu\text{l}/\text{min}$. U žen i mužů jsou hodnoty podobné. V průběhu života nastává zpomalení hydrodynamiky o 25 % (přibližně o 3,2 % každou dekádu věku).“ [1]

Cirkulace nitrooční tekutiny je tedy proměnlivá hodnota, která se během dne mírně liší dle ovlivňujících faktorů. Kromě výše zmíněných faktorů, které tuto dynamiku ovlivňují, můžeme zpomalení docílit i pomocí farmaceutických látek, které působí na ledviny – diuretik, například podáním inhibitorů karboanhydrázy, β -adrenergních antagonistů a α_2 -selektivních adrenergních agonistů. Naopak mírného zrychlení hydrodynamiky docílíme podáním epinefrinu a izoproterenolu. Dynamiku neovlivňují fenylefrin, lokální anestetika, fenylefrin, dexametazon, pilokarpin a deriváty prostaglandinů. [1, 7, 49, 58, 57, 55, 59, 66]

Aby nitrooční tekutina mohla uvnitř oka splňovat všechny zmíněné funkce, musí nitrooční tekutina volně proudit ze zadní komory oční do přední komory oční. K této cirkulaci dochází na základě změny teploty. Teplota v zadní komoře je vyšší než v přední komoře, což vysvětluje fakt, že teplota tekutiny přitékající zornicí je teplejší, čímž dochází k proudění směrem nahoru za současného odvodu chladnější tekutiny směrem dolů. [3,1, 7, 49, 58, 57, 55, 59, 66]



Obrázek 2: Cirkulace nitrooční tekutiny [17]

4 Nitrooční tlak

Nitrooční tlak (NOT), zjednodušeně můžeme pojmenovat jako tlak uvnitř oka, je fyziologická hodnota, která je důležitá pro správné fungování oka a dobré vidění. Na změnu nitroočního tlaku reaguje zrakový nerv a konkrétně při jeho vzestupu může dojít k jeho nevratnému poškození. Nitrooční tlak je daný poměrem mezi přítokem nitrooční tekutiny a mezi jejím odtokem do krevního řečiště. Značí tedy rovnováhu mezi množstvím nitrooční tekutiny, která se tvoří v ciliárním tělesu a mezi množstvím tekutiny, která vyteče ven trabekulární síťovinou nebo uveosklerální cestou. Pokud dojde k porušení této rovnováhy, dojde ke změně množství nitrooční tekutiny uvnitř oka a následně ke stoupnutí nebo snížení hodnoty nitroočního tlaku. Dle Seidelovy studie můžeme nitrooční tlak vypočítat pomocí následujícího vzorce:

$$\text{Průtok nitrooční tekutiny} = (P_i - P_e)/R \quad (1)$$

kde P_i je nitrooční tlak, P_e je episklerální venózní tlak a R je odolnost trabekulární síťoviny. [1, 4, 7, 23, 47, 70, 19, 18, 2, 67, 68, 69, 55, 59]

4.1 Charakteristika a hodnoty nitroočního tlaku

Nitrooční tlak je v oftalmologické praxi velmi důležitým parametrem při určování patologických stavů, např. onemocnění zvané glaukom. NOT je charakterizován jako poměr mezi vyprodukovanou nitrooční tekutinou a snadností jejího odtoku. Normální NOT lze definovat jako tlak, při kterém nedochází k poškození zrakového nervu za udržení stálého prostředí uvnitř oka. Jak definice napovídá, hlavním ovlivňujícím faktorem je nitrooční tekutina, konkrétně dynamika nitrooční tekutiny. Ta totiž udržuje stálý objem oka a tím i relativně stálý nitrooční tlak. [7, 1, 2, 19, 16, 23, 70, 38, 18, 27, 55, 70, 71, 73, 72]

Hodnota nitroočního tlaku se udává v torrech nebo milimetrech rtuťového sloupce (mmHg). Jeho hodnota během dne mírně kolísá (zhruba o 0,39 - 0,66 kPa). Ráno je tato hodnota nejvyšší a v průběhu dne klesá, což je dáváno do souvislosti s kolísáním hladiny hormonů v lidském těle. Dále je kolísání hodnoty NOT spojováno s výší krevního tlaku, se srdečním rytmem, s dýcháním, nervovým systémem a s intenzitou fyzické aktivity. Mezi normální hodnoty nitroočního tlaku řadíme rozpětí od 10 do 20 mmHg (20 mmHg = 2,66 kPa), při čemž průměrná hodnota je 16 mmHg. Hodnota nitroočního tlaku vyšší než 21 mmHg bývá už označována jako rizikový faktor pro zmíněné onemocnění glaukom. V případě vyšších hodnot NOT by se mělo provést vyšetření zorného pole, duhovkorohovkového úhlu a terče zrakového

nervu. Vyšší hodnota NOT ale nemusí nutně znamenat přítomnost tohoto onemocnění. Pokud při vyšetření nejsou nalezeny změny očního pozadí a změny v zorném poli, může se jednat o oční hypertenzi. Na druhou stranu i při nižších hodnotách, než je 21 mmHg můžeme diagnostikovat glaukom, jedná se o glaukom s normální tenzí. Při měření nitroočního tlaku musíme brát v potaz centrální tloušťku rohovky, na které závisí odchylka od reálných hodnot NOT. Je ale mnoho dalších faktorů, které tuto fyziologickou hodnotu mohou ovlivnit. Kontrola nitroočního tlaku by měla být součástí každého vyšetření v oftalmologické praxi a součástí každé vyšetřovny. [1, 7, 2, 16, 19, 23, 38, 27, 18, 70, 71, 73, 72, 66, 55]

4.2 Hypotonie a hypertonie (kritické hodnoty nitroočního tlaku)

Jako kritickou hodnotu nitroočního tlaku označujeme takovou hodnotu, při které dochází k poškození cévního zásobení oka a následně ke změnám zřetelného nervu. Tato hodnota se pohybuje v průměru okolo $31 \pm 2,5$ mmHg. Pokud jsou tyto kritické hodnoty překročeny, v oční tkáni dochází k procesům, které způsobují celkové poškození očního aparátu. V oftalmologické praxi se používá termín cílový tlak, což je hodnota, při které k těmto poškozením nedochází. Termín se užívá ve spojitosti s léčbou pacientů s glaukomem, kde při kritických hodnotách NOT, dochází k progresi změn zorného pole a zřetelného nervu. V takovém případě je nutné zajistit právě nižší hodnoty cílového tlaku, aby k těmto změnám nedocházelo. Hodnoty se liší u jednotlivých pacientů, záleží na rozsahu poškození, věku, stavu cév a na výše zmíněné tloušťce rohovky. U pacientů, kterým naměříme tenkou centrální tloušťkou rohovky můžeme také naměřit i velmi nízký nitrooční tlak, ale bez klinických příznaků hypotonie. Naopak u pacientů s velkou centrální tloušťkou rohovky nemusíme naměřit kritické hodnoty nitroočního tlaku, přitom se o hypotonii jedná. [2, 1, 4, 7, 20, 21, 27, 38, 73, 55, 66, 71, 67]

- Hypotonie – mezi příčiny může patřit zánět, ischemie vlivem nedostatečného cévního zásobení, fotokoagulace či kryoablace řasnatého tělíska, změna dynamiky nitrooční tekutiny vlivem farmak, odchlípení sítnice, dehydratace, neléčený diabetes melitus a další. [22]
- Hypertonie – mezi hlavní příčiny patří glaukom, ale u některých pacientů nelze tato diagnóza prokázat ani po desítkách let. V každém případě by pacienti s oční hypertonií měli být sledováni, současná medicína zatím nedokáže rozeznat oční hypertenzi od glaukomu bez anatomických změn. [23, 7, 2, 27, 38, 73, 55, 66, 71, 67, 73, 55]

V dnešní době je hned několik faktorů, které ovlivňují hodnotu nitroočního tlaku. Vliv má i životní styl, například pravidelné užívání kofeinu či tabáku, dále steroidních hormonů a

jiných látek. Alkohol v malém množství a užívání marihuany nitrooční tlak snižují, ale vzhledem k legislativě není možné tento způsob terapie pacientům doporučovat. Stejně tak velké množství anestetik snižuje hodnotu nitroočního tlaku. Vysokou hodnotu nitroočního tlaku získáme i při měření pacienta, který v průběhu měření svírá víčka. Je třeba věnovat pozornost procesu měření, aby nedošlo k naměření falešných hodnot. Detailněji se faktorům ovlivňujícím hodnotu nitroočního tlaku věnuji v kapitole 4.3. [24, 2, 7, 14, 73, 38, 55, 66, 71, 67, 27, 74]

4.3 Faktory ovlivňující hodnotu nitroočního tlaku

- Věk – Dle studií je prokázáno, že mezi věkem a hodnotou NOT je souvislost. S přibývajícím věkem dochází k nárustu hodnoty nitroočního tlaku. Mezi faktory, které tuto souvislost způsobují patří vyšší krevní tlak, vyšší tep srdce, případně obezita.
- Pohlaví – Některé studie poukazují i na souvislost mezi NOT a pohlavím. Ženy mají častěji vyšší nitrooční tlak než muži.
- Hormonální faktory – Svoji roli hrají i hormonální změny, například v těhotenství může být hodnota NOT nižší, naopak při menopauze hodnota mírně stoupá. Jedinci s diabetem mají hodnotu NOT obecně vyšší,
- Rasa – Černá rasa má obecně vyšší nitrooční tlak než rasa bílá. Výskyt glaukomového onemocnění je u nich až 4x vyšší. Není zcela zřejmá příčina, zda jsou tyto fakta založena na genetice nebo na životním prostředí.
- Genetika – Je zřejmé, že dědičnost má vliv na hodnotu NOT, ale není prokázáno jak velkou. Nitrooční tlak je multifaktoriálně a polygenně podmíněn. Například v rodinách, kde se vyskytuje glaukomové onemocnění je riziko rozvoje až 8x větší.
- Oční patologie – Hodnota nitroočního tlaku může být ovlivněna i různými očními onemocněními. Například přední uveitidou nebo při odchlípení sítnice hodnota NOT bývá nižší.
- Tloušťka rohovky – centrální tloušťka rohovky ovlivňuje naměřené hodnoty NOT. Průměrná tloušťka rohovky se udává 555 μ m. V případě, že je tloušťky rohovky výrazně vyšší nebo naopak nižší, může být hodnota NOT falešně nižší – u tenké rohovky nebo falešně vyšší u silné rohovky, a to hlavně při měření bezkontaktním tonometrem.
- Fyzická zátěž – Vlivem osmolarity a acidózy se při vytrvalostních sportech může hodnota NOT přechodně snížit.
- Kardiovaskulární faktory – Při zvýšeném krevním tlaku a srdečním tepu může dojít i ke zvýšení hodnoty NOT.

- Roční období – Vlivem atmosférického tlaku a světla je hodnota NOT v zimě o něco nižší než v létě.
- Životní styl – Z výšené BMI (body mass index), častá konzumace alkoholu či cigaret ovlivňuje hodnotu NOT. Alkohol NOT snižuje, naopak například častá konzumace kofeinu NOT zvyšuje.
- Farmaka, drogy – Vlivem farmak a drog se mění hodnota NOT. Užívání marihuany a anestetik NOT snižují, naopak anestezie NOT zvyšuje.
- Pohyb očních víček – Při pevnějším sevření víček se hodnota NOT zvýší, naopak při mrkání se sníží. [25, 33, 14, 7, 1, 38, 27, 74, 55, 66, 75]

5 Měření nitroočního tlaku (Tonometrie)

Měření nitroočního tlaku neboli tonometrie, je metoda založená na principu působení vnější síly na oči bulbus, následkem které dojde buď k oploštění, nebo k vtlačení části bulbu. K vyšetření se využívají přístroje zvané tonometry. Tonometrie prošla značným vývojem a dnes existuje hned několik přístrojů fungujících na různých principech. Mezi první metody vyšetření patřilo určení přibližné hodnoty nitroočního tlaku pohmatem. Metoda je nazývána jako palpační metoda tonometrie s spočívá v tlačení prsty na oko přes zavřená víčka. Tato původní metoda je využívána dodnes, pokud je potřeba rychle zjistit přibližnou hodnotu nitroočního tlaku. Tonometrie je součástí běžné oftalmologické praxe a měl by na ni být kladený důrazný zřetel, protože jeho patologicky zvýšené hodnoty mohou být příčinou očních onemocnění, které mohou trvale poškodit zrak. Mezi takové onemocnění patří například glaukom neboli zelený zákal. Pokud není tlak sledován, glaukomové změny rostou, dochází k zúžení zorného pole a následně může dojít až ke slepotě. [15, 4, 23, 74, 7, 26, 67, 55, 66]

Jak bylo zmíněno, dnes existuje hned několik možností, jak změřit hodnotu nitroočního tlaku. Tonometrie využívá jak kontaktních, tak bezkontaktních metod měření nitroočního tlaku. Nejužívanější metody v oftalmologické praxi jsou především Goldmannův aplanační tonometr a bezkontaktní tonometr. Obecně můžeme hodnoty NOT měřit pomocí impresního, aplanačního nebo bezkontaktního tonometru. Nejnovější metodou je přístroj zvaný ICare, ten pracuje na principu zpětného odrazu. Zmíněné modely tonometrů budou podrobněji popsány v dalších kapitolách. [7, 23, 4, 7, 30, 1, 77, 55, 66]

Mezi další metody patří například dynamický konturní tonometr Pascal, který byl na trh uveden v roce 2002. Tento digitální kontaktní tonometr se přiděluje na šěrbinovou lampu a povrchu rohovky se dotýká pomocí silikonového hrotu na kterém je umístěn piezoelektrický

senzor. Měření je velmi rychlé, trvá po dobu několika sekund a zaznamenává amplitudu očního pulsu, která se rovná rozdílu mezi průměrným systolickým a diastolickým tlakem. Výhodou je, že tuto metodu nijak neovlivňuje tloušťka rohovky, takže měření můžeme provést i u nepravidelné rohovky. Měření je nutné provést za anestezie rohovky. Anestezii rohovky musíme provést i při měření pomocí Schiötzova impresního tonometru, který funguje na podobném principu jako hloubkoměr, který měří hloubku deformace rohovky. Při této metodě je přístroj přiložen kolmo na rohovku, aby byl pístu umožněn volný pohyb při impresi rohovky. Stupeň imprese se pak měří pomocí pohybu jehly na stupnici. Tento typ tonometru není v dnešní době tolik používán. [15, 7, 4, 23, 26, 30, 66, 55, 75]

5.1 Historie tonometrie

Poprvé byl zvýšený nitrooční tlak změřen arabským lékařem už v 10. století. V tu dobu ale nebyla známá příčina ani důsledky vyšších nebo nižších hodnot nitroočního tlaku. Specifická souvislost mezi zvýšeným nitroočním tlakem a očním onemocněním glaukomem byla poprvé popsána Richardem Banisterem v roce 1622. Další zmínky o důležitosti měření nitroočního tlaku padly v roce 1826, kdy na výroční schůzi British Medical Association zmínil Sir William Bowman své poznatky z praxe, a to právě o měření přibližné hodnoty NOT pomocí palpce. K této metodě je třeba dostatek zkušeností, výsledná hodnota NOT je pouze přibližná (normotenze, hypotenze, hypertenze). V případě, že byly pomocí palpce určeny vyšší nebo nižší hodnoty NOT, bylo potřeba změřit jeho přesnou hodnotu, aby mohla být v případě glaukomového onemocnění zahájena efektivní léčba. [27, 1, 26, 14, 7, 4, 19, 20, 23, 28, 31, 55, 66, 75]

Brzy se tonometrie stala základní dovedností a součástí oftalmologické praxe. Když byla koncem 19. století přestavena první mechanická tonometrie, mnozí oftalmologové si byli natolik jisti svou schopností odhadnout NOT palpací, že považovali novou technologii za nepotřebnou. [31, 14, 1, 7, 6, 19, 20, 55, 75]

