

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY PALACKÉHO V OLOMOUCI

KATEDRA OPTIKY

SROVNÁNÍ METOD MĚŘENÍ NITROOČNÍHO TLAKU

Diplomová práce

VYPRACOVALA:

Bc. Pavla Schveinerová

obor N5345/R110205 OPTOMETRIE

studijní rok 2012/2013

VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE:

Mgr. Eliška Hladíková

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucí práce Mgr. Elišky Hladíkové za použití literatury uvedené v závěru práce.

V Olomouci 18.4.2013

.....

Pavla Schveinerová

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala Mgr. Elišce Hladíkové, vedoucí mé diplomové práce, za odborné vedení, vstřícný přístup a především za cenné připomínky a rady, které mi pomohli při psaní této práce. Dále bych ráda poděkovala primářce MUDr. Kláře Marešové a lékařce MUDr. Martě Karhanové za spolupráci na výzkumné studii. Diplomová práce byla podpořena z projektu PřF UP č. PrF_2012_014.

OBSAH

I.	TEORETICKÁ ČÁST.....	6
1	ÚVOD.....	6
2	NITROOČNÍ TEKUTINA.....	8
2.1	TVORBA NITROOČNÍ TEKUTINY	9
2.2	DYNAMIKA NITROOČNÍ TEKUTINY	9
2.3	SLOŽENÍ NITROOČNÍ TEKUTINY	10
2.4	ODTOK NITROOČNÍ TEKUTINY.....	11
3	NITROOČNÍ TLAK.....	13
3.1	VÝZNAM NITROOČNÍHO TLAKU	14
3.2	NORMÁLNÍ HODNOTY NITROOČNÍHO TLAKU	14
4	MĚŘENÍ NITROOČNÍHO TLAKU	16
4.1	APLANAČNÍ TONOMETRIE.....	18
4.1.1	<i>POSTUP MĚŘENÍ.....</i>	<i>21</i>
4.1.2	<i>VÝHODY A NEVÝHODY MĚŘENÍ.....</i>	<i>23</i>
4.2	BEZKONTAKTNÍ TONOMETRIE.....	24
4.2.1	<i>POSTUP MĚŘENÍ.....</i>	<i>26</i>
4.2.2	<i>VÝHODY A NEVÝHODY MĚŘENÍ.....</i>	<i>26</i>
4.3	REBOUND TONOMETRIE	28
4.3.1	<i>POSTUP MĚŘENÍ.....</i>	<i>30</i>
4.3.2	<i>VÝHODY A NEVÝHODY.....</i>	<i>34</i>

5	SROVNÁNÍ BEZKONTAKTNÍHO A ICARE TONOMETRU.....	35
5.1	SOUBOR A METODIKA	35
5.2	VÝSLEDKY	38
5.3	DISKUZE	40
6	SROVNÁNÍ GOLDMANNOVA APLANAČNÍH TONOMETRU S ICARE TONOMETREM	41
6.1	SOUBOR A METODIKA	41
6.2	VÝSLEDKY	44
6.3	DISKUZE	48
7	ZÁVĚR	50
8	POUŽITÁ LITERATURA.....	52

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ÚVOD

V současné moderní době většina populace klade důraz na kvalitní vidění, které je součástí jejich každodenního života. Mezi faktory, které mohou narušit náš zrak, patří mimo jiné civilizační choroby. K těmto chorobám se váže spousta ovlivňujících faktorů, jako je například zvýšená hladina krevního tlaku. V lidském těle existuje více tlaků, které se podílejí na udržení jeho rovnováhy. S okem se váže nitrooční tlak, jehož abnormální hodnoty mohou mít za následek vznik očního onemocnění zvaného glaukom neboli zelený zákal. Glaukom se celosvětově řadí na první místa příčin slepoty. Hodnoty nitroočního tlaku nám umožňují měřit přístroje zvané tonometry.

Tonometry využívají k měření nitroočního tlaku oploštění rohovky různými způsoby. V minulosti se především využívalo Schiötzova tonometru. Dnes se využívají metody kontaktní i bezkontaktní, které jsou stále vyvíjeny. Mezi kontaktní metody patří Goldmannův aplanační tonometr, který je dnes považována za zlatý standard v měření nitroočního tlaku. Avšak mimo některých evropských zemí, mezi které patří například Velká Británie nebo Nizozemí, není optometristům povoleno využívat metody, při nichž je potřeba anestezie rohovky. Nejnovějším typem tonometru je Icare tonometr, který využívá k oploštění rohovky zpětného odrazu malé sondy. I přesto, že se sonda dotýká rohovky, není potřeba její anestezie a měření je pro pacienta zcela nenáročné.

Diplomová práce je rozdělena na část teoretickou a experimentální. Teoretická část se zabývá popisem nitrooční tekutiny, její tvorbou, dynamikou a složením. Pro danou problematiku nitroočního tlaku je stěžejní její odtok. Je popsána hlavní odtoková cesta skrze duhovkorohovkový úhel, ale také cesta sekundární- nekonvenční. Další kapitola je věnována popisu nitroočního tlaku. Je zde popsán především jeho význam a interpretace normálních hodnot nitroočního tlaku.

Hlavní význam v teoretické části je věnován popisu jednotlivých metod měření nitroočního tlaku. Zaměřuje se především na Goldmannův aplanační tonometr

a bezkontaktní tonometr, jako dvě nejběžněji používané metody. Jako třetí je podrobněji popisován Icare tonometr. S těmito typy byly následně prováděny i studie. U každého tonometru je popsán jeho fyzikální princip, postup měření, možné chyby vzniklé při měření a jeho výhody a nevýhody.

K experimentální části se váží dvě provedené studie. První se věnovala porovnání Icare tonometru s bezkontaktním tonometrem. Druhá studie srovnávala Icare tonometr s Goldmannovým aplanačním tonometrem. Jelikož je měření Icare tonometrem velice jednoduché, příjemné a je snadná jeho dostupnost, rozhodla jsem se prozkoumat jeho validitu.

V diplomové práci bylo využito kromě české literatury také literatury zahraniční. Jelikož patří Icare tonometr mezi novější typy tonometrů na trhu, dostupné materiály jsou zatím pouze v angličtině, stejně jako podkladové studie použité v experimentální části. Materiály jsou volně přeloženy a citovány jako ostatní použité zdroje.