Albrechtovi von Graefeovi jsou připisovány první pokusy o vytvoření přístrojů, které mechanicky měřily hodnotu NOT, a to na počátku 60. let 19. století, ale jeho navrhované přístroje nebyly nikdy navrženy ani vyrobeny. To se podařilo až Dondersovi, který v polovině 60. let 19. století navrhl první přístroj schopný odhadnout hodnotu NOT. Principem Dondersova nástroje bylo vytěsnění nitrooční tekutiny kontaktem se sklérou. Oftalmolog nejprve změřil zakřivení skléry v místě kontaktu, poté toto měření použil jako referenční hodnotu pro měření prohloubení rohovky. [31, 26, 14, 28, 19, 20, 7, 4, 1, 6, 55, 66, 75]

Smith a Lazerat tuto technologii zdokonalili v 80. letech 19. století a objev kokainu Carlem Kollerem v roce 1884 vedl k měření pomocí impresní tonometrie. Za pomoci rohovkového anestetika (kokainu) se tato metoda tonometrie stala první volbou měření NOT. Impresní tonometrie ale měla i svoje nedostatky, a to hlavně vytlačení velkého množství nitrooční tekutiny, což vedlo k nepřesnosti v měření. Bylo tedy třeba upravit tuto metodu tak, aby množství vytlačené nitrooční tekutiny při kontaktu oka s tonometrem bylo minimální. Průlom nastal, když Adolf Weber v roce 1867 zkonstruoval první aplanační tonometr. K nové metodě tonometrie byli opět mnozí oftalmologové skeptičtí. Po dvou desetiletích Alexei Maklakoff a další pracovníci představili novou verzi aplanačních tonometrů. Na počátku 20. století existovalo asi 15 modelů tonometrů. Maklakoffův model z roku 1892 byl základem i pro dnešní aplanační tonometrii. [29, 28, 7, 4, 1, 6, 26, 19, 20, 31, 14, 23, 66, 55, 75]

První mechanický tonometr užívaný v klinické praxi navrhl a na počátku 20. století představil Hjalmar Schiøtz. Nástroj vynikal svojí jednoduchostí a přesností. Byl tedy rychle přijat oftalmologickou společností a od 10. let se stal novým zlatým standardem. Další inovace vedly k jeho zvýšenému používání a souvislosti mezi normálním a glaukomovým oku byly stále jasnější. V roce 1950 byl Goldmannem představen nový typ tonometru, tonometr aplanační. Goldmannovy aplanační tonometry vytlačují při měření tak málo tekutiny, že změny tuhosti oka jsou většinou zanedbatelné. Tonometry používané dnes spoléhají na principy, které poprvé představili Maklakoff, Schiøtz a Goldmann. [29, 28, 7, 1, 6, 4, 26, 23, 66, 55, 75]

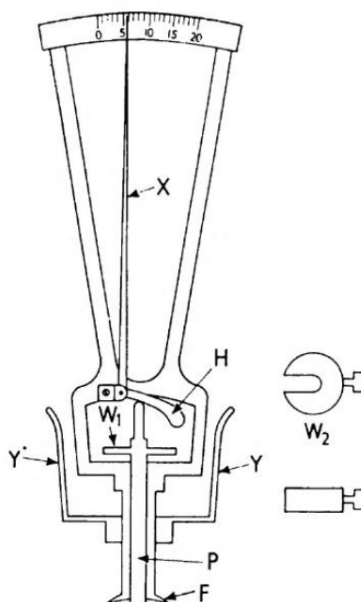
V současné době se používá i bezkontaktní metoda tonometrie. Dnešní přístroje jsou velmi přesné a snadno se používají. Přesto je i dnes používána metoda měření hodnoty NOT pomocí palpce, Někteří oftalmologové mohou tuto metodu preferovat při odhadu NOT u pacientů například s keratoprotézou. [31, 28, 14, 1, 66, 55, 75]

5.2 Schiøtzův impresní tonometr

Schiøtzův impresní tonometr (obr. č. 3) je kontaktní typ tonometru, představující jemnomechanický přístroj, který pracuje podobně jako hloubkoměr. Stupnice tonometru je členěna na 20 dílků s tím, že každý dílek odpovídá 1 mm deformace rohovky. Deformace rohovky je způsobena tyčinkou měřidla, která je přiložena kolmo na střed rohovky. Při této metodě je potřeba lokální anestezie rohovky. [31, 2, 1, 16, 84, 85, 29, 28, 23, 55, 75]

Součástí Schiøtzova impresního tonometru je kovový píst (P), který se pohybuje skrze prostor v duté kovové plošince (F). Píst nese zařízení (H) spojené s ručičkou (X), která ukazuje hodnotu na stupnici. Základní přístroj má hmotnost přibližně 5,5 g. Závaží navyšujeme podle

tvrdosti oka přidavnými závažími o hmotnosti 7,5 až 15 g (W_2). Čím více píst tlačí na rohovku, tím vyšší bude pak výsledná hodnota na stupnici tonometru. To znamená, že čím vyšší bude hodnota na stupnici, tím nižší je výsledná hodnota nitroočního tlaku. Každá jednotka na stupnici tonometru představuje posunutí pístu o 0,05 mm. K určení výše NT musíme použít přepočtové tabulky. [34, 2, 29, 33, 1, 16, 84, 85, 23, 55, 75]




Obrázek 3: Schéma Schiötzova tonometru [34]

Před měřením pomocí Schiötzova impresního tonometru je pro co největší přesnost hodnot potřeba přístroj kalibrovat a sterilizovat. Kontrola kalibrace je provedena přiložením na kovový blok, který představuje tzv. umělou rohovku. Pokud je na stupnici nula, přístroj je správně kalibrován a připraven k měření. Sterilizaci můžeme provést několika způsoby, například plamenem, alkoholem nebo éterem. [25, 2, 29, 23, 1, 16, 84, 85, 86, 66, 55, 75]

Kromě přístroje se musí řádně připravit a informovat i pacient. Měření se provádí vleže, kdy pacient fixuje určitý bod na stopě. Aplikuje se lokální rohovková anestezie, poté oční lékař prsty oddělí lehce oční víčka a plošinku tonometru přiloží přímo na povrch rohovky. Přístroj musí být přiložen kolmo, aby bylo umožněno volnému pohybu při impresi rohovky. Po přiložení plošinky tonometru na oko se přístroj ustálí na jedné hodnotě, při čemž se ručička mírně kmitá do obou stran stupnice, což může být zapříčiněno vlivem arteriálních pulsů v oku. V případě, že ručička tonometru na stupnici ukazuje mezi 3. a 6. dílkem, při závaží o hmotnosti 5,5 g, můžeme toto měření považovat za správné. Pokud však ručička ukazuje hodnoty pod 3.

dílkem, změníme hmotnost závaží na 7,5 g a měření provedeme znovu. Pokud ručička stále ukazuje pod 3. dílek, přidáme závaží o vyšší hmotnosti, tedy 10,0 g. Je důležité, aby pacient při měření nesvíral víčka a nebyla tak naměřena falešně vysoká hodnota NOT. [35, 2, 29, 1, 16, 85, 84, 23, 55, 66, 55, 75]

Výhodou Schiötzova impresního tonometru je snadná obsluha, jeho konstrukce – je přenosný a také v porovnání s ostatními přístroji je výhodou jeho příznivá cena. Při správném používání přístroje jsou hodnoty naměřené tímto tonometrem velmi přesné, ale mohou se lišit od hodnot naměřených například pomocí Goldmannova aplanačního tonometru. Musíme brát v potaz, že když přiložíme poměrně těžký tonometr přímo na oko, jeho váha sama o sobě zvyšuje hodnotu nitroočního tlaku a mohou tak vznikat nepřesnosti v měření. [14, 25, 2, 1, 16, 84, 85, 29, 23, 66, 55, 75]


Eichtabelle 1955
 Calibration Scale nach Friedenwald, Kronfeld, Ballintine und Trotter
 Gebrauchsanweisung auf der Rückseite

Zeiger-Ausschlag Scale Reading	Augendruck –		Pressure, mm Hg	
	Tonometerstiftgewicht		Plunger Load	
	5.5 GM.	7.5 GM.	10.0 GM.	15.0 GM.
0.0	41.5	59.1	81.7	127.5
0.5	37.8	54.2	75.1	117.9
1.0	34.5	49.8	69.3	109.3
1.5	31.6	45.8	64.0	101.4
2.0	29.0	42.1	59.1	94.5
2.5	26.6	38.8	54.7	88.0
3.0	24.4	35.8	50.6	81.8
3.5	22.4	33.0	46.9	76.2
4.0	20.6	30.4	43.4	71.0
4.5	18.9	28.0	40.2	66.2
5.0	17.3	25.8	37.2	61.8
5.5	15.9	23.8	34.4	57.6
6.0	14.6	21.9	31.8	53.6
6.5	13.4	20.1	29.4	49.9
7.0	12.2	18.5	27.2	46.5
7.5	11.2	17.0	25.1	43.2
8.0	10.2	15.6	23.1	40.2
8.5	9.4	14.3	21.3	38.1
9.0	8.5	13.1	19.6	34.6
9.5	7.8	12.0	18.0	32.0
10.0	7.1	10.9	16.5	29.6
10.5	6.5	10.0	15.1	27.4
11.0	5.9	9.0	13.8	25.8
11.5	5.3	8.3	12.6	23.3
12.0	4.9	7.5	11.5	21.4
12.5	4.4	6.8	10.5	19.7
13.0	4.0	6.2	9.5	18.1
13.5		5.6	8.6	16.5
14.0		5.0	7.8	15.1
14.5		4.5	7.1	13.7
15.0		4.0	6.4	12.6
15.5			5.8	11.4
16.0			5.2	10.4
16.5			4.7	9.4
17.0			4.2	8.5
17.5				7.7
18.0				6.9

Obrázek 4: Přepočtová tabulka pro Schiötzův impresní tonometr podle Friedenwalda, Carl Zeiss, Jena, 1955 [40]

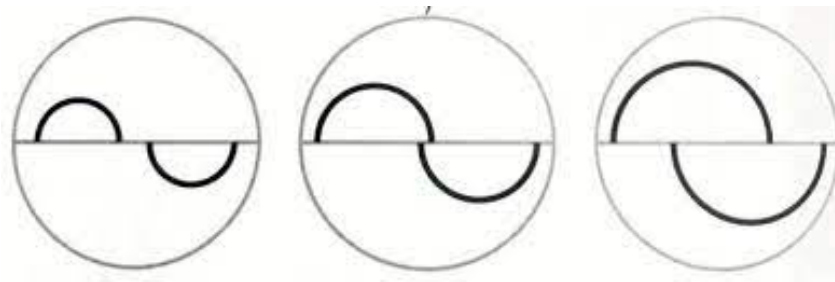
5.3 Goldmannův aplanační tonometr (GAT)

Jak je patrné z názvu, tato metoda tonometrie využívá aplanaci neboli oploštění povrchu rohovky k měření nitroočního tlaku. Všechny typy aplanačních tonometrů pracují na principu Imbert – Fickova zákona, též známý jako Maklakoff – Fickův zákon. Ten tvrdí, že tlak $P_{[kPa]}$ nacházející se uvnitř ideální koule s tenkými a pružnými stěnami je roven síle $F_{[N]}$, která je potřebná k aplanaci povrchu této koule plochou $S_{[m^2]}$. Velikost oploštěné plochy je vybrána tak, aby se navzájem kompenzovala elasticita rohovky a povrchové pnutí slzného filmu. Poté platí vztah:

$$P_{[kPa]} = F_{[N]} / S_{[m^2]} \quad (2)$$

Mezi kontaktními metodami je Goldmannův aplanační tonometr nejpoužívanější, řadí ho to k mezinárodnímu standardu oftalmologické praxe. Právě pomocí Goldmannova tonometru je prováděna většina studií. Goldmannův aplanační tonometr může být používán samostatně, ale většinou je součástí šterbinové lampy. Hlavní součástí přístroje je biprizma (dvojitý klín), které je tvořeno dvěma navzájem otočnými klíny. Klíny umožňují plynulou změnu hodnoty pD dle jejich vzájemné polohy. [4, 6, 14, 38, 2, 23, 7, 80, 30, 31, 23, 1, 16, 85, 66, 55, 75]

Měření se provádí vsedě, na rozdíl od Schiötzova tonometru není možné tuto metodu použít vleže. Pacient se tedy posadí ke šterbinové lampě, kdy čelo i brada doléhá na opěrku. Pacient fixuje jeden bod před sebou a snaží se nechat oči co nejvíce otevřené. Před samotným měřením se aplikuje lokální rohovková anestezie spolu s fluoresceinem, což je barvivo, kterým obarvíme slzný film. Osvětlení na šterbinové lampě zapneme na maximum a přesadíme modrý filtr. Díky obarvení slzného filmu můžeme vidět rozdělení slzného menisku na dva půlkruhy. Kolečkem přidáváme míru tlaku a zvyšujeme tak tlak pera na aplanační hranol, až celou plochu rohovky oploští. Hodnotu nitroočního tlaku lze změřit, pokud se vnitřní části půlkruhů dotknou vlivem působení tohoto tlaku na rohovku. Goldmannova teorie předpokládá, že síla 1 g potřebná k aplanaci je rovna hodnotě nitroočního tlaku ve výši 10 mmHg. Toto měření je závislé na korneální rigiditě a na adhezni síle slzného filmu mezi rohovkou a kuželem tonometru. [1, 4, 30, 2, 38, 14, 7, 80, 23, 16, 85, 6, 66, 55, 75]



Obrázek 5: Konfigurace půlkruhů slzného menisku [1]

Nepravidelnosti rohovky a centrální tloušťka rohovky (CCT) mohou ovlivňovat výsledek Goldmannovy aplanační tonometrie. [6]

5.4 Bezkontaktní tonometrie

Přístroje bezkontaktní tonometrie aplanují rohovku proudem vzduchu, takže nedochází k přímému kontaktu přístroje s povrchem oka. Tím se teoreticky vyhneme nutnosti sterilizovat nástroj, ale nedávná studie zjistila, že pofukování vzduchu vytváří aerosol se slzným filmem, který by mohl potenciálně obsahovat infekční materiál. Riziko přenosu infekce je ale minimální. Tím, že nedochází k přímému kontaktu přístroje s povrchem oka, není třeba lokální anestezie rohovky. První bezkontaktní tonometr byl sestaven v roce 1972 optikem Bernardem Grolmanem.

U bezkontaktní tonometrie je využíván tlak pulzu vzduchu, který aplanuje rohovku v její centrální části. Společně s pulzem vzduchu je vyslán infračervený paprsek, který se po aplanaci rohovky vrátí zpět na systém fotodiod, čímž vytvoří elektrický signál vyhodnocující maximum světelného signálu. Čas od vypuštění proudu vzduchu až doby aplanace je přímo úměrný hodnotě NOT. Bezkontaktní tonometry jsou dnes běžnou součástí autorefraktometrů a používat je může i nelékařský personál. [1, 36, 23, 77, 83, 7, 2, 23, 6, 66, 86, 55, 75]

Mezi výhody bezkontaktní tonometrie patří především fakt, že nedochází k přímému kontaktu měřicího přístroje s okem pacienta, tím pádem je zde minimální riziko přenosu infekce. U měření nitroočního tlaku metodou bezkontaktní tonometrie není potřeba anestezie rohovky, což je výhodou u citlivých dětí nebo dospělých. Metoda je rychlá, snadná a efektivní. Doporučuje se provést více měření, nejlépe tři, kvůli vlivu krátkodobého kolísání. Naopak nevýhodou je, že většina přístrojů bezkontaktní tonometrie nepočítá s tloušťkou rohovky či její nerovnoměrností. Měření je také obtížné u neklidných pacientů, kteří nejsou schopni zafixovat jeden bod nebo u očí po keratoplastikách či perforujících poranění. [36, 83, 1, 6, 7, 2, 23, 77, 66, 86, 55, 75, 71]

Příkladem bezkontaktní tonometrie je přístroj ORA (Ocular Response Analyzer). ORA je automatický bezkontaktní tonometr, který využívá obousměrného aplanačního procesu za rychlého proudu vzduchu. Vzduchový náraz způsobuje deformaci rohovky směrem dovnitř (první aplance). Po snížení tlaku vzduchu se rohovka navrácí do původní polohy (sekundární aplance). Výchozí jsou čtyři hodnoty: NOT korelovaný dle Goldmanna, NOT kompenzovaný rohovkou, hystereze rohovky (CH) a faktor rostoucí rohovkové rezistence (CRF).



Obrázek 6: Bezkontaktní tonometr (ORA) [46]

ORA je jedním z prvních automatických přístrojů, které kromě nitroočního tlaku měří i další biomechanické vlastnosti rohovky a následně pomocí těchto hodnot koriguje hodnotu nitroočního tlaku. Ocular Response Analyzer měří hodnotu nitroočního tlaku nezávisle na její tloušťce a zároveň poskytuje parametry, které reprezentují biomechaniku rohovky. [1, 38, 37, 4, 23, 83, 7, 2, 77, 66, 55, 75, 86]

6 Hystereze rohovky a tloušťka rohovky

Hystereze rohovky a tloušťka rohovky jsou důležitými parametry a jsou úzce spjaty s hodnotou nitroočního tlaku. Některé metody tonometrie, jako například zmíněný bezkontaktní tonometr ORA, s těmito parametry pracují a následně korigují hodnotu nitroočního tlaku. [41, 1, 42, 45, 55]

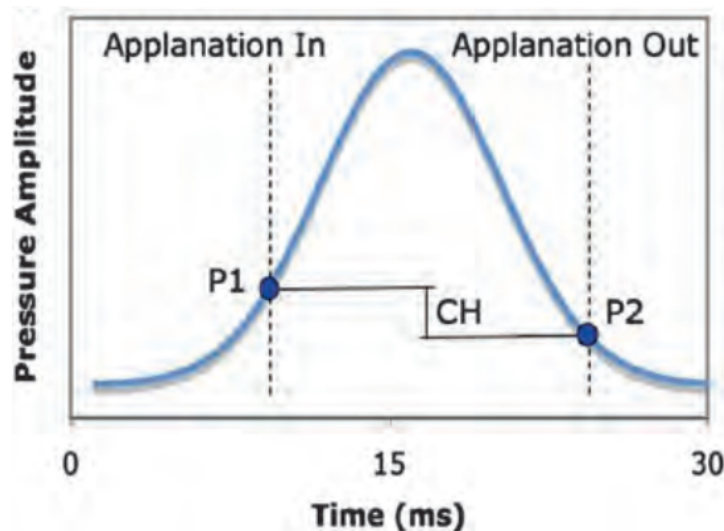
6.1 Hystereze rohovky

Hystereze je udávána jako rozdíl hodnoty nitroočního tlaku při běžné aplanci rohovky vzduchem, při kterém se rohovka prohýbá směrem dovnitř a mezi tlakem aplanované rohovky,

kdy se rohovka vrací do tvaru, ve kterém byla před aplanací. Zjednodušeně může hysterezi popsat jako schopnost tkáně vrátit rohovku do původního tvaru po působení vnější síly. Tato hodnota je udávána v milimetrech rtuťového válce [*mmHg*]. Rohovková hystereze je výchozí biomechanická vlastností rohovky, která úzce souvisí s její elasticitou a viskozitou. Průměrná rohovková hystereze dospělých se pohybuje okolo 12 mmHg, velmi podobnou hodnotu hystereze rohovky mají i děti. Díky této hodnotě můžeme kontrolovat progresi očních onemocnění mezi které patří glaukom a zamezit tak zhoršování zraku. [41, 42, 1, 45, 55]

Hystereze rohovky je měřena pomocí bezkontaktního tonometru ORA (Ocular Response Analyzer), který tuto hodnotu měří neinvazivním způsobem. Princip fungování tohoto tonometru a jeho výhody a nevýhody jsou popsány v kapitole 5.4.

Hodnoty, které získáme měřením můžeme vyobrazit pomocí grafu, kde jsou viditelné dvě zmíněné hodnoty – tlak při běžné aplanaci rohovky vzduchem, při kterém se rohovka prohýbá směrem dovnitř a mezi tlak aplanované rohovky, kdy se rohovka vrací do tvaru, ve kterém byla před aplanací. Díky těmto bodům poznáme, kolik síly je zapotřebí k oploštění rohovky, když tlak vzduchu roste směrem nahoru (P1) a naopak když tlak klesá dolů (P2). Právě rozdíl mezi těmito hodnotami nazýváme hystereze rohovky (CH). [41, 42, 45, 1, 55]



Obrázek 7: Graf znázorňující měření hystereze na přístroji ORA [27]

6.2 Tloušťka rohovky

Jedním z dalších, důležitých parametrů rohovky je tloušťka. Tu měříme pomocí pachymetrie, což je metoda, kterou se měří tloušťka rohovky od centrální části směrem k periferii. Průměrnou hodnotu centrální tloušťky rohovky, kterou označujeme jako CCT se

pohybuje okolo 560 μm , hodnoty v periferní části se pohybují okolo 650–1000 μm . Tyto hodnoty mohou kolísat v závislosti na případné oční patologii, například při keratokonu se rohovka postupně ztenčuje a vykenuje. Metodu pachymetrie využíváme před chirurgickými refrakčními zákroky, jelikož je úzce spjata s optickou mohutností rohovky, která ovlivňuje lomivost. Význam pachymetrie můžeme uplatnit v několika dalších oblastech, ať už se jedná o správnou interpretaci hodnot měření nitroočního tlaku, při hodnocení glaukomu – například při zhodnocení edému, ale i v kontaktologii či ortokeratologii. [1, 42, 45, 41, 55]

6.3 Vliv tloušťky rohovky na nitrooční tlak

Jak už bylo zmíněno, tloušťka rohovky je důležitým parametrem, který ovlivňuje výslednou hodnotu nitroočního tlaku. Dle některých studií je známo, že pacienti, kteří mají normotenzní glaukom mají tenčí rohovku, a to až o 39 μm . Pacienti s vysokou hodnotou nitroočního tlaku, kteří netrpí očním onemocněním glaukom, mají v porovnání s lidmi s normálním nitroočním tlakem rohovku o 35–40 μm tlustší.

Existují studie, které se zabývají správnou interpretací hodnot nitroočního tlaku naměřených pomocí Goldmannova aplanačního tonometru a na základě této studie byla vytvořena tabulka pro přepočítání hodnot nitroočního tlaku podle tloušťky rohovky. Dle této studie jsou hodnoty průměrné tloušťky rohovky 545 μm . [1, 43, 27, 41, 42, 44, 55, 75]

Tabulka 2: Přepočítání správných hodnot NOT podle tloušťky rohovky dle Ehlerse a spol. [44]

CCT [μm]	IOP [mmHg]
475	+5
495	+4
505	+3
515	+2
535	+1
545	0
555	-1
575	-2
586	-3
595	-4
615	-5

7 Glaukom

„Glaukom je chronická, progresivní a nereverzibilní optická neuropatie, všeobecně spojovaná se zvýšeným nitroočním tlakem, při níž dochází k charakteristickému strukturálnímu poškození zřakového nervu, úbytku vláken zřakového nervu a k charakteristickým defektům zorného pole.“ [38, 75]

Glaukom neboli zelený zákal je progresivní oční onemocnění, při kterém dochází k poškození zřakového nervu, který spojuje oko s mozkem. To je nejčastěji způsobeno nahromaděním nitrooční tekutiny v přední části oka, což vede ke zvýšení nitroočního tlaku. V případě, že nedojde k včasné diagnóze glaukomového onemocnění, může dojít k poškození zraku nebo jeho úplné ztrátě. Momentálně neexistuje žádná léčba, která by navrátila ztracené zřakové funkce, ale existuje léčba, která alespoň zpomalí progresi glaukomového onemocnění a zabrání tak následnému zhoršování zraku. Glaukom může postihnout všechny věkové skupiny, ale nejčastěji se glaukom vyskytuje u dospělých ve věku 70–80 let. [1, 7, 8, 4, 3, 5, 39, 49, 87, 39]

Glaukom nemá zpočátku žádné příznaky a má tendenci se vyvíjet pomalu. Nejprve postihuje periferní vidění a postupuje směrem k centrálnímu vidění. Z toho důvodu si mnoho lidí ani neuvědomí, že glaukom mají a často je diagnostikován až v pokročilém stádiu. Obvykle jsou postiženy obě oči, ale jedno z nich může být horší. Mezi příznaky glaukomového onemocnění patří rozmazané vidění nebo duhové kruhy kolem jasných světél. Může docházet i k bolestem hlavy, začervenání oka, nauzee a k intenzivní bolesti očí. [39, 1, 7, 4, 3, 87, 39, 49, 55, 75]

7.1 Rizikové faktory

- Zvýšená hodnota nitroočního tlaku – Vyšší hodnoty nitroočního tlaku jsou považovány za nejčastější a největší rizikový faktor v souvislosti s glaukomovým onemocněním. Jak již bylo ale zmíněno, zvýšený nitrooční tlak nemusí nutně znamenat glaukom, u velkého procenta pacientů se jedná o hypertenzi.
- Věk – Se zvyšujícím se věkem roste riziko vývoje glaukomového onemocnění, zároveň se s věkem snižuje tvorba nitrooční tekutiny. Glaukom může postihnout i malé děti. V případě vrozeného glaukomu hovoříme o poměrně vzácné vývojové poruše komorového úhlu, při které je zablokován odtok komorové vody.
- Rasa – U černé rasy je výskyt glaukomového onemocnění až 4x vyšší, obecně je jejich hodnota NOT vyšší. Roli může hrát i okolní prostředí.

- Pohlaví – U žen dochází k dřívějšímu odhalení glaukomového onemocnění, jelikož jejich zrakový terč více podléhá změnám. Možnou příčinou je i hormonální nerovnováha, jelikož například v období menopauzy hodnota NOT stoupá.
- Genetika – Pokud je v rodině přítomnost glaukomového onemocnění, tak i genetiku řadíme mezi rizikový faktor, rozvoj glaukomu ale není pravidlem. Genetická informace je ovlivněna i okolním prostředím.
- Refrakční vady – Myopové mají zhoršenou perfuzi a jejich oko je méně odolné vůči působení vysokého NT, u hypermetropů je vyšší riziko výskytu glaukomu s uzavřeným úhlem
- Jiná patologie – Větší riziko vývoje glaukomového onemocnění mají i diabetici, pacienti s poruchou štítné žlázy, při poruchách krevní srážlivosti či při cévních chorobách. [38, 1, 88, 33, 55]

7.2 Klasifikace glaukomů

Základní klasifikace glaukomu vychází z komorového (iridokorneálního) úhlu a z příčiny vzniku. [4, 1, 49, 39]

7.2.1 Kongenitální glaukom

Kongenitální glaukom je vzácné oční onemocnění, které se vyskytuje u dětí nejčastěji do tří let. Rizikovým faktorem pro vznik kongenitálního glaukomu jsou genetické predispozice. Kongenitální glaukom může vnikat už v těhotenství. Vyšší hodnoty NOT jsou způsobeny vývojem tzv. Barkanovy membrány, která brání odtoku nitrooční tekutiny v komorovém úhlu. U dětí s tímto glaukomovým onemocněním je nutné chirurgické řešení. Sekundární kongenitální glaukom může doprovázet i postižení duhovky. [4, 1, 49, 4, 33]

7.2.2 Primární glaukom s otevřeným úhlem

Primární glaukom s otevřeným úhlem (POAG) vzniká, pokud je komorový úhel normálně vyvinutý, není blokován duhovkou a ani zde není žádná jiná viditelná příčina zvýšené hodnoty nitroočního tlaku. Je tedy těžké primární glaukom s otevřeným úhlem diagnostikovat. Přes nesnadné stanovení diagnózy, téměř 70 % pacientů s glaukomovým onemocněním postihuje právě tento typ. [1,4, 7, 39, 38]

Vlivem trabekulu, který dostatečně neumožňuje odtok nitrooční tekutiny, stoupá NOT. Při vyšetření je tento typ glaukomového onemocnění většinou objeven náhodou a až v pokročilém stadiu, jelikož při gonioskopickém vyšetření není patrná žádná patologie a

pacienti nemívají subjektivní potíže. V průběhu onemocnění dochází ke změnám na papile zrakového nervu, ty se projeví výpadky v zorném poli. [1, 4, 9, 38, 49, 87, 7]

Mezi rizikové faktory patří věk a genetika. Vyšší riziko se objevuje v rodinách s glaukomovým onemocněním nebo například u diabetiků. [4, 1]

7.2.3 Primární glaukom s uzavřeným úhlem

V případě primárního glaukom s uzavřeným úhlem (PACG) dochází ke zvýšení nitroočního tlaku v důsledku uzavření iridokorneálního úhlu. Duhovka totiž nedoléhá na trabekulu a vzniklá překážka brání odtoku nitrooční tekutiny.

PACG probíhá ve třech stádiích. V prvním stádiu pacient nepocítuje žádné subjektivní obtíže, ve druhém stádiu už pacient pocítuje rozostřené vidění, hlavně kolem světelných zdrojů. Při zvýšení intenzity světla tyto obtíže mohou ustát. Pro třetí stádium je charakteristický glaukomový záchvat, který je doprovázen silnou bolestí hlavy a nevolností. Někdy dochází při těchto obtížích k záměně s migrénou. [90, 39, 7, 4, 1, 49, 87, 38]

7.3 Léčba glaukomu

V dnešní době je několik možností léčby, ale bohužel ani jedna nedokáže navrátit poškozený zrak. Cílem léčby je snížení hodnoty NOT a zpomalení progresu. Uvažujeme možnosti chirurgické léčby, laserové léčby a léčby pomocí medikamentů. Léčbu zahajujeme po přesném stanovení diagnózy a snažíme se dosáhnout hodnoty cílového tlaku. Ten je pro každého pacienta individuální, obecně ale v rozpětí od 13–16 mmHg.

Pokud jsou na papile a v zorném poli zpozorovány velké změny, upřednostňuje se chirurgická léčba. Při aplikaci medikamentů by se měly kombinovat jen dva druhy, pokud je zapotřebí další, uvažuje se o operačním výkonu.

Nejčastěji se k léčbě využívá farmakoterapie, trabeculoplastik a filtrační chirurgie. Léčbu určujeme podle změn na papile zrakového nervu či v zorném poli, podle dosavadního způsobu léčby a na základě diagnózy. [38, 1, 4, 7, 26, 89, 88, 87, 49, 55]

8 Experimentální část

V teoretické části bakalářské práce jsou kromě anatomie předního segmentu oka, faktorů ovlivňujících hodnotu nitroočního tlaku a patologie shrnuty i základy tonometrie a její metody měření. V experimentální části bakalářské práce jsou porovnány naměřené hodnoty nitroočního tlaku pomocí tří přístrojů, konkrétně bezkontaktním tonometrem Canon TX - 10, tonometrem

ORA a Schiötzovým tonometrem. V kompetencích optometristy je měření nitroočního tlaku pouze pomocí bezkontaktního tonometru, z toho důvodu byly hodnoty naměřené Schiötzovým tonometrem poskytnuty doc. MUDr. Jánem Leštákem, CSc. MBA a byly naměřeny na Oční klinice JL.

Hodnoty nitroočního tlaku jsou porovnávány v závislosti na věku a na pohlaví, jelikož to jsou jedny z faktorů, které mohou ovlivňovat hodnoty nitroočního tlaku. Hodnoty jsou porovnávány mezi sebou a následně vyneseny do tabulek a grafů, podle kterých jsou následně zhodnoceny rozdíly jednotlivých metod. [42, 44, 33, 43, 70]

8.1 Cíle práce

Cílem experimentální části mé bakalářské práce bylo provést měření nitroočního tlaku za pomoci různých metod tonometrie, konkrétně bezkontaktními tonometry Canon TX - 10 a tonometrem ORA (Ocular Response Analyzer). Následně tyto hodnoty porovnat mezi sebou a zhodnotit jejich rozdíly. Dalším cílem bylo zpracovat důležité informace o nitroočním tlaku, přehled faktorů, které ho ovlivňují a jeho hodnoty, které se mohou měnit v závislosti na dynamice nitrooční tekutiny. V teoretické části jsou zmíněny patologie, které jsou úzce spjaté s hodnotami nitroočního tlaku a poukazují na důležitost pravidelných prohlídek u očního lékaře a optometristy. Včasné odhalení glaukomu je totiž základem úspěšné léčby a lze tak zabránit zhoršování zraku.