2 NITROOČNÍ TEKUTINA

Nitrooční tekutina nebo také jinak komorový mok, latinsky humor aquosus je významný faktor pro udržování vnitřního prostředí a objemu oka. Tekutina je produkována z krevní plazmy principem sekrece a ultrafiltrace, za které je uplatňován princip osmotického gradientu a aktivního transportu. Za normálních podmínek je hypertonická, s malým obsahem proteinů a vysokou koncentrací kyseliny askorbové. Výběžky ciliárního tělesa nepigmentované vrstvy buněk obsahují adenosintrifosfatázu, která má za úkol řídit transport sodíku, draslíku, kyseliny askorbové, glukózy a bikarbonátu do zadní komory oční proti osmotickému gradientu. Významnou roli v udržení iontového prostředí potřebného k aktivnímu transportu hraje karbonhydráza, kterou buňky obsahují. Pokud je fyziologický stav, těsná spojení buněk nepigmentového epitelu řasnatého tělesa, zabraňují vstupu větším molekulám, hlavně bílkovinám, do nitrooční tekutiny z krve. Jestliže by došlo k porušení této zábrany z jakékoliv příčiny, došlo by k narušení fyziologického složení nitrooční tekutiny a ta se poté stává podobnou plazmě. Nitrooční tekutina může odtékat konvenční cestou přes zornici do přední komory a poté primárně trámčinou komorového úhlu. Druhou možností je nekonvenční, uveosklerální cesta, kdy dochází k odtoku menšího množství řasnatým tělesem a duhovkou. Nevýznamnou roli zde hraje odtok přes rohovku. Tekutina se přes póry dostává postupně do všech vrstev trámčiny až k endotelovým buňkám, postupně přestupuje až do Schlemmova kanálu a dále do episklerálních žil, kterými se vrací do celkového krevního oběhu. [1]

2.1 TVORBA NITROOČNÍ TEKUTINY

Komorová tekutina je čirá, vyplňuje obě komory a vyživuje číré struktury předního segmentu. Její tvorba je dvoufázový proces, který začíná pasivní ultrafiltrací plazmy z kapilár do stromatu a odtud pokračuje aktivní sekrecí ciliárním epitelem do zadní komory. Právě ciliární epitel zabraňuje prostupu makromolekul do zadní komory. Tvoří jej dvě vrstvy buněk, vnější pigmentová a vnitřní nepigmentovaná. Oba dva typy buněk mají podobný tvar a jsou spojeny zvláštním mezibuněčným spojením a systémem volných prostor, který může kontrolovat pasáž vody, iontů a makromolekul do nitrooční tekutiny. Do nitrooční tekutiny se dostane pouze malé množství proteinů a proto je jejich koncentrace pouze 1% oproti plazmě. [1]

2.2 DYNAMIKA NITROOČNÍ TEKUTINY

Nitrooční tlak u dospělých jedinců je dán poměrem mezi tvorbou a odtokem nitrooční tekutiny, kde je sklerální obal relativně rigidní. U dětí, kde je skléra pružnější a dokáže se do určité míry rozpínat, při zvýšeném množství nitrooční tekutiny může někdy docházet ke vzniku takzvaného buftalmu. K překonání odporu odtoku nitrooční tekutiny, který představují odtokové cesty, musí být vyprodukováno odpovídající množství tekutiny. Snížený odtok nitrooční tekutiny může být například u glaukomu, kde je obstrukce nebo porucha funkce trámčiny a tím dochází ke zvýšení nitroočního tlaku. Za normálních podmínek nám dynamika nitrooční tekutiny udržuje nitrooční tlak a objem na poměrně stálé hladině. Tvorbu a odtok tekutiny nám může negativně ovlivnit mnoho faktorů, např. věk, úraz, zánět a další. [2]

U dospělého zdravého jedince je v průběhu jednoho dne dynamika nitrooční tekutiny přibližně 2,3 $\mu\text{l}/\text{min}$. Ráno od 8 hodin do poledne je u aktivního člověka nejrychlejší, 2,91 \pm 0,71 $\mu\text{l}/\text{min}$. Od poledne po 16 hodinu odpolední dochází k poklesu, 2,66 \pm 0,58 $\mu\text{l}/\text{min}$. K nejpomalejšímu toku dochází ve spánku od půlnoci do 6 hodiny ranní, 1,23 \pm 0,4 $\mu\text{l}/\text{min}$. Relativně stejné hodnoty jsou u mužů i žen. Během života dochází k zpomalení hydrodynamiky přibližně o 25%. [1]

2.3 SLOŽENÍ NITROOČNÍ TEKUTINY

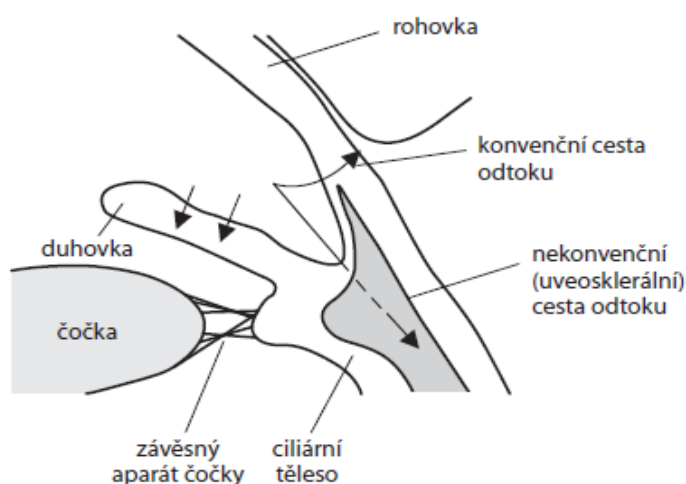
V porovnání s plazmou se složení nitrooční tekutiny výrazně liší. Nižší hodnota pH je v přední komoře. Nitrooční tekutina je kyselější, protože má větší množství chloridů a naopak nižší obsah bikarbonátů. Také hladina bílkovin je v přední komoře nižší než v plazmě. Pokud dojde k poškození hematookulární bariéry, začne stoupat obsah proteinů a dochází tak k vyrovnání frakce v plazmě. U člověka nitrooční tekutina usnadňuje koagulaci. Transportem tekutiny z rohovky do přední komory, jejíž rychlost je 10 $\mu\text{l/hod}$ je udržována průhlednost a normální hydratace rohovky. [1]