Shrnutí cílů bakalářské práce:

1. Shrnout důležité poznatky o nitroočním tlaku.
2. Naměřit hodnoty nitroočního tlaku.
3. Porovnat naměřené hodnoty na bezkontaktním tonometru Canon TX 10 a na tonometru ORA.
4. Porovnat naměřené hodnoty pomocí bezkontaktní tonometrie a pomocí Schiötzova tonometru.
5. Porovnat rozdíly mezi jednotlivými metodami tonometrie.

8.2 Pracovní hypotézy

1. Hodnoty nitroočního tlaku naměřené bezkontaktním tonometrem Canon TX 10 budou nižší než hodnoty naměřené tonometrem ORA.

Tato hypotéza pracuje s informací, že Ocular Respose Analyzer zohledňuje jak tloušťku rohovky, tak její biomechanické vlastnosti. [42, 44, 37, 70]

2. Hodnoty nitroočního tlaku naměřené bezkontaktními tonometry (Canon TX 10 A ORA) budou nižší než hodnoty naměřené impresním Schiottzovým tonometrem.

Tato hypotéza vychází z principu fungování Schiottzova tonometru, kdy při měření působí tonometr na bulbus celou vahou a hodnoty tak mohou být falešně vyšší. Hodnotu nitroočního tlaku naměřenou pomocí Schiottzova tonometru může ale ovlivnit hned několik faktorů, jelikož se jedná o složitější a časově náročnější metodu tonometrie. [23, 42, 33, 70]

3. Hodnoty nitroočního tlaku budou vyšší v souvislosti se zvyšujícím se věkem.

Tato hypotéza se opírá o faktory, které ovlivňují hodnotu nitroočního tlaku. Jedním z faktorů je věk. Se zvyšujícím se věkem roste riziko vývoje glaukomového onemocnění, zároveň se s věkem snižuje tvorba nitrooční tekutiny. [33, 1, 14]

8.3 Metodika výzkumu

Měření hodnot nitroočního tlaku pomocí bezkontaktní a impresní tonometrie bylo provedeno v prostorách Oční kliniky JL. Měření respondentů probíhalo objektivně na přístrojích Canon TX 10, což je bezkontaktní tonometr, který nezohledňuje centrální tloušťku rohovky a na bezkontaktním přístroji ORA, který bere v potaz nejen tloušťku rohovky, ale i její biomechanické vlastnosti. Bezkontaktní tonometry jsou dnes běžnou součástí autorefraktometrů a používat je může i nelékařský personál. [42, 44, 33, 43, 37, 83, 70]

V druhé části výzkumu byly hodnoty nitroočního tlaku měřeny za pomoci kontaktní tonometrie, která byla opět porovnána již se zmíněnými bezkontaktními metodami. Jedná se o Schiottzův impresní tonometr, kterým bylo změřeno celkem 5 respondentů. Tato metoda je časově i technicky náročná, proto byl do výzkumu zařazen nižší počet respondentů.

Výsledky měření byly zpracovány do několika tabulek a grafů. Průměrné hodnoty nitroočního tlaku byly vždy vypočítány ze tří naměřených hodnot.

Respondentů bylo celkem 57, z toho 35 žen a 22 mužů. Věkové rozpětí žen bylo od 21 do 68 a věkové rozpětí mužů od 30 do 84. Věk respondentů je zaznamenán v tabulkách a grafech, stejně tak jako naměřené hodnoty nitroočního tlaku na levé i pravém oku. Celkový počet očí, které byly naměřeny je 114.

8.4 Přístroje

Pro experimentální část byly využity tři přístroje, které slouží k měření nitroočního tlaku. První měření bylo provedeno tonometrem TX – 10, značky Canon. U toho bezkontaktního

tonometru je využíván tlak pulzu vzduchu, který aplanuje rohovku v centrální části. Pacient je při měření požádán, aby opřel bradu a čelo o opěrku. Dále je požádán, aby fixoval barevný bod a nechal otevřené oči. Do levého i pravého oka přístroj třikrát foukne a na základě rychlosti odraženého vzduchu je určena hodnota nitroočního tlaku. Výsledkem měření jsou tedy tři hodnoty pro každé oko. [42, 37, 83, 70]

Dalším použitým přístrojem byl tonometr ORA (Ocular Response Analyzer). Ten měří nitrooční tlak v závislosti na pevnosti a pružnosti rohovky, díky tomu je měření přesnější než při využití jiných bezkontaktních tonometrů. Společně s nitroočním tlakem ORA odhaluje i jiné vlastnosti rohovky a je tak komplexním přístrojem, který by neměl chybět v žádné oční ordinaci. [1, 38, 37, 44, 33, 70]

Jako zástupce kontaktní tonometrie byl použit Schiotzův tonometr. V tomto je třeba lokálního znecitlivění rohovky. Schiotzův tonometr pak lékař přiloží přímo na rohovku a odečte míru tlaku, která je potřeba k deformaci centrální plochy rohovky. Schiotzův impresní tonometr je již méně používaná metoda tonometrie, protože vzhledem k přímému kontaktu s rohovkou může dojít k přenosu infekce. K určení výše nitroočního tlaku musíme použít přepočtové tabulky. [35, 37, 70]

8.5 Výsledky experimentální části

První skupinou respondentů je 35 žen ve věku od 21 do 68. Tři hodnoty nitroočního tlaku každého respondenta jsem naměřila pomocí bezkontaktního tonometru Canon TX – 10. Naměřené hodnoty pro každé oko jsem zaznamenala do tabulky, vynesla do několika grafů a ty jsem mezi sebou následně porovnála. Z naměřených hodnot jsem vypočítala aritmetický průměr, zaznamenala do tabulky a pomocí grafů jsem tyto průměrné hodnoty porovnála mezi sebou, opět pro každé oko zvlášť.

Tabulka 3: Hodnoty nitroočního tlaku naměřené pomocí BT u žen

BT (TX – 10)						
ročník	OL			OP		
	1. měření	2. měření	3. měření	1. měření	2. měření	3. měření
2002	12	15	15	14	14	12
1977	18	17	15	16	16	18
1946	13	13	14	9	9	9
1952	14	14	14	7	9	8
1951	15,6	9,5	13,9	8,8	10,7	7,5
1990	15	17	15	14	12	14
1992	17	17	17	17	17	17
1960	12	11	12	12	10	12
1959	9	10	11	8	7	9
1937	10	10	10	11	11	11
1948	9	11	9	10	11	12
1988	16,5	8,9	14,3	16,9	8,2	12,8
1973	12	12	13	10	12	11
1950	8	8	8	10	9	9
1981	20	16	15	21	22	21
1982	21	23	18	17	18	19
1943	14	14	14	15	16	14
1952	20,2	9,5	19,3	18	19,7	18
1973	14	13	14	12	10	13
1947	14	19	19	15	15	13
1946	8	8	8	8	8	8
1947	9	9	10	11	11	10
1979	13	11	11	12	13	11
1970	22	20	21	19	20	19
1949	16	17	17	19	17	17
1975	17	16	17	21	19	23
1950	13	16	17	15	16	16
1948	9	8	8	11	14	18
1949	13	12	12	12	12	12
1961	13	12	11	13	12	13
1952	17	17	17	13	13	14
1961	13	14	14	14	14	13
1966	16	15	13	11	12	11
1966	32	27	22	29	32	35
1955	17	21	17	26	24	26

Tabulka 4: Hodnoty nitroočního tlaku naměřené pomocí ORA u žen

ORA						
ročník	OL			OP		
	1. měření	2. měření	3. měření	1. měření	2. měření	3. měření
2002	13	10,70	12,3	11,7	11,90	12,4
1977	13,8	13,9	17,4	12,1	14,2	15,7
1946	11	12,1	11,9	11,9	10,7	11,2
1952	11,9	12,3	12	9	10,3	9,5
1951	15,3	11,2	13	9,3	12	8,9
1990	15	14	14	13	16	16
1992	16,1	11,9	17,5	18,2	11,2	19
1960	13,6	10,5	12,8	14,9	9,9	13,6
1959	11	12	10	9	8,3	9
1937	11	11,3	10	11,6	11,2	12
1948	12,8	9,7	11	13,5	9,1	11
1988	16,3	12,2	14	16,6	10	12,5
1973	12,2	11,4	12,3	14,1	10,2	13,1
1950	14,4	8,4	11,1	15,5	8,40	12,4
1981	21,9	17	16,3	21,3	22,9	22,5
1982	22,9	9,1	21,4	20,1	10,1	19,9
1943	14	11,3	16,5	20,2	9,5	19,3
1952	22	9	18,5	20,3	21	19,5
1973	15,4	11,2	15,8	14	10,7	13,5
1947	19,7	12,1	21,9	17,9	10,4	17,8
1946	11	10	11	9	10	11
1947	16,5	8,9	14,3	16,9	8,7	14,4
1979	16,3	8,8	13,9	17	8	13,6
1970	21,3	9,7	21,9	20,9	10,2	21
1949	16,9	15	18,3	20,5	19	18,3
1975	17,7	17,4	18,7	22,9	9,9	23
1950	20,7	10,1	20,6	21,5	9,5	20,7
1948	10,5	10	9,7	11	12,9	14
1949	13,5	12,1	14,8	13,2	11,6	13,8
1961	15,5	13,7	13	14,5	12,3	13
1952	19	15,2	19,7	15,3	11,9	13,3
1961	15,9	16	13,9	16,5	15	14,9
1966	18,9	14,3	14	12,9	12,3	11
1966	28	19,6	21	29	28	29
1955	17	13,9	15,7	26	19,5	22

Tabulka 5: Průměrné hodnoty nitroočního tlaku naměřené pomocí TX – 10 a ORA u žen

věk	BT (TX-10)		ORA	
	průměr OL	průměr OP	průměr OL	průměr OP
21	14,00	13,33	12,00	11,80
31	17,00	17,00	15,17	16,13
33	15,67	13,33	14,33	15,00
35	13,23	12,63	14,17	13,03
41	20,67	18,00	17,80	16,70
42	17,00	21,33	18,40	22,23
44	11,67	12,00	13,00	12,87
46	16,67	16,67	15,03	14,00
48	16,67	21,00	17,93	18,60
50	12,33	11,00	11,97	12,47
50	13,67	11,67	14,13	12,73
53	21,00	19,33	17,63	17,37
57	14,67	11,33	15,73	12,07
57	27,00	32,00	22,87	28,67
62	12,00	12,67	14,07	13,27
62	13,67	13,67	15,27	15,47
63	11,67	11,33	12,30	12,80
64	10,00	8,00	11,00	8,77
68	18,33	25,33	14,53	15,83
71	14,00	8,00	12,07	9,60
71	16,33	18,57	16,50	20,27
71	17,00	13,33	17,97	13,50
72	13,00	9,00	13,17	10,07
73	8,00	9,33	11,30	12,10
73	15,33	15,67	17,13	17,23
74	16,67	17,67	16,73	19,27
74	12,33	12,00	13,47	12,87
75	9,67	11,00	11,17	11,20
75	8,33	14,33	10,07	12,63
76	17,33	14,33	17,90	15,37
76	9,33	10,67	13,23	13,33
77	13,33	9,00	11,67	11,27
77	8,00	8,00	10,67	10,00
80	14,00	15,00	13,93	16,33
86	10,00	11,00	10,77	11,60

Tabulka 6: Hodnoty nitroočního tlaku naměřené pomocí BT u mužů

BT (TX - 10)						
OL			OP			
ročník	1. měření	2. měření	3. měření	1. měření	2. měření	3. měření
1962	13	12	10	12	13	13
1968	14	15	12	12	12	16
1972	13	13	13	16	16	15
1939	15	12	12	14	15	13
1943	12	14	15	14	15	13
1964	15	14	14	13	16	16
1944	19	19	15	16	13	13
1952	9	12	10	8	11	9
1948	10	12	11	11	11	13
1951	13	12	14	11	10	11
1945	12	13	11	11	10	12
1969	13	15	11	17	18	18
1943	23	21	23	12	12	12
1942	13	13	13	19	17	17
1962	20	23	24	19	16	16
1942	12	10	11	10	11	9
1973	15	16	15	16	17	16
1993	13	12	13	12	11	12
1951	13	14	14	13	14	14
1985	16,9	12,6	19,2	19,2	11,7	20,9
1955	7	7	7	8	8	9
1974	18	16	17	14	14	14

Tabulka 7: Hodnoty nitroočního tlaku naměřené pomocí ORA u mužů

	OL			OP		
	1. měření	2. měření	3. měření	1. měření	2. měření	3. měření
1962	17,7	9,6	16,5	19,4	8,9	17,5
1968	17,1	10	16,3	22,1	7,8	10,4
1972	14,1	10,6	13,5	17,5	9,9	16,9
1939	14,7	10,2	13,9	18,7	9,1	17
1943	13,3	12	14,4	14,3	10,4	13,6
1964	17	18	17	15	17	16
1944	20,5	18	19,9	17	15	16
1952	10,3	9,5	11	17	15,5	17
1948	17,1	10,6	17,1	17,4	10	16,6
1951	15	14	13	13	10	11
1945	15	13	15	11	10,5	10
1969	16	12,2	17,8	12,4	13,3	15
1943	28,3	6,9	25,4	17	9,1	15
1942	19	9,4	17,6	25,6	8,2	23,9
1962	22,4	9,1	21,4	24,6	8,7	23
1942	15,4	11,2	15,8	14	10,7	13,5
1973	19,7	10,5	20	18,4	10,3	19,1
1993	15	14	15	10	13,5	12
1951	17,6	9,8	16,6	14,5	10,7	14,1
1985	18,9	16,3	17	20,2	19	20
1955	8	8	8	9	9,5	9
1974	20,5	9,9	20,1	17,6	10,7	17,8

Tabulka 8: Průměrné hodnoty nitroočního tlaku naměřené pomocí TX – 10 a ORA u mužů

věk	BT (TX – 10)		ORA	
	průměr OL	průměr OP	průměr OL	průměr OL
30	12,67	11,67	14,67	11,83
38	16,23	17,27	17,40	19,73
49	17,00	14,00	16,83	15,37
50	15,33	16,33	16,73	15,93
51	13,00	15,67	12,73	14,77
54	13,00	17,67	15,33	13,57
55	13,67	13,33	14,47	13,43
59	14,33	15,00	17,33	16,00
61	11,67	12,67	14,60	15,27
61	22,33	17,00	17,63	18,77
68	7,00	8,33	8,00	9,17
71	10,33	9,33	10,27	16,50
72	13,00	10,67	14,00	11,33
72	13,67	13,67	14,67	13,10
75	11,00	11,67	14,93	14,67
78	12,00	11,00	14,33	10,50
79	17,67	14,00	19,47	16,00
80	13,67	14,00	13,23	12,77
80	22,33	12,00	20,20	13,70
81	13,00	17,67	14,13	12,73
81	11,00	10,00	15,33	19,23
84	13,00	14,00	12,93	14,93

Tabulka 9: Hodnoty nitroočního tlaku naměřené pomocí Schiötzova tonometru u mužů a žen

Schiötzův tonometr				
ročník	OL - 5,5g závaží	OL – 10g závaží	OP - 5,5g závaží	OP – 10g závaží
1966	15,5	19,5	17,3	17,9
1966	20,6	27,2	24,4	27,2
1955	20,6	23,1	20,6	23,1
1982	20,6	21,3	20,6	21,3
1967	17,3	17,9	15,9	17,9

Tabulka 10: Hodnoty NOT – OL naměřené pomocí TX – 10, ORA a Schiötzovým tonometrem

věk	průměr BT – OL	průměr ORA – OL	OL - 5,5g závaží	OL – 10g závaží
57	14,7	15,7	15,5	19,5
57	27,0	22,9	20,6	27,2
68	18,3	15,5	20,6	23,1
41	20	23,8	20,6	21,3
56	15	22,3	17,3	17,9

Tabulka 11: Hodnoty NOT – OP naměřené pomocí TX – 10, ORA a Schiötzovým tonometrem

věk	průměr BT – OP	průměr ORA – OP	OP - 5,5g závaží	OP – 10g závaží
57	11,3	12,1	17,3	17,9
57	32,0	28,7	24,4	27,2
68	25,3	22,5	20,6	23,1
41	16	23,6	20,6	21,3
56	14,7	21,7	15,9	17,9

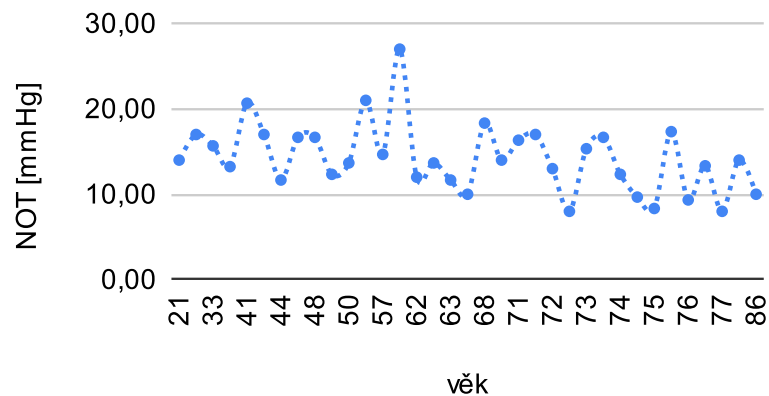
Z naměřených hodnot vyplývá, že průměrná hodnota nitroočního tlaku naměřená na tonometru TX – 10 u žen byla $\pm 14,26$ mmHg, nejnižší naměřená hodnota byla 8,0 mmHg a naopak nejvyšší hodnota nitroočního tlaku byla 32,0 mmHg. U tonometru ORA, který měří nitrooční tlak v závislosti na pevnosti a pružnosti rohovky byla průměrná hodnota nitroočního tlaku u žen $\pm 14,03$ mmHg, nejnižší naměřená hodnota byla 8,7 mmHg a nejvyšší hodnota dosáhla 23,0 mmHg.

Hodnoty nitroočního tlaku u mužů byly v průměru nižší než hodnoty nitroočního tlaku u žen. Průměrná hodnota nitroočního tlaku naměřená na tonometru TX – 10 byla $\pm 13,72$ mmHg, nejnižší hodnota nitroočního tlaku byla 7,0 mmHg a nejvyšší naměřená hodnota nitroočního tlaku byla 17,67 mmHg. U tonometru ORA byla průměrná hodnota nitroočního tlaku u mužů $\pm 14,74$ mmHg, nejnižší naměřená hodnota byla 8,0 mmHg a nejvyšší hodnota byla 19,7 mmHg.

Průměrná hodnota nitroočního tlaku naměřená Schiötzovým tonometrem byla $\pm 20,5$ mmHg, nejnižší naměřená hodnota byla 17,3 mmHg a nejvyšší naměřená hodnota nitroočního tlaku byla 27,2 mmHg. Naměřené hodnoty nejsou rozděleny podle pohlaví vzhledem k nízkému počtu respondentů. Metoda měření nitroočního tlaku pomocí Schiötzova tonometru je sice poměrně přesná, ale méně používaná, a to z důvodu časové i technické náročnosti.

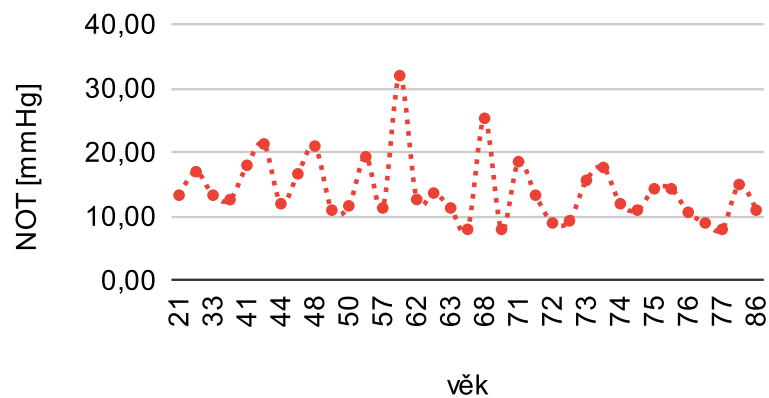
Naměřené hodnoty jsem následně vynesla do grafů a ty porovnávala mezi sebou. Grafy jsou zpracovány pro všechny použité metody zvlášť, pro rozdílné pohlaví a stejně tak pro obě oči zvlášť. Hodnoty jsou porovnávány v závislosti naměřené hodnoty nitroočního tlaku na věku. [42, 37, 83, 44, 43, 33, 55, 70, 59]

ženy - BT (levé oko)



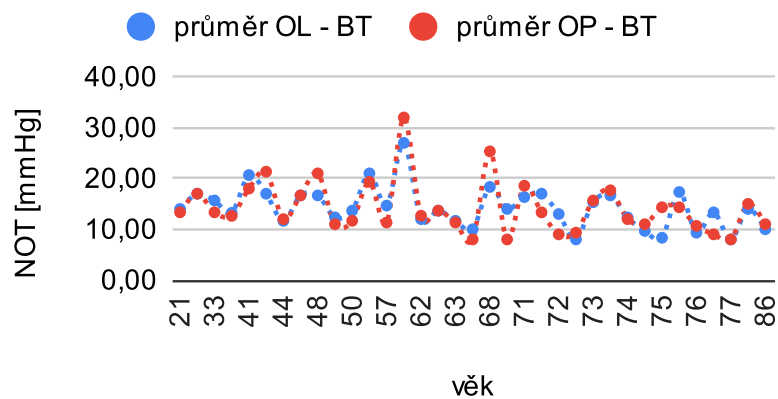
Graf 1: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL u žen pomocí TX-10

ženy - BT (pravé oko)



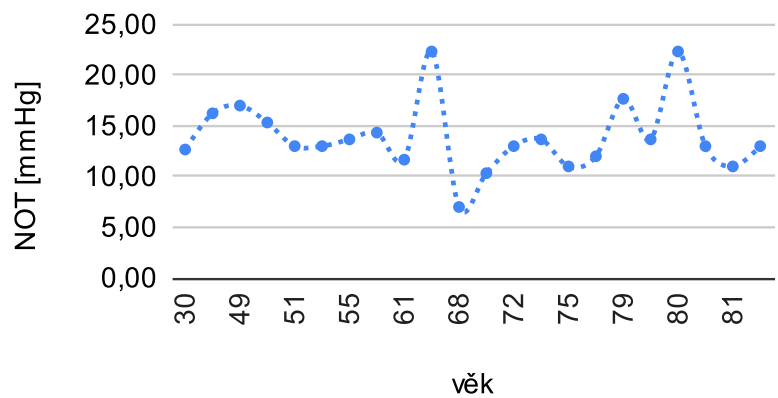
Graf 2: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OP u žen pomocí TX-10

ženy - BT (levé + pravé oko)



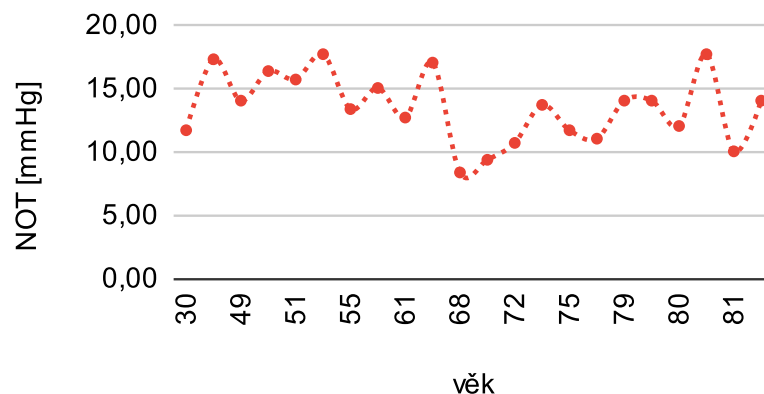
Graf 3: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL + OP u žen pomocí TX – 10

muži - BT (levé oko)



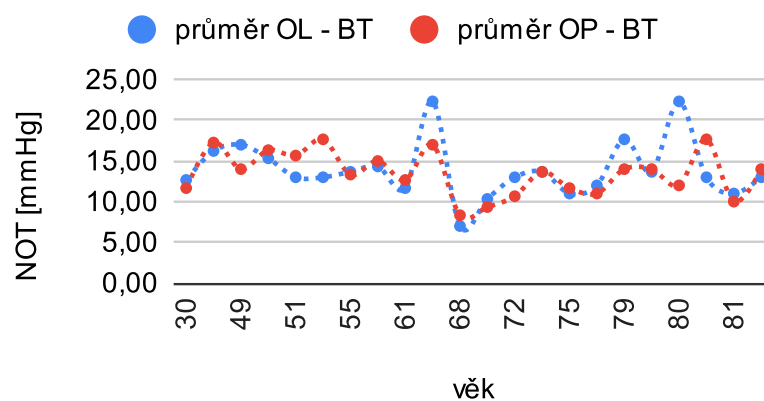
Graf 4: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL u mužů pomocí TX - 10

muži - BT (pravé oko)



Graf 5: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OP u mužů pomocí TX – 10

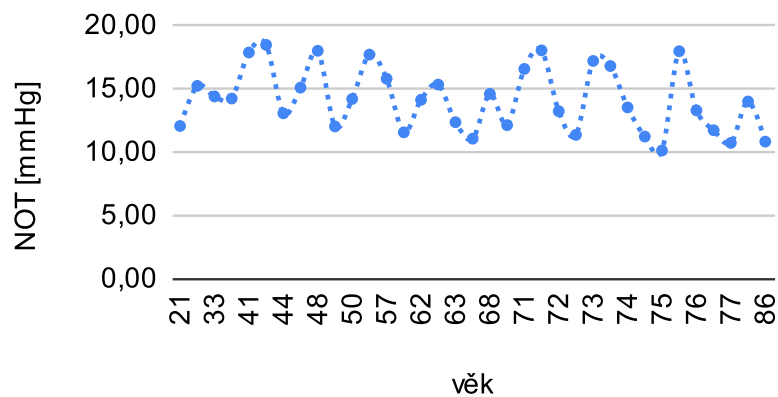
muži - BT (levé + pravé oko)



Graf 6: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL + OP u mužů pomocí TX – 10

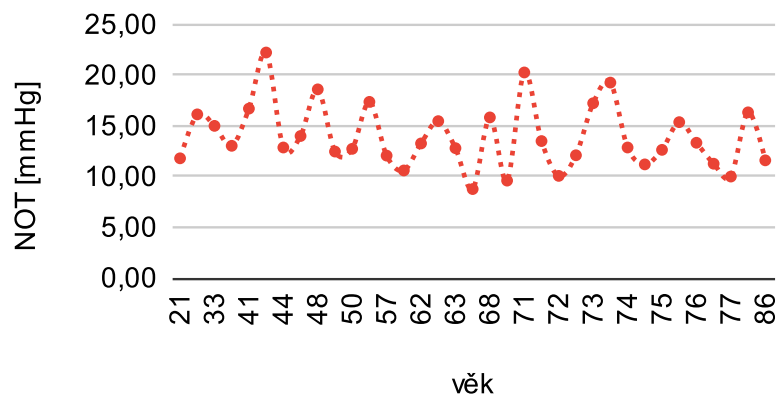
Na těchto grafech můžeme vidět rozdíly naměřených hodnot levého a pravého oka pomocí tonometru TX – 10, což může být zapříčiněno hned několika faktory, jako například rozdíly v anatomii očí, trauma, či zvýšené hodnoty nitroočního tlaku jako důsledek očního onemocnění glaukom. [25, 33, 14, 66, 44, 43, 70, 55]

ženy - ORA (levé oko)



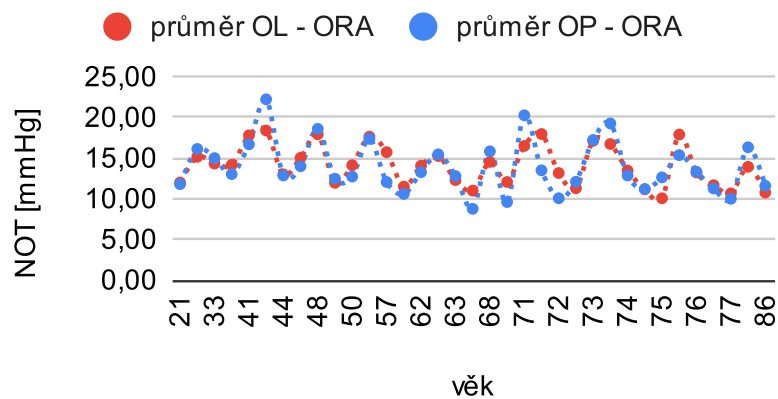
Graf 7: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL u žen pomocí tonometru ORA

ženy - ORA (pravé oko)



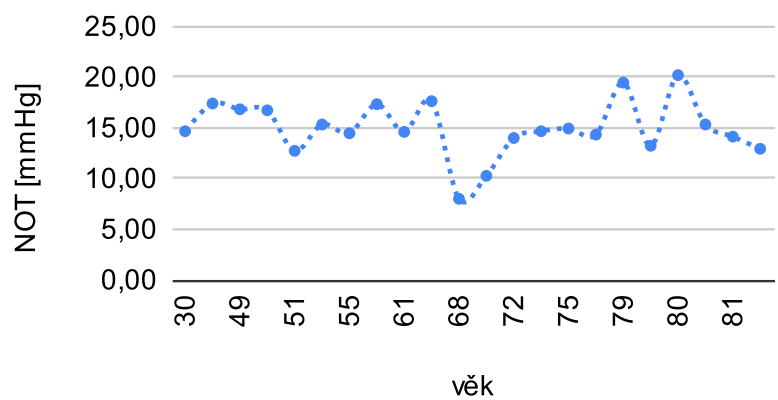
Graf 8: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OP u žen pomocí tonometru ORA

ženy - ORA (levé + pravé oko)



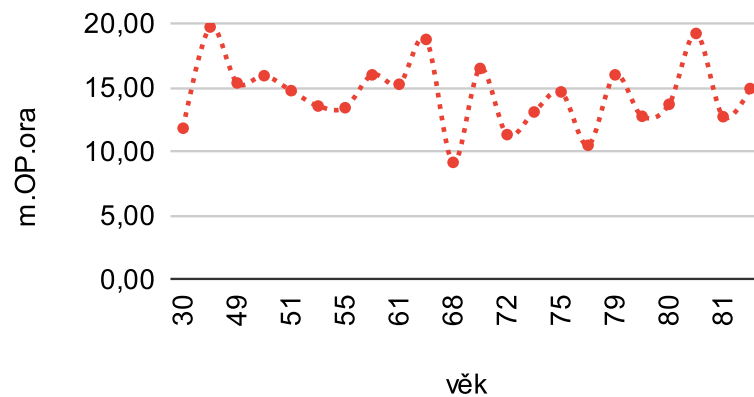
Graf 9: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL + OP u žen pomocí tonometru ORA

muži - ORA (levé oko)



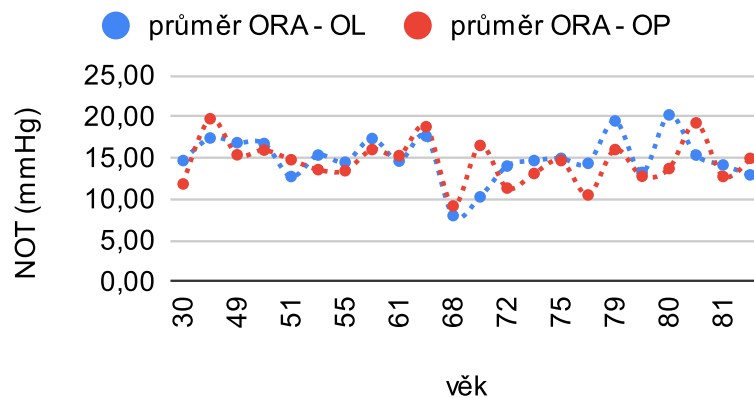
Graf 10: Naměřené hodnoty nitroočního OL u mužů pomocí tonometru ORA

muži - ORA (pravé oko)