Tabulka č. 1 Složení nitrooční tekutiny a plazmy¹

	oční mok v přední komoře	plazma ($\mu\text{mol/ml}$)
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

2.4 ODTOK NITROOČNÍ TEKUTINY

Systém odtoku nitrooční tekutiny je složen z několika možných cest. Můžeme ji rozdělit na konvenční cestu, kde nitrooční tekutina odtéká z přední komory trabekulární síťovinou do Schlemmova kanálu a nekonvenční uveosklerální cestu. Další možná cesta odtoku nitrooční tekutiny z přední komory je duhovkovými cévami nebo stromatem duhovky. Nepatrné množství tekutiny odtéká rohovkou. Schéma odtoku nitrooční tekutiny jednotlivými cestami je znázorněno na následujícím obrázku č. 1.



Obr. 1 Schéma odtokových cest nitrooční tekutiny z přední oční komory^[1]

KONVENČNÍ CESTA

Jak již bylo zmíněno výše, tato cesta je jednou z hlavních odtokových cest nitrooční tekutiny. Obecně můžeme říci, že vede z přední komory přes trámčinu komorového úhlu do Schlemmova kanálu a dále vodními vlnami do krevního řečiště. Trabekulární trámčina, která je složena z lamel na stěně Schlemmova kanálu se nachází pouze u vyšších primátů a člověka. Naše trámčina má 200 až 300 tisíc buněk a lze ji rozdělit na přední a zadní oblast. Přední nefiltrující oblast není v kontaktu se Schlemmovým kanálem. Zadní filtrující oblast pokrývá vnitřní stěnu Schlemmova kanálu a skládá se z kribiformní, korneosklerální a uveosklerální trámčiny. Tím, že je velikost pórů omezena může docházet k jejich ucpávání a zároveň

k znesnadnění odtoku nitrooční tekutiny. Buňky trabekula mají vysokou schopnost fagocytózy a tím odstraňují částice, buněčný odpad a molekuly bílkovin z cirkulující nitrooční tekutiny. Dále mohou pohlcovat erytrocyty, pigmentová granula a bakterie. Takto fagocytovaný materiál se shromažďuje v ohraničených vakuolách, kde ho rozkládají lyzozomy a nakonec procházejí endotelem do Schlemmova kanálu až se dostávají do celkového oběhu.

Schopnost tvorby vakuolů, pórů a kanálků pro odtok nitrooční tekutiny má vnitřní vrstva endotelu. V závislosti na tlaku v přední komoře se mění velikost vakuolů. Při vyšším nitroočním tlaku jsou větší a naopak při nižším menší. Vnitřní stěna má také význam jako jednosměrná chlopeň zabráňující zpětnému toku nitrooční tekutiny. [1]

NEKONVENČNÍ CESTA

Nekonvenční cesta nebo-li také odtok nitrooční tekutiny uveosklerální cestou se podobá lymfatické drenáži v jiných orgánech. Pokud dojde k vynechání lymfatického systému v oku, zastupuje ho a má velký význam pro odstranění toxických tkáňových metabolitů. Protože mezi přední komorou a supraciliárním prostorem neexistuje epitelová bariéra, může tekutina poměrně snadno prostupovat do tkáňových prostor ciliárního tělesa a mezi svazky ciliárního svalu. Během tohoto průchodu k sobě přidává tkáňový mok z ciliárního tělesa a choroidey.

Velikost tohoto odtoku se u různých živočišných druhů liší. Průměrný odtok u člověka je 0,2 $\mu\text{m}/\text{min}$. Lze ho ovlivnit použitím farmatik, např. atropinem, který ho zvyšuje nebo pilokarpinem, který ho naopak snižuje. Odtok uveosklerální cestou není závislý na tlaku, na rozdíl od odtoku konvenční cestou. Při normálním nitroočním tlaku je podíl odtoku nitrooční tekutiny nekonvenční cestou přibližně 10-30 %.

Právě ciliární sval je rozhodujícím faktorem v odtoku nitrooční tekutiny uveosklerální cestou. Pokud dochází k rozšiřování intermuskulárních prostor ciliárního svalu, předpokládá se, že dojde ke zvýšení odtoku touto cestou. Se zvyšujícím se nitroočním tlakem klesá ultrafiltrace nitrooční tekutiny. Tento jev se nazývá pseudofacilita. Ke vzestupu snadnosti odtoku přispívá také tlakem vyvolaný pokles nitrooční tekutiny. [1]

3 NITROOČNÍ TLAK

Tlak v oku, tak jak ho známe je z fyzikálního hlediska rozdíl mezi absolutním nitroočním tlakem a atmosférickým tlakem v jakémkoliv daném čase. Hodnota tlaku je také závislá na odtoku nitrooční tekutiny a ten musí překonávat určitý odpor. Nitrooční tlak je tedy dán také výsledkem rovnováhy mezi tvorbou a odtokem nitrooční tekutiny. Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole snížením tvorby nebo snazším odtokem dochází ke snížení tlaku a naopak pokud ciliární těleso tvoří více tekutiny, tlak stoupá. Nitrooční tlak měříme pomocí tonometrů, které budou popsány v následující kapitole.