Graf 11: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OP u mužů pomocí tonometru ORA

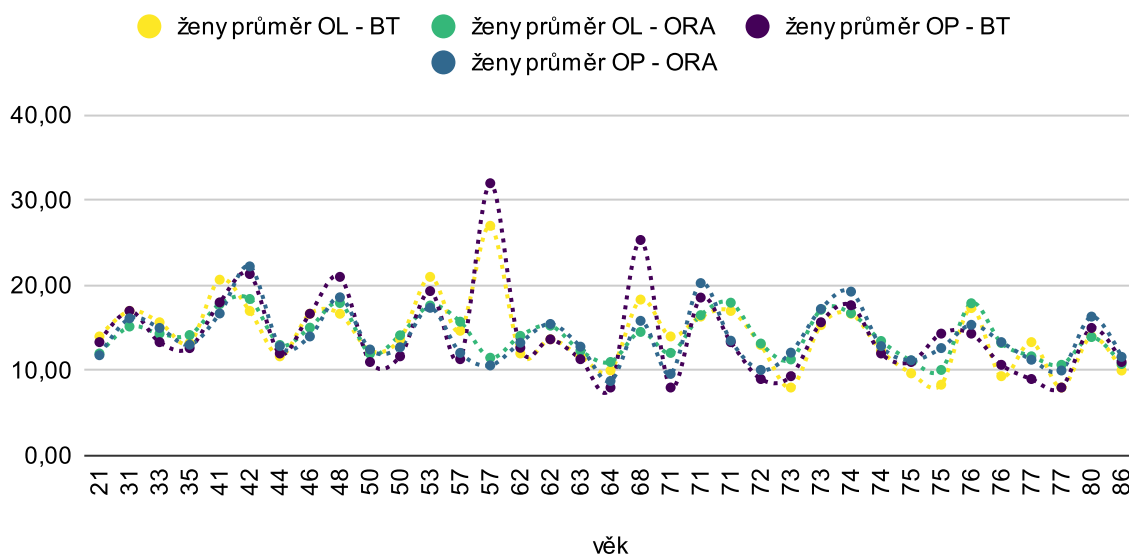
muži - ORA (levé + pravé oko)



Graf 12: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL + OP u mužů pomocí tonometru ORA

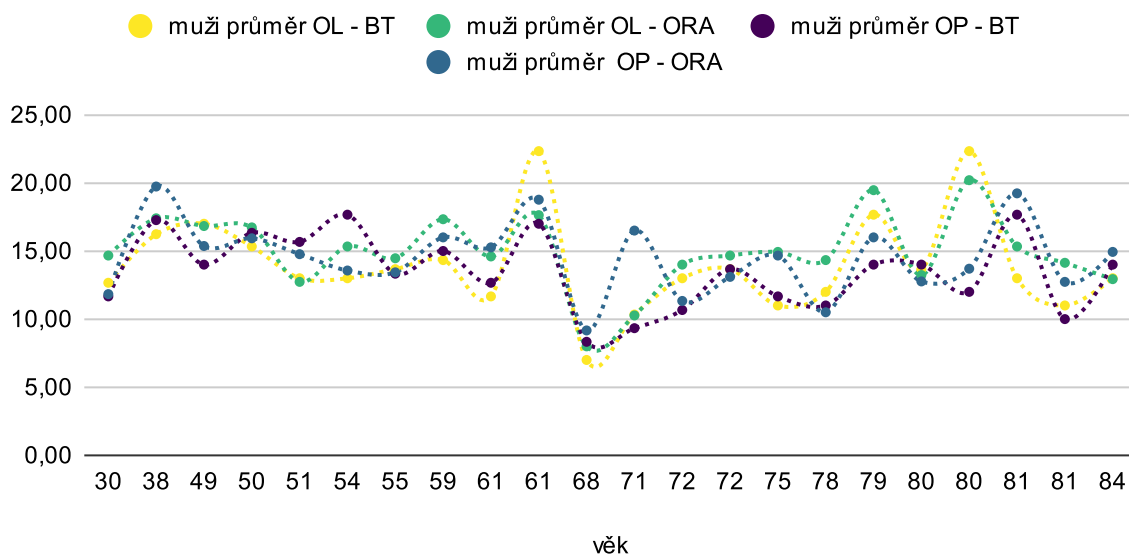
Stejně tak u měření tonometrem ORA jsou patrné rozdíly v hodnotě nitroočního tlaku mezi pravým a levým okem. Tyto rozdíly mohou být způsobené opět z důvodu rozdílné anatomie očí, vlivem traumatu nebo očního onemocnění glaukom. [25, 33, 14, 44, 43, 55, 66, 70]

ženy průměr OL - BT, ženy průměr OL - ORA, ženy průměr OP - BT - BT a ženy průměr OP - ORA



Graf 13: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL + OP u žen pomocí TX – 10 a ORA

muži průměr OL - BT, muži průměr OL - ORA , muži průměr OP - BT - BT a muži průměr OP - ORA

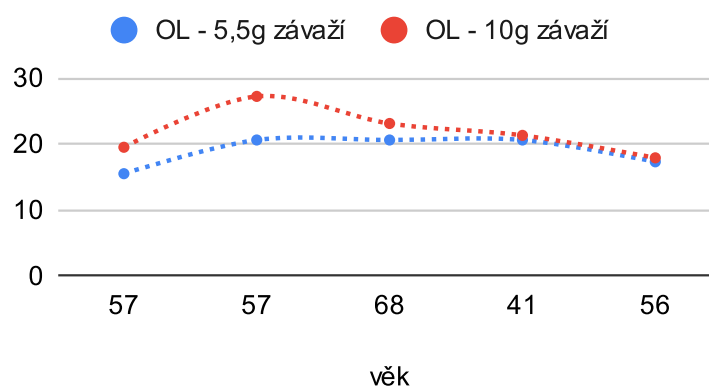


Graf 14: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL + OP u mužů pomocí TX – 10 a ORA

Grafy 13 a 14 vyobrazují všechny naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL a OP u žen a mužů. Pohlaví je jeden z faktorů, který může být spojený s hodnotou nitroočního tlaku. Některé studie dochází k závěru, že ženy mají častěji vyšší nitrooční tlak než muži, a tak i vyšší tendenci ke vzniku glaukomu. [7, 14, 25, 33, 44, 43, 14, 55, 70, 66]

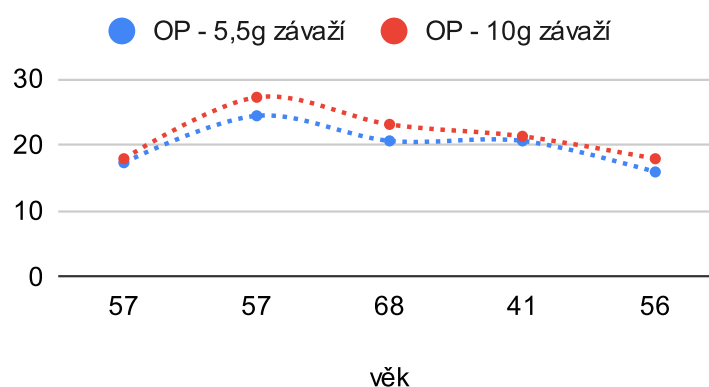
Celkem 5 respondentů, kteří byli měřeni pomocí tonometru TX – 10 a ORA, byli změřeni i Schiötzovým tonometrem. Následující grafy vyobrazují naměřené hodnoty právě pomocí Schiötzova tonometru, které vychází z přepočtové tabulky pro Schiötzův impresní tonometr podle Friedenwalda. Jednotlivé hodnoty pak porovnávám mezi sebou společně se zbylými metodami tonometrie.

OL - 5,5g závaží a OL - 10g závaží



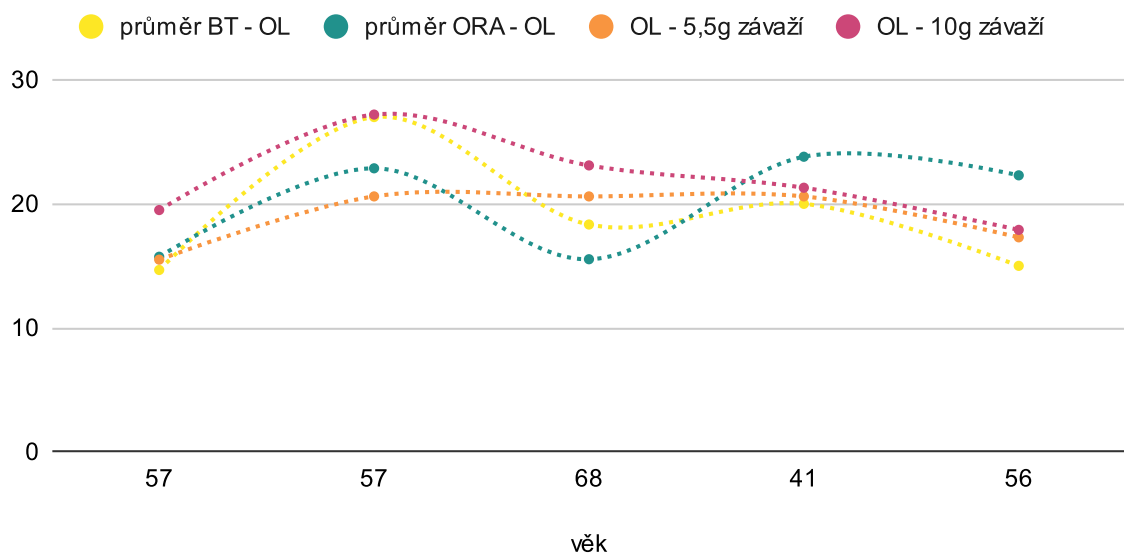
Graf 15: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL pomocí Schiötzova tonometru

OP - 5,5g závaží a OP - 10g závaží



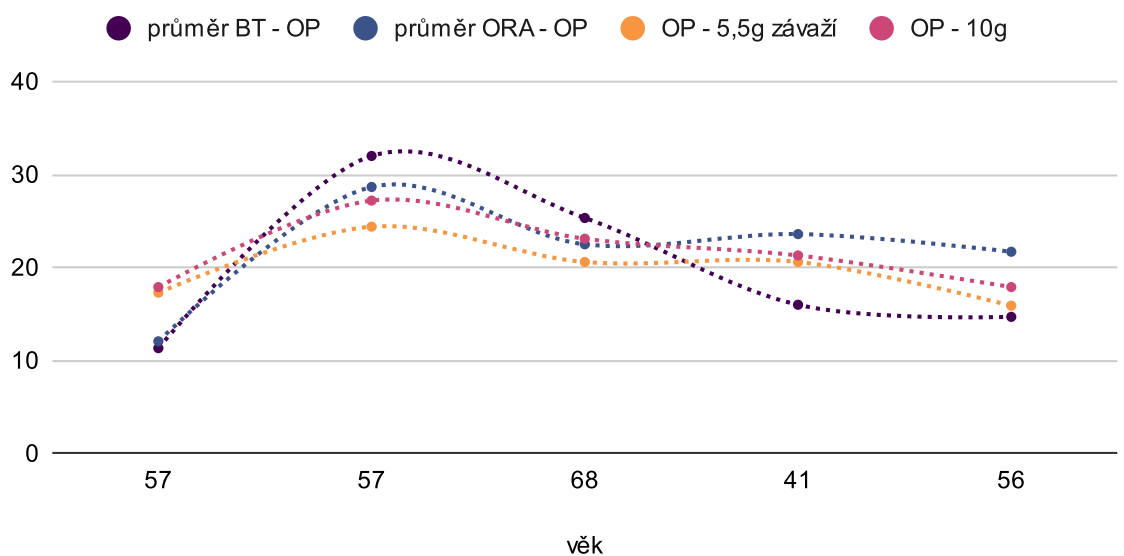
Graf 16: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OP pomocí Schiötzova tonometru

průměr BT - OL, průměr ORA - OL, OL - 5,5g závaží a OL - 10g závaží



Graf 17: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL pomocí tonometru TX – 10, ORA a Schiottzova tonometru

průměr BT - OP, průměr ORA - OP, OP - 5,5g závaží a OP - 10g



Graf 18: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL pomocí tonometru TX – 10, ORA a Schiottzova tonometru

Díky grafům můžeme snadno porovnat rozdíly nitroočního tlaku nejen mezi levým a pravým okem, ale i mezi jednotlivými metodami tonometrie. Hodnoty byly u každého respondenta proměnlivé a při porovnávání hodnot naměřených na tonometru TX - 10 a tonometru ORA bylo z průměrných hodnot nitroočního tlaku OL zjištěno, že z celkem 35 žen mělo 12 žen vyšší hodnotu nitroočního tlaku při měření pomocí tonometru TX – 10, u pravého oka mělo pouze 9 z 35 žen vyšší hodnotu nitroočního tlaku při měření tonometrem TX – 10. Z těchto hodnot tedy vyplývá, že 34,3 % žen mělo vyšší hodnotu tlaku na levém oku při měření bezkontaktním tonometrem TX – 10 a 65,7 % žen mělo vyšší hodnoty nitroočního tlaku na levém oku při měření na tonometru ORA. Na pravém oku mělo vyšší hodnotu nitroočního tlaku 25,7 % žen při měření na TX – 10 a 74,3 % žen vyšší hodnoty nitroočního tlaku na tonometru ORA. [25, 33, 1, 14, 44, 55]

U mužů byly rozdíly mezi hodnotami o něco menší, jak na levém, tak na pravém oku mělo z celkem 22 mužů pouze 7 vyšší hodnoty nitroočního tlaku při měření tonometrem TX – 10 než na tonometru ORA. Na levém i na pravém oku mělo tedy 20 % mužů vyšší hodnoty nitroočního a 80 % mužů mělo vyšší hodnoty nitroočního tlaku.

U pěti respondentů, u kterých byly porovnávány tři metody tonometrie, bylo v porovnání TX – 10, tonometru ORA a Schiötzova tonometru vyšší hodnoty při měření Schiötzovým tonometrem, zejména při 10 g závaží. [25, 1, 33, 14, 43, 44, 55]

9 Diskuze

První stanovená hypotéza bakalářské práce „Nitrooční tlak v oftalmologické praxi“ pracuje s informací, že Ocular Respose Analyzer (ORA) zohledňuje jak tloušťku rohovky, tak její biomechanické vlastnosti. Během měření nitroočního tlaku tonometrem ORA přístroj změří několik biomechanických vlastností rohovky a tyto hodnoty použije ke korekci hodnot nitroočního tlaku. Z tohoto důvodu bývají hodnoty naměřené pomocí tonometru ORA vyšší než při měření nitroočního tlaku pomocí jiných bezkontaktních tonometrů bez korekce tloušťkou rohovky. První hypotéza, která říká, že hodnoty nitroočního tlaku naměřené bezkontaktním tonometrem Canon TX 10 budou nižší než hodnoty naměřené tonometrem ORA se tedy potvrdila. Jak u žen, tak u mužů byly naměřeny vyšší hodnoty nitroočního tlaku za pomoci tonometru ORA. [1, 38, 37, 43, 33, 42, 70]

Druhá hypotéza vychází z principu fungování Schiötzova tonometru, kdy při měření působí tonometr na bulbus celou vahou a hodnoty tak mohou být falešně vyšší. Hodnotu nitroočního tlaku naměřenou pomocí Schiötzova tonometru může ovlivnit hned několik

faktorů, jelikož se jedná o technicky složitější a časově náročnější metodu tonometrie. Z naměřených hodnot vyplývá, že hodnoty naměřené pomocí Schiottzova tonometru, zejména při použití 10 g závaží, jsou v porovnání s bezkontaktními tonometry TX – 10 a ORA vyšší. Druhou stanovenou hypotézu, která říká, že hodnoty nitroočního tlaku naměřené bezkontaktními tonometry (Canon TX - 10 A ORA) budou nižší než hodnoty naměřené impresním Schiottzovým tonometrem, můžeme také potvrdit. Počet respondentů pro tuto metodu tonometrie byl výrazně menší než u bezkontaktní tonometrie, ale je obecně známo, že tento druh diferenciální tonometrie je při správném použití poměrně přesný, i když už se v dnešní lékařské praxi tolik nepoužívá. [35, 44, 33, 43, 28, 70]

Třetí hypotéza se opírá o faktory, které ovlivňují hodnotu nitroočního tlaku. Jedním z faktorů je věk. Se zvyšujícím se věkem roste riziko vývoje glaukomového onemocnění, zároveň se s věkem snižuje tvorba nitrooční tekutiny a zvyšuje se tak hodnota nitroočního tlaku. Na základě naměřených dat nemůžeme hypotézu, která předpokládá, že hodnoty nitroočního tlaku budou vyšší v souvislosti se zvyšujícím se věkem, potvrdit. Grafy byly tvořeny v závislosti naměřených hodnot nitroočního tlaku na věku respondentů a vyplývá z nich, že v tomto případě tato hypotéza není pravdivá. Věk je sice jeden z faktorů, které mohou ovlivnit hodnotu nitroočního tlaku, ale hodnoty závisí na dalších několika faktorech, především na případné oční patologii, nebo například na parametrech rohovky. S výší očního tlaku je úzce spojeno onemocnění glaukom. Výskyt glaukomu je sice častější u lidí nad 60 let, ale důležitějším faktorem je časné odhalení, které je základem úspěšné léčby nejen tohoto onemocnění.