Jeho hodnota se vyjadřuje v torrech nebo milimetrech rtuťového sloupce (mm Hg). Tlak 1 torr odpovídá hydrostatickému tlaku, který je vyvolán 1 mm rtuťového sloupce. Dále platí:

$$1 \text{ torr} = 1 \text{ mm Hg} = 133,322 \text{ Pa.}$$

Definicí standardní atmosféry je dán přesný přepočítání hodnoty v torrech na hodnotu v pascálech. Z výpočtu hydrostatického tlaku můžeme také odvodit vztah mezi oběma jednotkami. [3, 20]

3.1 VÝZNAM NITROOČNÍHO TLAKU

V první řadě nitrooční tlak zachovává stálý tvar oka. Pokud změníme směr pohledu, oční svaly působí velkou silou na oční bulbus. Na oko působí též víčka, proto se část nitroočního tlaku podílí na ochraně oční koule před její deformací. Ta by mohla vzniknout při jakémkoliv pohybu oka nebo při mrkání a může mít také vliv na kvalitu obrazu vytvářeného na sítnici. Jeho druhou funkcí je zamezení odtoku některých tkání oka a tím zastává funkci onkotického tlaku. Tento tlak působí na molekuly bílkovin v krvi, ty dále na kapaliny ve vedlejších tkáních a tím mohou odstraňovat buněčný odpad. Protože menší molekuly bílkovin mohou prostupovat z cévních stěn cévnatky pryč a oko nemá svůj lymfatický systém, nastupuje na řadu opět nitrooční tlak. Ten se stará o to, aby se tekutina obsahující koncové produkty dostala zpět do krevního oběhu. Prouděním nitrooční tekutiny dochází k trvalému omývání tkání oka a tím dochází k vyživování rohovky a čočky, které jsou avaskulární. Ty nemají žádné vlastní cévy, aby si zachovaly svojí transparentnost a nezhoršila se jejich zraková funkce.

Na základě výše řečených funkcí nitroočního tlaku je dána jeho nezbytnost. Je-li z nějakého důvodu delší dobu snížený, dochází k různým potížím, například otoku cévnatky a tím následnému zhoršení vidění. Jakmile se nitrooční tlak opět zvýší, dochází k rychlé obnově vidění do původního stavu. Pokud je však tlak příliš vysoký může dojít ke vzniku glaukomového poškození. [3]

3.2 NORMÁLNÍ HODNOTY NITROOČNÍHO TLAKU

Normální hodnoty nitroočního tlaku nelze určit zcela přesně. Například ze statistického hlediska je normální hodnota taková, jež se nejčastěji naměří u zdravých očí. Průměrný nitrooční tlak se většinou pohybuje v rozmezí mezi 9-21 mm Hg a střední hodnota kolem 15 mm Hg. V populaci se najdou také zdraví jedinci, u kterých naměříme tlak nižší než 9 mm Hg nebo naopak vyšší než 21 mm Hg. Tyto případy se vyskytují velice málo. I když mají lidé ve většině případů tlak nižší

než 21 mm Hg, neznamená to automaticky, že toto je hodnota, od které vznikají problémy. Tím může být například onemocnění glaukom, kde dochází k poškození zrakového nervu. To může vznikat, ale i u nižších hodnot nitroočních tlaků. Najdou se i jedinci, kteří mají tlak vyšší než 21 mm Hg a žádné problémy se u nich neprojevují. U každého člověka je hraniční hodnota vzniku změn jiná. Závisí na samotném jedinci a dalších rizikových faktorech (věk, rodina, rasa, pohlaví, oční vada a další).

Nitrooční tlak se během dne různě mění. U lidí trpících glaukomem více kolísá než u zdravých očí. Jestliže chceme tlak sledovat, musíme provést více měření během dne. Akutní zvýšení tlaku může být méně škodlivé než dlouhodobé zvýšení. Naměřená hodnota nitroočního tlaku může být také ovlivněna centrální tloušťkou rohovky. [3]

4 MĚŘENÍ NITROOČNÍHO TLAKU

Měření nitroočního tlaku se též nazývá tonometrie a k jeho měření se využívá tonometrů. Dříve než se tyto přístroje vynalezli, využívalo se pohmatu očního bulbu. Střídavě se oběma ukazováčky tlačilo na oko a tím se určovala přibližná hodnota nitroočního tlaku. Tento typ se dodnes využívá, pokud je potřeba rychle zjistit aktuální stav a nejsou k dispozici přístroje. Měření nitroočního tlaku je důležité, protože jeho patologicky zvýšené hodnoty mohou vést k očním onemocněním, které poškozují tento smyslový orgán, jako je například glaukom. [3]

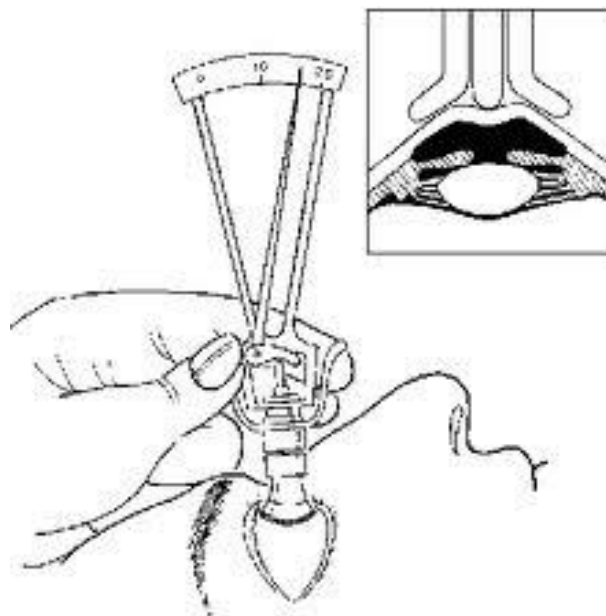
Glaukom je multifaktoriální onemocnění charakterizované změnami zrakového nervu projevujícími se v souvislosti s vyšším nitroočním tlakem. Není-li nitrooční tlak sledován, glaukomové změny progresivně rostou, dochází k zužování zorného pole, což může skončit až slepotou. Tyto změny mohou vznikat i při fyziologických hodnotách nitroočních tlaků. Jeho zvýšené hodnoty jsou pouze nejvýznamnější z celé řady rizikových faktorů. Jelikož glaukom nebolí a delší dobu probíhá bez příznaků, dochází k jeho stanovení často až v terminální fázi, kdy už je patrná zhoršená centrální ostrost. I přesto, že je známo více teorií vzniku poškození zrakového nervu, snižování nitroočního tlaku zůstává jeho nejdůležitější léčbou. Častěji se vyskytuje u starších osob, ale není výjimkou v žádném věku. Dalším z mnoha faktorů je například systémová hypertenze, genetika, myopie, vaskulární choroby a diabetes mellitus. [2]

V dnešní době existuje několik možností jak změřit nitroočního tlaku. K dispozici jsou kontaktní i bezkontaktní metody. Každý jednotlivý typ využívá určitého principu oploštění rohovky. V praxi oftalmologů se využívá hlavně Goldmannova aplanačního tonometru a bezkontaktního tonometru, který je součástí také mnoha optometrických pracovišť. Do podvědomí se postupně dostává i nový model tonometru nazývaný Icare, pracující na principu zpětného odrazu. Všechny tyto typy budou podrobně popsány v následujících kapitolách, protože byly využívány k mé studii.