V souvislosti s použitými přístroji je při vyhodnocování hypotéz důležité zohlednit právě tyto faktory, které hodnoty nitroočního tlaku mohou ovlivnit. Kromě zmíněných faktorů pacienta to mohou být především rohovkové faktory, jako je tloušťka rohovky, její zakřivení, stejně tak jizvy na rohovce mohou způsobit odchylky v měření. Výši nitroočního tlaku mohou ovlivnit i přístrojové faktory, mezi které můžeme zařadit chyby kalibrace, poruchu přístroje, anebo jeho nesprávné použití. V neposlední řadě mohou být odlišnosti v měření způsobené vlivem okolního prostředí, kdy může jít o změnu teploty nebo vlhkosti. [1, 7, 25, 14, 70]

Stejně tak má každý tonometr své výhody a nevýhody, které mohou způsobit odchylky hodnot. Hodnoty naměřené na bezkontaktním tonometru TX – 10, mohly být ovlivněny především tloušťkou a zakřivením rohovky. Silnější rohovky mohou mít za následek vyšší hodnoty nitroočního tlaku, zatímco tenčí rohovky mohou mít za následek nižší naměřené hodnoty nitroočního tlaku. V rámci zakřivení rohovky mohou mít oči se strmějším zakřivením

za následek vyšší hodnoty nitroočního tlaku, zatímco plošší rohovka může mít za následek nižší hodnoty nitroočního tlaku. U tohoto tonometru je důležité i postavení očí. Vzduch, který oplošťuje povrch rohovky může být pro pacienty nepříjemný a pohyby očí mohou následně hodnoty nitroočního tlaku ovlivnit. Proto mohly být hodnoty naměřené tímto tonometrem falešně vyšší v porovnání s ostatními použitými metodami. [1, 38, 37, 35, 70]

Je důležité zmínit, že hodnota nitroočního tlaku v průběhu dne kolísá a je tak normální, že se NOT v průběhu dne liší. Rozdíly hodnot mezi levým a pravým okem můžou a nemusí být nutně důvodem k obavám. Pokud je však rozdíl významný nebo jej doprovází jiné příznaky, je dobré se poradit se svým lékařem. Vysoká hodnota nitroočního tlaku nemusí hned znamenat onemocnění glaukom, pacient by měl být poslán na vyšetření pachymetrie, kde bude změřena přesná tloušťka pacientovy rohovky a lékař poté určí správnou diagnózu, případně navrhne vhodnou léčbu. [1, 2, 19, 18, 70]

10 Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo shrnout poznatky o nitroočním tlaku, především jeho důležitost v oftalmologické praxi a metody, kterými jeho hodnotu můžeme měřit. Jelikož je nitrooční tlak jedním z významných faktorů, který ovlivňuje vznik závažného očního onemocnění zvané glaukom, bylo jedním z cílů shrnout informace o související oční patologii a dalších faktorech, které by hodnotu nitroočního tlaku mohly ovlivnit. Právě kvůli své důležitosti by kontrola hodnot nitroočního tlaku neměla být součástí pouze očních klinik, ale i optometrických zařízení.

Teoretická část bakalářské práce se věnuje anatomii předního segmentu oka, konkrétně anatomii a fyziologii rohovky, bělimy, spojivky, víček a slzného aparátu. Tyto struktury předního segmentu oka jsou důležité pro správnou tvorbu a dynamiku nitrooční tekutiny, která je úzce spjatá s nitroočním tlakem. Hodnota nitroočního tlaku závisí na tvorbě a odtoku nitrooční tekutiny ven z bulbu, proto je nitrooční tekutině věnována celá 3. kapitola. Přestože vyšší hodnota nitroočního tlaku často indukuje glaukomové onemocnění, ne vždy musí nutně znamenat jeho přítomnost. Pokud nejsou na terči zřetelné změny a v zorném poli zpozorovány změny, hovoříme o oční hypertenzi. Naopak stav při nízké hodnotě nitroočního tlaku nazýváme oční hypotenze. Hodnotu nitroočního tlaku může ovlivnit hned několik jevů, například věk, genetika či zmíněná oční patologie. Všechny důležité faktory jsou v práci zmíněny v kapitole 4, která se zároveň věnuje charakteristice nitroočního tlaku.

V práci jsou dále zmíněny možnosti tonometrie, tedy metody pro měření hodnoty nitroočního tlaku. Vývoj tonometrie začal v roce 1826, kdy Sir William Bowman sdílel své poznatky z praxe, a to právě o měření přibližné hodnoty nitroočního tlaku pomocí palpce. Dnes je na trhu hned několik přístrojů, ať už se jedná o kontaktní či nekontaktní metody měření. Tonometry můžeme dělit na impresní, aplanační a bezkontaktní. Přístroje pracují na různých principech, ale většinou se jedná o metody založené na principu působení vnější síly na oční bulbus. Následkem této působící síly dochází buď k oploštění, nebo naopak ke vtlačení části očního bulbu.

Cílem experimentální části bakalářské práce bylo porovnat právě tyto metody tonometrie a jak už název napovídá, vyzkoušet je v oftalmologické praxi. K experimentální části byly naměřeny hodnoty nitroočního tlaku celkem u 57 respondentů, z toho 35 žen a 22 mužů. Věkové rozpětí žen bylo od 21 do 68 a věkové rozpětí mužů od 30 do 84. Většina hodnot byla naměřena na bezkontaktním tonometru Canon TX – 10 a na tonometru ORA, který pracuje na principu dynamické konturní tonometrie, která bere v potaz biomechanické vlastnosti rohovky, včetně její tloušťky. Z celkového počtu 57 respondentů bylo 5 z nich přeměřeno ještě pomocí Schiottzova impresního tonometru. Jedná se o starší metodu tonometrie, která se v dnešní praxi používá méně. Nahradili ji rychlejší způsoby měření nitroočního tlaku, jako jsou právě bezkontaktní tonometry.

Hodnoty naměřené pomocí zmíněných tonometrů byly statisticky zpracovány a na základě výsledků byly zhodnoceny stanovené hypotézy práce. Potvrdilo se, že hodnoty NOT naměřené bezkontaktním tonometrem Canon TX - 10 budou nižší než hodnoty naměřené tonometrem ORA, který zohledňuje jak tloušťku rohovky, tak i její biomechanické vlastnosti. Zároveň se potvrdilo, že hodnoty nitroočního tlaku naměřené bezkontaktními tonometry (Canon TX 10 A ORA) budou nižší než hodnoty naměřené impresním Schiottzovým tonometrem.

Závěrem je vhodné zmínit, že nitrooční tlak je významnou veličinou, která může být ovlivněna několika faktory. Stejně tak každý tonometr má svoje výhody a nevýhody a je proto důležité provést komplexní oftalmologické vyšetření před stanovením diagnózy. Přesnost metod se sice může lišit, ale pravidelné sledování nitroočního tlaku a včasná detekce může pomoci zabránit dlouhodobému poškození zraku.

Seznam použité literatury

- [1] KUCHYNKA, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1163-8.
- [2] SYNEK, Svatopluk a Šárka SKORKOVSKÁ. *Fyziologie oka a vidění*. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3992-2.
- [3] KRAUS, Hanuš. *Kompendium očního lékařství*. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-079-1.
- [4] VLKOVÁ, Eva, Šárka PITROVÁ a František VLK. *Lexikon očního lékařství: výkladový ilustrovaný slovník*. Brno: František Vlk, 2008. ISBN 978-80-239-8906-9.
- [5] KVAPILÍKOVÁ, Květa. *Anatomie a embryologie oka*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-313-9.
- [6] BENEŠ, Pavel. *Přístroje pro optometrii a oftalmologii*. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2015. ISBN 978-80-7013-577-8.
- [7] ROZSÍVAL, Pavel. *Oční lékařství*. Praha: Galén, c2006. ISBN 80-7262-404-0.
- [8] AUTRATA, Rudolf. *Nauka o zraku*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2002. ISBN 80-7013-362-7.
- [9] BÁBKOVÁ, Barbora a Klára MAREŠOVÁ. Nemoci slzného aparátu. *Pediatric pro praxi* [online]. Oční klinika FN Olomouc, 2007, 2007(8(5): 281–283), 3 [cit. 2023-08-14]. Dostupné z: <https://www.pediatricpropraxi.cz/pdfs/ped/2007/05/06.pdf>
- [10] BRŮNOVÁ, Blanka. Role mucinové vrstvy při potížích se suchým okem. *Česká oční optika* [online]. 2015, 56(1211–233X), 78 [cit. 2023-08-14]. Dostupné z: https://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2015_02.pdf
- [11] CRAIG, Jennifer P., Kelly K. NICHOLS, Esen K. AKPEK, Barbara a DUA. TFOS DEWS II – Definition and Classification. *The Ocular Surface* [online]. 2017, 15(3), 276–283 [cit. 2017-11-22]. DOI: 10.1016/j.jtos.2017.05.008. ISSN 15420124. Dostupné z: http://tfosdewsreport.org/report-definition_and_classification/48_36/en/
- [12] Dry Eye Disease: Pathophysiology, Classification, and Diagnosis. *AJMC* [online]. 2008, 2008(14), 79-87 [cit. 2017-11-17]. Dostupné z: <http://www.ajmc.com/journals/supplement/2008/200804vol14n3suppl/apr083141ps079-s087?p=1>

- [13] ANTON, Milan. Význam slzného filmu pro oko. *Česká oční optika* [online]. 2008, 49(1), 100-101 [cit. 2017-11-15]. ISSN 1211-233X. Dostupné z: http://www.4oci.cz/dokumenty/pdf/4oci_2008_01.pdf
- [14] VÝBORNÝ, Petr. *Glaukom – vybrané kapitoly*. Hradec Králové: Nucleus HK, 2008. Oftalmologie. ISBN 978-80-87009-35-2.
- [15] CASSER, Linda; FINGERET, Murray; WOODCOME, H.Ted. *Atlas of primary eyecare procedures*. [s.l.]: McGraw-Hill Professional, 1997. 494 s.
- [16] ŘEHÁK, Svatopluk. *Oční lékařství: celostátní vysokoškolská učebnice pro lékařské fakulty v ČSSR. 2., přeprac. vyd.* Praha: Avicenum, 1989.
- [17] www.zeleny-zakal.cz [online]. 2011 [cit. 2011-03-10]. *Anatomie komorového systému*. Dostupné z WWW: http://www.zeleny-zakal.cz/anatomie-komoroveho-systemu?confirm_rules=1.
- [18] Vidění.cz [online]. 2009 [cit. 2011-04-10]. *Nitrooční tlak a oko*. Dostupné z WWW: <http://www.videni.cz/oko/ocni-tlak/91-nitroocni>.
- [19] ŘEHŮŘEK, J., R. ŠPIC AROVÁ a J. VANČUROVÁ. *Fyziologické hodnoty nitroočního tlaku u dětí* [online]., 361-365 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://www.prolekare.cz/ceska-slovenska-ofthalmologie-clanek/fyziologicke-hodnoty-nitroocnihotlaku-u-deti-27875>
- [20] HASSAN, MustaphaB a MichaelineA ISAWUMI. Effects of fasting on intraocular pressure in a black population. In: *Middle East African Journal of Ophthalmology* [online]. 2014, s. 328- [cit. 2014-12-11]. ISSN 0974-9233. DOI: 10.4103/0974-9233.142271. Dostupné z: <http://www.meajo.org/text.asp?2014/21/4/328/142271>
- [21] YANOFF, Myron a Jay S. DUKER. *Ophthalmology*. ilustrované vydání. Elsevier Health Sciences, 2009, s. 1118-1119. ISBN 03-230-4332-1.
- [22] *Tonometry* [online], [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/drarun646/tonometry-by-arun>
- [23] RUTRLE, Miloš. *Přístrojová optika: učební texty pro oční optiky a oční techniky, optometry a oftalmology*. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 2000. ISBN 80-7013-301-5.

- [24] VARCHOLOVÁ D., RŮŽIČKOVÁ E., KONDROVÁ L., MARTINCOVÁ R., SEDLÁKOVÁ K.: *Srovnání měření nitroočního tlaku Goldmannovým aplanačním tonometrem (GAT) a Pascalovým dynamickým konturním tonometrem (DCT)*. Nové závěry z Kongresu ČGS 2006 v Karlových Varech
- [25] HORNOVÁ, J. a A. BAXANT. Současné možnosti měření nitroočního tlaku. Česká a slovenská oftalmologie[online]., 175-180 [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: <http://eds.a.ebscohost.com.ezproxy.muni.cz/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=7&sid=214eb25a8f5f4b4a979928bd2419d730%40sessionmgr4005&hid=4105>
- [26] Prof. JOSEF FLAMMER, M. D. a kolektiv: *Glaukom*, Praha Triton 2003, ISBN 80-7254-351-2
- [27] N. SCHACKNOW, Paul N a John R. *The glaucoma book a practical, evidence-based approach to patient care*. New York: Springer, 2010, s. 39-88. ISBN 03-877-6700-2.
- [28] *Tonometers* [online], [cit. 2016-03-13]. Dostupné z: http://www.collegeoptometrists.org/en/college/museyeum/online_exhibitions/optical_instruments/tonometers.cfm
- [29] *Intraocular Pressure: Measurement, Regulation and Flow Relationships* [online], [cit.2016-03-13]. Dostupné z: <http://www.oculist.net/downaton502/prof/ebook/duanes/pages/v8/v8c007.html>
- [30] WEINREB N. ROBERT, BRANDT D. JAMES, GARWAY-HEATH F. DAVID, MEDEIROS A. FELIPE: *Intraocular pressure*, Amsterdam 2007, ISBN 90-6299-213-7
- [31] Kalayoglu, Murat V. *OphthalmologyWeb: 180 Years of Evolution of the Tonometer*. [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: <http://www.opthalmologyweb.com/Tech-Spotlights/26468-180-Years-of-Evolution-of-the-Tonometer/>
- [32] [online], [cit. 2015-12-22]. Dostupné z: <http://www.prolekare.cz/glaukom-anatomie-komoroveho-systemu>

- [33] ROBERT L. STAMPER, Robert L. Marc F. *Becker-Shaffer's diagnosis and therapy of the glaucomas*. 8th ed. Edinburgh: Mosby/Elsevier, 2009, s. 47-62. ISBN 03-230-2394-0.
- [34] DAVSON, Hugh. *Physiology of the Eye*. 4th ed. St. Louis, Mo.: Elsevier, 2012. s. 47-51. ISBN 978-032-3162-166
- [35] Patient's Guide to Living with Glaucoma [online], [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: <http://www.visionaware.org/info/your-eye-condition/glaucoma/patients-guide-to-living-with-glaucoma/125>
- [36] ZOUHAROVÁ M., RIEBEL O.: *Bezkontaktní tonometrie – naše první zkušenosti*. Čs.Oftal., 33, 1977, s. 239-245
- [37] REALINI, Tony, MD. The Ocular Response Analyzer. Glaucoma Today [online]. [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: https://glaucomatoday.com/articles/2008julyaug/GT0708_04-php/pdf
- [38] RAMM, Lisa, Robert HERBER, Eberhard SPOERL, Frederik RAISKUP, Lutz E. PILLUNAT a Naim TERAI. Intraocular Pressure Measurement Using Ocular Response Analyzer, Dynamic Contour Tonometer, and Scheimpflug Analyzer Corvis ST. *Journal of Ophthalmology* [online]. 2019, 2 [cit. 2020-11-15]. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/joph/2019/3879651/>
- [38] Růžičková, Eva. *Glaukom: minimum pro praxi*. 2. vyd. Praha: Triton, 2006, 106 s. ISBN 80-7254-876-x.
- [39] KASCHKE, Michael, Karl-Heinz DONNERHACKE a Michael Stefan RILL. *Optical devices in ophthalmology and optometry: technology, design principles, and clinical applications*. Weinheim: Wiley-VCH, c2014. ISBN 9783527410682.
- [40] The College of Optomerists (online). Directions for use of Improved Schiøtz Tonometer /Calibration Scale Dostupné: <<http://www.museyeum.org/detail.php?t=objects&type=all&f=&s=jena&record=28>
- [41] GIACONI, JoAnn A., a další. *Pearls of Glaucoma Management*. Iowa City: Springer, 2009. ISBN-10: 3540682384

- [42] CHAUDHURI, Zia a Murugesan VANATHI. Postgraduate ophthalmology. 1st ed. New Delhi, India: Jaypee-Highlights Medical Publishers, 2012, 2 v., s. 389-408. ISBN 9789350252703
- [43] SMOLIN, Gilbert, C FOSTER, Dimitri T AZAR a Claes H DOHLMAN. Smolin and Thoft's The cornea: scientific foundations and clinical practice. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams, c2005, xviii, s. 1324., 189 col. plates. ISBN 07-817-4206-4.
- [44] PATWARDHAN, Ashish A, Mohammad KHAN, Susan P MOLLAN a Paul HAIGH. The importance of central corneal thickness measurements and decision making in general ophthalmology clinics: a masked observational study. BMC Ophthalmology [online]. 2008, vol. 8, issue 1, s. 1- [cit. 2014-12-21]. DOI: 10.1186/1471-2415-8-1. Dostupné z: <http://www.biomedcentral.com/1471-2415/8/1>
- [45] SHAARAWY, Tarek M., Mark B. SHERWOOD, Jonathan G. CROWSTON a Roger A. HITCHINGS. Glaucoma: Expert Consult Premium Edition. ilustrované vydání. Elsevier Health Sciences, 2009, s. 104-109. ISBN 978-070-2029-769.
- [46] Keeler Pulsair Desktop Non Contact Tonometer - Lombart Healthcare. New & Used Ophthalmic Equipment For Sale | Lombart Instrument [online]. Copyright © 2023 Lombart Healthcare All Rights Reserved. [cit. 18.05.2023]. Dostupné z: <https://lombartinstrument.com/products/keeler-pulsair-desktop-non-contact-tonometer/>
- [47] OLÁH, Z. a kol.: *Očné lékařstvo*. 1. vyd. Martin: Osveta, 1998. 256 s. ISBN 80-88824-74-5.
- [48] EFRON, N.: *Contact lens praktice*. 2. vyd. Elsevier, 2010. 473 s. ISBN 978-0-7506-8869-7.
- [49] KOLÍN, J.: *Oční lékařství*. Praha: Karolinum, 2007. 109 s. ISBN 978-80-246-1325-3
- [50] ČECH, S.; HORKÝ, D.: *Histologie a mikroskopická anatomie pro bakaláře*, Brno: Masarykova univerzita, 2004, 137 s. ISBN 80-210-3513-7
- [51] ODEHNAL, M., FERROVÁ, K., MALEC, J.: Léčba suchého oka, *Praktické lékařství*, roč. 2010, č. 6, 3. s. 149-152.
- [52] <https://www.muni.cz> [online]. Masarykova univerzita: doc. MUDr. Veronika Matušková, Ph.D., FEBO, 2020 [cit. 2023-08-11]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/med/jaro2020/VLOL7X1/um/Anatomie_a_fyziologie_oka_nova.pdf

- [53] Efron, N.: *Optometry A-Z*. Elsevier, Edinburgh 2007, 414s.
- [54] KOMÍNEK, P., ČERVENKA, S., MÜLLNER, K.: *Nemoci slzných cest: diagnostika a léčba*. 1.vyd. Praha: Maxdorf, 2003. 287s. ISBN 80-85912-60-0.
- [55] KROUPOVÁ, Veronika. *Nitrooční tlak* [online]. Brno, 2011 [cit. 2023-08-11]. Available from: <https://theses.cz/id/y9iur9/>. Bachelor's thesis. Masaryk University, Faculty of Medicine. Thesis supervisor MUDr. Eva Žampachová.
- [56] VÝBORNÝ P., FUČÍK M., ROZSÍVAL P.: *Oční lékařství*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2007, Glaukom.
- [57] KRAUS H., KAREL I., RŮŽIČKOVÁ E.: *Oční zákaly*. Praha: Grada Publishing, spol s.r.o., 2007
- [58] VÝBORNÝ P.: *Oční lékařství*. Praha: Galén Karolinum, 2006
- [59] KROUPOVÁ, Veronika. *Srovnání metod měření nitroočního tlaku v optometrické praxi* [online]. Brno, 2013 [cit. 2023-08-11]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/rp76bd/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. Vedoucí práce Mgr. Sylvie Petrová.
- [60] HORNOVÁ, J., *Oční propedeutika*, ed.1, Praha: Grada, 2011, ISBN 978-80-247 4087-4
- [61] ČIHÁK, R. *Anatomie 3*. 2. vyd. Praha: Grada Publishing, 2002. ISBN 80-716- 9140-2.
- [62] KONRÁDOVÁ, V., UHLÍK J. *Funkční histologie*, ed. 2, Jinočany H&H, 2000. ISBN 80-860-2280-3.
- [63] E. O. Naňka Ondřej, Miloslava Elišková, *Přehled anatomie 2. dopl. a přeprac. vyd.* Praha: Galén, 2009. ISBN 978-802-4617-176.
- [64] R. Čihák, *Anatomie 3*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-3817-8.
- [65] J. H. Krachmer, M. J. Mannis, a E. J. Holland, *Cornea 3rd edition*. Mosby, 2010. ISBN: 978-03-232-4742-9
- [66] SCHVEINEROVÁ, Pavla. *Srovnání metod měření nitroočního tlaku* [online]. Olomouc, 2013 [cit. 2023-08-13]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/hd2ktv/>. Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Mgr. Eliška Hladíková.

- [67] GAWLASOVÁ, Pavlína. *Změny nitroočního tlaku s důrazem na fyzickou zátěž* [online]. Brno, 2011 [cit. 2023-08-13]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/c735g/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. Vedoucí práce Eva ŽAMPACHOVÁ.
- [68] HRONOVÁ J.: *Fyziologické hodnoty nitroočního tlaku u naší populace*. Čs.Oftal. 1997, 53, 2, s. 88-93.
- [69] SKORKOVSKÁ, Š., SYNEK, S. *Fyziologie oka a vidění*. Praha : Grada, 2004. 93 s. ISBN 80-247-0786-1.
- [70] MALÁ, Lucie. *Vliv tloušťky rohovky na hodnoty nitroočního tlaku měřeného různými metodami: The influence of corneal thickness on intraocular pressure measured by various methods*. Kladno, 2015. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství. Vedoucí práce Ján Leták.
- [71] NOVÁKOVÁ, Michaela. *Nitrooční tlak, metody měření* [online]. Brno, 2016 [cit. 2023-08-13]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/jzrgs/>. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. Vedoucí práce Magdaléna BOČKOVÁ.
- [72] HORNOVÁ, J.: *Fyziologické hodnoty nitroočního tlaku u naší populace*. Čs. Oftal., 53, 1997, s. 88 – 93.
- [73] SANDERS, Sheila P. Ocular Hypotony Clinical Presentation. *Medscape* [online]. 2010, [cit. 2011-03-15]. Dostupný z WWW: <<http://emedicine.medscape.com/article/1207657>>.
- [74] *About-vision* [online]. 2009 [cit. 2011-03-10]. Intraocular pressure - causes, range and symptoms. Dostupné z WWW: <<http://www.about-vision.com/intraocular-pressure>>.
- [75] URBÁNKOVÁ, Nikola. *Nitrooční tlak – možnosti měření a související oční patologie* [online]. Brno, 2013 [cit. 2023-08-13]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/rc2gd/>. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Lékařská fakulta. Vedoucí práce Petra KOCANDOVÁ.
- [76] KOLEKTIV AUTORŮ. *Glaukom – vybrané kapitoly*. Praha: Nukleus HK, 2008. 228 s. ISBN 978-80-87009-35-2.
- [77] www.icaretonometr.com
- [78] KRAUS H.: Aplanační tonometrie. Čs.Oftal., 2, 1968, s. 135-142, ISSN 1211-9059
- [79] Alguire PC. Tonometry. In: Walker HK, Hall WD, Hurst JW, editors. *Clinical Methods: The History, Physical, and Laboratory Examinations*. 3rd edition. Boston: Butterworths; 1990. Chapter 118. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK222/>
- [80] Kraus, Hanuš, Eva RŮŽIČKOVÁ a Ivan KAREL. *Oční zákaly*. 1. vyd. Praha: Grada, 2001, 149 s., s. barev. obr. příl. ISBN 80-7169-967-5.

- [81] Zrak.cz: Měření nitroočního tlaku. [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné z: <http://www.zrak.cz/ocni-onemocneni/glaukom/12-mereni-nitroocniho-tlaku.html>
- [82] Florence.cz - Odborný časopis pro ošetrovatelství a ostatní zdravotnické profese: Aktuality 22. 10. 2012. [online]. [cit. 2013-02-14]. Dostupné z: <http://www.florence.cz/zpravodajstvi/aktuality/prevenci-glaukomu-stale-podcenujeme/>
- [83] Reichert Technologies: Ocular Response Analyzer®. [online]. [cit. 2013-03-13]. Dostupné z: http://www.reichert.com/product_details.cfm?pcId=418&skuId=2976&skuTk=1036239258
- [84] MORRISON, John C.; POLLACK, Irvin P. *Glaucoma: science and practice*. [s.l.] : Thieme, 2003. 530 s.
- [85] GARG, Ashok. *Mastering the Tech. of Glaucoma Diag. & Management*. India: Jaypee Brothers Publishers, 2006. 557 s.
- [86] FINGERET, Murray; LEWIS, Thomas L. *Primary care of the glaucomas*. USA: McGraw-Hill Professional, 2000. 555 s.
- [87] HEISSIGEROVÁ, Jarmila. *Oftalmologie: pro pregraduální i postgraduální přípravu*. Praha: Maxdorf, [2018]. Jessenius. ISBN 978-80-7345-580-4.
- [88] FLAMMER, Josef. *Glaukom: průvodce pro pacienty: úvod pro zdravotníky : příručka pro rychlou informaci*. Praha: Triton, 2003. ISBN 80-7254-351-2.
- [89] RŮŽIČKOVÁ, Eva. *Glaukom: průvodce ošetřujícího lékaře*. Praha: Maxdorf, c2006. *Farmakoterapie pro praxi*. ISBN 80-7345-083-6.
- [90] HYCL, Josef; VALEŠOVÁ, Lucie. *Atlas oftalmologie*. Praha: TRITON, 2003. 151 s.

Seznam symbolů a zkratk

Seznam symbolů

Symbol	Jednotka	Význam
P	KPa	Tlak
F	N	Síla
s	m^2	Plocha
P_i	$mmHg$	Nitrooční tlak
P_e	$mmHg$	Episklerální venózní tlak
R	N/mm^2	Odolnost trabekulární síťoviny

Seznam zkratk

Zkratka	Význam
NOT	nitrooční tlak
IOP	intraocular pressure
CCT	central corneal thickness (centrální tloušťka rohovky)
ORA	ocular response analyzer
GAT	Goldmannova aplanační tonometrie
PACG	primární glaukom uzavřeného úhlem /angulární (primary angle-closure glaucoma)
POAG	primární glaukom otevřeného úhlu (primary open-angle glaucoma)
BT	bezkontaktní tonometr
CH	hystereze rohovky
CRF	faktor rostoucí rohovkové rezistence
OL	oko levé
OP	oko pravé

Seznam obrázků

Obrázek 1: Anatomie slzného aparátu [9].....	7
Obrázek 2: Cirkulace nitrooční tekutiny [17]	10
Obrázek 3: Schéma Schiötzova tonometru [34].....	17
Obrázek 4: Přepočtová tabulka pro Schiötzův impresní tonometr podle Friedenwalda, Carl Zeiss, Jena, 1955 [40].....	18
Obrázek 5: Konfigurace půlkruhů slzného menisku [1]	20
Obrázek 6: Bezkontaktní tonometr (ORA) [46].....	21
Obrázek 7: Graf znázorňující měření hystereze na přístroji ORA [27]	22

Seznam Tabulek

Tabulka 1: Porovnání složení nitrooční tekutiny a plazmy [1]	8
Tabulka 2: Přepočítání správných hodnot nitroočního tlaku podle tloušťky rohovky dle Ehlerse a spol. [44].....	23
Tabulka 3: Hodnoty nitroočního tlaku naměřené pomocí BT u žen	30
Tabulka 4: Hodnoty nitroočního tlaku naměřené pomocí ORA u žen.....	31
Tabulka 5: Průměrné hodnoty nitroočního tlaku naměřené pomocí TX – 10 a ORA u žen....	32
Tabulka 6: Hodnoty nitroočního tlaku naměřené pomocí BT u mužů.....	33
Tabulka 7: Hodnoty nitroočního tlaku naměřené pomocí ORA u mužů	34
Tabulka 8: Průměrné hodnoty nitroočního tlaku naměřené pomocí TX – 10 a ORA u mužů.	35
Tabulka 9: Hodnoty nitroočního tlaku naměřené pomocí Schiötzova tonometru u mužů a žen	35
Tabulka 10: Hodnoty NOT – OL naměřené pomocí TX – 10, ORA a Schiötzovým tonometrem	36
Tabulka 11: Hodnoty NOT – OP naměřené pomocí TX – 10, ORA a Schiötzovým tonometrem	36

Seznam grafů

Graf 1: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL u žen pomocí TX-10.....	37
Graf 2: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OP u žen pomocí TX-10.....	37
Graf 3: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL + OP u žen pomocí TX - 10.....	38
Graf 4: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL u mužů pomocí TX - 10.....	38
Graf 5: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OP u mužů pomocí TX – 10.....	39
Graf 6: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL + OP u mužů pomocí TX – 10.....	39
Graf 7: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL u žen pomocí tonometru ORA.....	40
Graf 8: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OP u žen pomocí tonometru ORA.....	40
Graf 9: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL + OP u žen pomocí tonometru ORA.....	41
Graf 10: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL u mužů pomocí tonometru ORA.....	41
Graf 11: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL u mužů pomocí tonometru ORA.....	42
Graf 12: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL + OP u mužů pomocí tonometru ORA.....	42
Graf 13: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL + OP u žen pomocí TX – 10 a ORA.....	43
Graf 14: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL + OP u žen pomocí TX – 10 a ORA.....	43
Graf 15: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL pomocí Schitzova tonometru.....	44
Graf 16: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OP pomocí Schitzova tonometru.....	44
Graf 17: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL pomocí tonometru TX – 10, ORA a Schiotzova tonometru.....	45
Graf 18: Naměřené hodnoty nitroočního tlaku OL pomocí tonometru TX – 10, ORA a Schiotzova tonometru.....	45