Existují však ještě další metody, mezi něž patří například dynamický konturní tonometr Pascal, který byl poprvé představen v roce 2002. Cílem pro jeho vývoj

bylo získat neinvazivní a přímou metodu pro měření nitroočního tlaku. Jedná se o digitální, kontaktní tonometr, který se v praxi upevňuje na štěrbinovou lampu. Povrchu rohovky se po dobu několika sekund dotýká silikonový konkávní hrot, který je pro každého pacienta dán nový. Piezoelektronickým senzorem, umístěným na hrotu je změřen nitrooční tlak. Přístroj zaznamenává také amplitudu očního pulsu, která je rozdílem mezi průměrným systolickým a diastolickým nitroočním tlakem. Měření je možno provést i u nepravidelné rohovky a není nijak ovlivněno její tloušťkou. Je zde nutné použít také anestezii rohovky. [9]

V minulosti se ještě využívalo Schiötzova impresního tonometru. Jednalo se o jemnomechanický přístroj. Pacient ležel na zádech a přístroj měřil prohnutí středu rohovky, která byla znecitlivělá. Na rohovku tlačila pohyblivá pelota, která se zatížila závažími o různých hodnotách (5,5; 7,5 a 10 gramů). Zaoblená část peloty měla také funkci účelového pístu a podle přepočtové tabulky byla zjištěna daná hodnota nitroočního tlaku. Nevýhodou tohoto měření byla nezkušenost osoby provádějící měření. Nepřesnost měření spočívala také v působení celé hmotnosti měřidla. [4]



Obr. 2 Schiötzův impresní tonometr^[17]

4.1 APLANAČNÍ TONOMETRIE

Aplanační tonometrie jak je již patrné z názvu využívá aplanaci nebo-li oploštění povrchu rohovky k měření nitroočního tlaku. Všechny aplanační tonometry pracují na principu Imbert- Fickova zákona (dříve známý také jako Maklakoff- Fickův zákon), které je popsán níže. Úplně první používané aplanační tonometry způsobovaly aplanaci variabilní oblasti. Mezi ně patřil např. Maklakoff, Tonomat a glaukomové testy, které se dnes už nevyužívají.

Moderní aplanační tonometry, mezi které patří například Tono-pen, pneumatonometr nebo Perkinsův tonometr aplanují již dané oblasti rohovky. Výsledky jejich měření jsou ovlivněny elasticitou rohovky, povrchovým napětím slz, velikostí povrchu koule a zvýšeným tlakem, který je způsoben použitím daného tonometru. I přes tyto obtíže má aplanační tonometr jednoduchou funkci pro měření nitroočního tlaku. Aplanační oblast má průměr 3-4 mm, povrchové napětí slz a pružnost rohovky se navzájem zruší. [6, 7]

Pneumatometr je kontaktní aplanační tonometr, který se skládá ze čtyř hlavních částí:

- senzor, který reaguje na nitrooční tlak při aplikaci na rohovku
- snímač, který převádí pneumatický signál na elektrický
- kombinovaný zesilovač, který zesiluje signál a poskytuje jeho odečet
- vzduchová jednotka, která dodává stlačený vzduch do sondy tonometru.

Konstantní průtok vzduchu prochází trubicí, při položení hrotu na rohovku tlak mezi membránou zesílí a systém se uzavře. Dle síly potřebné k oploštění tlak vzduchu stoupá. Umožňuje také měřit kolísání nitroočního tlaku způsobené působením srdečního cyklu. Je nutné použít anestezii rohovky. Můžeme ho využít při měření nepravidelných rohovek a jeho přesnost je $\pm 2,8$ mm Hg. [9]

Tono-pen je přenosný aplanační tonometr pracující na principu Goldmannova tonometru. Měření je rychlé, bezpečné a nezávislé na poloze a místě. Na digitálním displeji se zobrazuje nitrooční tlak v mm Hg. Dezinfekce je prováděna automaticky pomocí ultrafialového záření a automaticky se přístroj i dobíjí. Na rohovku je potřeba použít anestetikum a poté je na několik sekund přiložen hrot tonometru, který je pro každého pacienta vyměněn. Přístroj má tvar tužky a je možné ho využít

pro měření v ambulanci, vleže i při chirurgickém zákroku. Jeho výhodou je dostatečně vysoká přesnost měření i u nepravidelné rohovky. [8]

Perkinsův tonometr byl vyvinut jako kapesní, přenosná verze Goldmannova tonometru. Má svůj vlastní zdroj světla a pro pozorování není potřeba použití štěrbinové lampy. Je možné ho využít pro měření v horizontální i vertikální rovině. Přístroj má opěrku brady, aby bylo zabráněno chvění přístroje, což je jeden z hlavních problémů tohoto přístroje. [7]

GOLDMANNŮV APLANAČNÍ TONOMETR

V dnešní době je Goldmannův aplanační tonometr mezinárodním standardem v oftalmologické praxi, se kterým se ostatní přístroje srovnávají a provádí se s ním většina studií. Vynalezl ho švýcarský oční lékař z Bernu Hans Goldmann (1899-1991) a představil ho roku 1954. K oploštění rohovky využívá sílu, která je závislá na nitroočním tlaku. Goldmannův aplanační tonometr musí být pravidelně kalibrován. Jeho kalibraci nám může usnadnit skutečnost, že použitá síla 1g odpovídá vnitřnímu tlaku 10 mm Hg při dané oblasti aplanace 3,06 mm. Bývá součástí štěrbinové lampy a jeho použití je možné pouze po anestezii rohovky a vsedě. [3]



Obr. 3 Schéma aplanace rohovky ^[4]



Obr. 4 Aplanační tonometr ^[14]

Je sestaven na základě Imbert-Fickova zákona. Ten tvrdí, že tlak $P_{[kPa]}$ nacházející se uvnitř ideální koule s tenkými a pružnými stěnami je rovný 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:

$$P_{[kPa]} = F_{[N]} / S_{[m^2]}$$

Skleněný komolý kužel je tlačěn na střed rohovky. Jeho přední část má průměr 3,06 mm a obsah plochy S je tedy roven $7,35 \text{ mm}^2$. Přes štěrbinovou lampu koukáme přibližně pod úhlem 60° a s malým zvětšením. Část rohovky, kterou oplošťujeme má poloměr křivosti r a představuje objemově kulovou úseč, kterou můžeme vyjádřit vztahem:

$$V = \frac{1}{6} \pi \cdot h \cdot (3r^2 + h^2)$$

Z rovnice sférometru můžeme vyjádřit hodnotu hloubky vrchlíku h , která platí pro hodnotu zakřivení rohovky 7,7 mm vycházejících z parametrů Gullstrandova schématického oka:

$$h = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

Konečnou derivaci tlaku zjistíme vyjádřením z derivace objemové změny v souladu s koeficientem k :

$$\frac{\delta P}{P} = k \cdot \frac{\delta V}{V}$$

U tohoto oplošťování jsou zanedbatelné objemové změny a tím můžeme výraz $\frac{k}{V}$ nahradit c , což je takzvaná rigidita oka ($c = 0,06 \mu\text{l}^{-1}$) a integrováním předchozí rovnice získáme výraz:

$$\frac{\ln P_a}{P} = c \cdot (V_a - V),$$

kde P_a je tlak zjištěný při aplanaci rohovky a P tlak neaplanovaného oka.

Bereme-li, že objem průměrné kulové úseče je 0,55 μ l můžeme rohovkovou rigiditu zanedbávat. Tímto nám vychází 3 % chyba měření směrem k vyšším hodnotám a to odpovídá 1 mm Hg. Je to hodnota, která je v praxi ještě přijatelná. Nejideálnější je měření zopakovat a hodnoty zprůměrovat, čímž odstraníme vliv aktuálního kolísání nitroočního tlaku. [4]

4.1.1 POSTUP MĚŘENÍ

Následující postup je popisován pro Goldmannův aplanací tonometr. Pacient sedí za štěrbinovou lampou s bradou a čelem zapřenými do opěrky a kouká přímo vpřed nebo na fixační světlo. Vzdálenost fixačního bodu by se neměla výrazně měnit, protože hodnoty nitroočního tlaku se mění s akomodací. Do spojivkového vaku mu je kápnuta lokální anestezie s fluoresceinem.

Na rohovku koukáme přes kobaltový filtr s nejjasnějším světlem a kužel, jehož součástí je dvojitý klín, se nachází těsně před jejím vrcholem. Stupnice na tonometru je nastavena mezi 1-2, tedy mezi 10-20 mm Hg, protože při nastavení na nulovou hodnotu je vibrace nezátíženého tělesa nepříjemná. Kuželem se pomalu přibližujeme, až se dotkne rohovky a její limbus se rozsvítí modrým kobaltovým světlem. Díváme se okuláry štěrbinové lampy, kde slzný film vytvořil prstenec žlutozelené barvy. Hranol umožní rozdělení kroužku na dva půlkruhy, které jsou posunuty do vzájemné polohy. Stupnicí na tonometru otáčíme do té doby, než se kroužky dostanou do koincidence a tím je velikost aplanované plochy právě 3,06 mm. Jakmile je máme zarovnané, odečteme na stupnici sílu potřebnou k tomuto oploštění a vynásobíme ji deseti. Toto číslo nám poté udává velikost nitroočního tlaku v mm Hg.

Při měření by měly být oba půlkruhy stejně velké, což můžeme dosáhnout posunutím výšky ramene štěrbinové lampy. Pokud má pacient astigmatismus, lze měřit v jakékoliv ose. Je-li astigmatismus příliš velký neoplošťuje se kruhová, ale eliptická plocha a v obou osách na sebe kolmých jsou rozdílné výsledky a volíme průměrnou hodnotu. U hodně vysokých astigmatismů jsou výsledky v obou řezech již výrazně

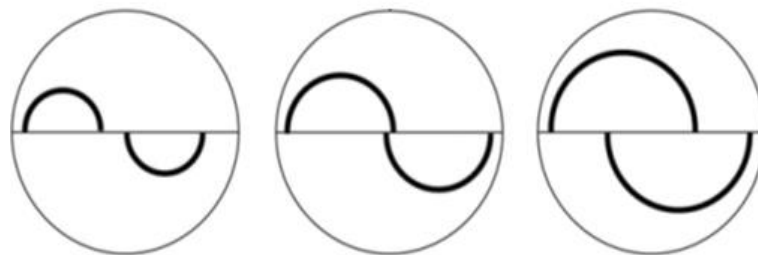
odlišné a dochází tu již k působení rohovkové pevnosti a povrchového napětí, které mohou hodnoty zkreslit. [5,10]



Obr. 5 Aplanování rohovky kuželem ^[19]

Během měření může dojít k několika typickým situacím, které jsou znázorněny na následujícím obrázku:

- a) pokud je prstenec vidět menší a příliš slabý, naměřený nitrooční tlak bude nižší
- b) jestliže má prstenec správnou tloušťku výsledný tlak bude optimální
- c) pokud je prstenec vidět větší a příliš silný, naměřený nitrooční tlak bude vyšší



Obr. 6 Možné varianty zobrazení prstence na rohovce

MOŽNÉ CHYBY VZNIKLÉ PŘI MĚŘENÍ

Jak již bylo zmíněno, jednou z hlavních chyb je nevhodná aplikace fluoresceinu. Pokud je na oko vytvářen větší tlak vyšetřujícím, stlačeno oční víčko nebo jsou omezené okohybné svaly (např. myopatie štítné žlázy) mohou být změřeny uměle

vysoké hodnoty nitroočního tlaku. Má-li pacient rohovkový edém, hodnoty mohou být naopak uměle nízké. Chyba v měření může nastat i u nepravidelného povrchu rohovky, u vysokého astigmatismu nebo jizev rohovky. Dostane-li se mezi oko a tonometr řasa musí být měření přerušeno.

Dlouhodobý kontakt má také za následek snížení nitroočního tlaku. Určitý vliv na hodnotu nitroočního tlaku má i tloušťka rohovky. Normální je hodnota okolo 550 μm . Pokud je rohovka tenčí nebo silnější musíme to brát v úvahu. Nesprávná kalibrace tonometru může mít za následek špatnou interpretaci hodnot, proto je jí důležité v pravidelných intervalech kontrolovat. [5]

ČIŠTĚNÍ A DEZINFEKCE

Tonometr musí být správně dezinfikován, aby nedocházelo k přenosu infekce. Tonometrie by se neměla dělat u jedinců s hrozbou přenosu infekce. Mělo by být využíváno pouzdro, které kryje tonometr. Před každým použitím otřít hrot tonometru dezinfekcí. Dalším možným způsobem je otírání a namáčení tonometru do 3 % roztoku peroxidu vodíku po dobu 5 minut. Toto řešení je však jedovaté k epitelu rohovky a musí být dbáno na důkladné opláchnutí hrotu před použitím. [5]

4.1.2 VÝHODY A NEVÝHODY MĚŘENÍ

Protože je při tomto typu měření nitrooční tlak zvyšován jen minimálně, než u jiných typů přínos chyb je menší. Výsledná hodnota není též zkreslována rigiditou rohovky. Hlavně u myopie a tam, kde předpokládáme nízkou rigiditu bulbu je měření Goldmannovým aplanačním tonometrem vhodné. U rozdílných průměrů rohovek je rovněž nepatrné zkreslení výsledků od jiných typů tonometrů. Tím, že šterbinová lampa umožňuje různá zvětšení, je dosaženo přesného měření. Přístroj je velice jednoduchý, nerozbitný a nesprávnost výsledků jeho vinou je zanedbatelná.

Jeho hlavní nevýhodou je nepoužitelnost při nerovnostech rohovky. Měření nitroočního tlaku je možné pouze vsedě, což není někdy možné. Další nevýhodou je metodická chyba tohoto přístroje a změny při opakovaných měření. Působením dechu, tepu, zevních okohybných svalů a víček není možné dosáhnout přesnosti větší než je $\pm 1 \text{ mm Hg}$. [10]

4.2 BEZKONTAKTNÍ TONOMETRIE

Nejnovějším typem bezkontaktního tonometru je ruční přístroj Pulsair. Na rozdíl od běžných tonometrů, které měří čas potřebný k aplananci dané oblasti rohovky, Pulsair měří skutečný tlak nutný k této aplanaci. Celé měření trvá přibližně několik milisekund a výsledek je na digitálním displeji uveden v mm Hg. [6]

V roce 1972 Grollmann sestrojil bezkontaktní tonometr, aby zjednodušil měření nitroočního tlaku. U předešlých typů nebylo možné zamezit vniknutí infekce do oka. I když jsou podniknuta opatření, aby k tomu nedošlo, mohou samotný problém tvořit dezinfekční prostředky, které za určitých okolností způsobují komplikace rohovky.

Na obrázku číslo 7 je schéma přístroje, jehož základem je extrémně přesná časomíra. Světelné paprsky jsou vyzařovány ze světelného zdroje *Z* pod určitým úhlem z boční strany měřicí hlavy přístroje. Tyto paprsky se na ploše rohovky, která reflektuje, odrážejí, dále prostupují objektivem *OB* a funkční clonou *C* před fotodetektozem *FD*. Fixační a pozorovací soustava mikroskopu se nachází uprostřed přístroje stejně jako vyústění vzduchové trysky. Fotodetektor, který je na opačné straně měřicí hlavy, zachytí z emitovaného světla pouze malou část. Je to dáno tím, že je rohovka ve středu sférická. Jakmile rohovku oploštíme vzduchem z tlakového zásobníku, fotodetektor dokáže zachytit větší množství odraženého světla, jak je opět znázorněno na obrázku číslo 7. Princip tohoto tonometru je dán přesnou časomírou, která změří na tisícinu vteřiny čas, kdy byl vypuštěn vzduch na rohovku pro její aplanování až po dobu, kdy k němu skutečně došlo. Čím delší je čas potřebný k oploštění rohovky, tím bude vyšší naměřená hodnota nitroočního tlaku. [4]

Při oploštění rohovky je dána změna objemu oka za 1 vteřinu výrazem:

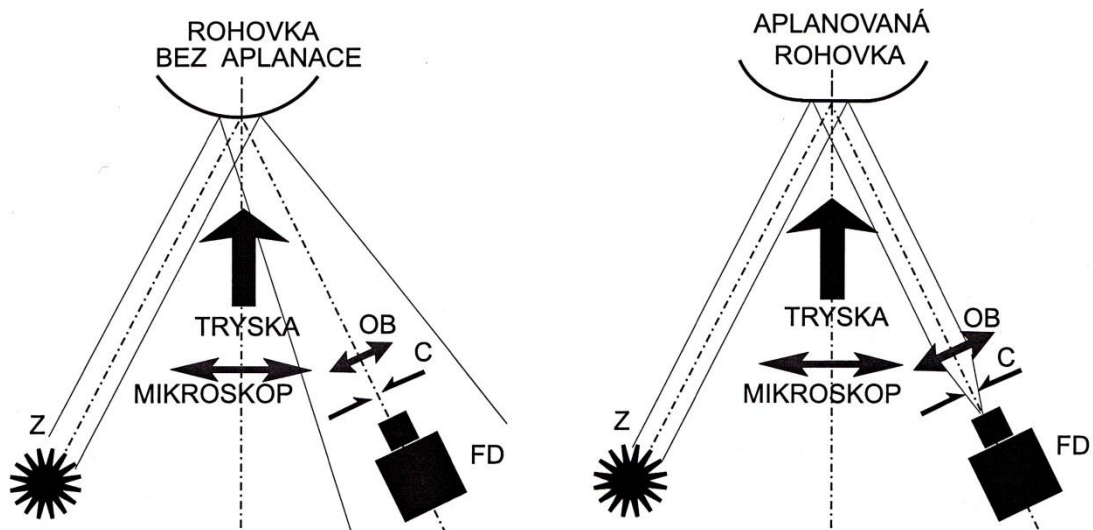
$$dV/dt = R \cdot (P_v - IOT),$$

kde *R* je odpor rohovky a *P_v* tlak vzduchu, kterým je na rohovku působeno. Pokud se energie tlakové vlny šíří rychlostí 200 - 300 m/s, poté tlak odpovídá přibližně hodnotě 10,66 kPa (80 mmn Hg). Například u intraokulárního tlaku 17 mm Hg je dle Fatta úplného oploštění dosaženo po 0,013 vteřinách.

Pro konečný nitrooční tlak tedy platí vztah:

$$IOT = P_v - 1/R \cdot dV/dt.$$

Působením proudového profilu vzduchu se vytvoří povrchový profil oploštěné rohovky a to nám může dávat různé možnosti výsledků.



Obr. 7 Schéma principu měření bezkontaktním tonometrem [4]

Jakmile je hlava přístroje zaměřena před rohovku, většina bezkontaktních tonometrů se automaticky spustí. Musí však být dodrženo startovacích podmínek, které již byly znázorněny na obrázku číslo 7. V záloze bývá popřípadě i manuální ovládání. Pokaždé by se mělo provést více měření (nejméně tři), aby bylo zamezeno vlivu krátkodobého kolísání. Je-li jedno z měření výrazně odlišné, měli bychom ho zopakovat celé znova. Doba jednoho měření trvá asi 10 μ s a ihned potom se jeho hodnota zobrazí na displeji. Některé publikace uvádějí, že u hodnot do 35 mm Hg dává tonometr relativně spolehlivé výsledky, které se shodují s Goldmannovým aplanáčním tonometrem. Méně přesné měření nastává u tlaků vyšších jak 45 mm Hg. Má-li pacient výraznější astigmatismus, excentricitu, edém nebo zjizvenou rohovku výsledky jsou opět méně přesné. Z tohoto vyplývá, že je to metoda vhodná spíše ke screeningu. [4]

4.2.1 POSTUP MĚŘENÍ

Pacient sedí na židli, hlavu a bradu má zapřenou do opěrky přístroje, která se dá výškově přizpůsobit. Jelikož nedochází ke kontaktu s rohovkou, není potřeba použít anestetikum na rohovku. Tonometrem se dá volně pohybovat všemi směry a menší pohyby jsou prováděny džojstikem. Jakmile je přístroj nacentrován na rohovku vypustí proud vzduchu. V případě, že je nesprávné zarovnání v době, kdy je vypuštěn vzduch, systém detekuje chybu a výsledek měření není zobrazen. Poté se musí měření opakovat. Podle typu tonometru je provedeno několik měření po sobě, které jsou následně zprůměrovány do jedné výsledné hodnoty. [6]



Obr. 8 Bezkontaktní tonometr^[15]



Obr. 9 Bezkontaktní tonometr^[16]

4.2.2 VÝHODY A NEVÝHODY MĚŘENÍ

Jak již bylo zmíněno, jednou z hlavních výhod tohoto tonometru je měření nitroočního tlaku bez použití anestetika. Tonometr se nemusí dotýkat rohovky a tím se může předejít přenosu infekce. Další výhodou je, že tento přístroj nemusí ovládat pouze lékaři a může ho mít tak většina optometristů na svých pracovištích. Tím může docházet

k častějšímu měření nitroočního tlaku a upozornění na možná onemocnění spojená s jeho zvýšením.

Automatizace mechanismu má však za následek, že nástroje jsou často používány mimo profesionálního personálu jako screeningový nástroj. Nezkušeností měřícího mohou být udávány falešně vyšší hodnoty. Nevýhodou také může být, že proud vypuštěného vzduchu je pro většinu pacientů nepříjemný.

4.3 REBOUND TONOMETRIE

Unikátní technologie umožňuje bezpečný, bezbolestný a hygienický postup. Rebound tonometry byli vyvinuty s cílem najít nové, jednoduché a pacienta nezatěžující měření nitroočního tlaku. Pracují na základě principu technologie zpětného odrazu („rebound“), při níž se lehká sonda o průměru 0,9 mm chvilkově dotkne rohovky. V odrazové technologii jsou zaznamenávány pohybové parametry sondy během měření. Základní provedení přístroje obsahuje kovovou komoru a pomocí jednoduchého elektrického proudu mohou být sondy magnetizovány. Při aktivaci se polarity v rámci komory změní, což má za následek posun sondy dopředu o 1 cm. Pokud je sonda ve vzdálenosti 3-7 mm od rohovky, odrazí se zpět silou od komory, která je pak převedena na hodnotu nitroočního tlaku pomocí senzorového systému s elektromagnetickou cívkou, který zaznamenává indukci vyvolanou pohybující se magnetickou cívkou. Celková kinetická energie sondy je velmi nízká asi 1 μJ a pouze malá část energie se vstřebává do oka. Pokročilý algoritmus v kombinaci s nejmodernějším softwarem analyzuje zpomalení sondy, dobu kontaktu a další parametry sondy zatímco se dotýká rohovky. Zjednodušeně řečeno čím je vyšší nitrooční tlak, tím se sonda pohybuje výrazně pomaleji a má kratší dobu kontaktu.



Obr. 10 Měření nitroočního tlaku Icarem ^[18]

Rebound tonometry umožňuje v některých případech i měření nitroočního tlaku vleže na zádech, což je jejich výhodou. Vestavěný senzor sklonu umožňuje vystřelení sondy pouze v horizontální nebo vertikální rovině, aby se zabránilo nepřesnostem vzhledem k šikmému vyrovnání. Velký barevný displej slouží pro snadnou orientaci a čtení hodnot. Tonometr je schopen zaznamenat až 1000 naměřených dat. Tyto data se mohou procházet a tím je možné sledovat předchozí pacienty. Technologie odrazu nepotřebuje žádnou kalibraci nebo pravidelné služby. [13]

ICARE TONOMETRY

Icare tonometr (Icare) je nový druh tonometru, který byl představen v roce 2000 a na trh se dostal v roce 2003. Byl zkoumán několik let doktorem Antti Kantiolou a nakonec se zařadil jako užitečný, přenosný ruční tonometr, který může opakovaně měřit nitrooční tlak. Je srovnatelný s opatřeními přijatými pro aplanační tonometr v rámci standardního rozsahu nitroočního tlaku. Pokud je směrodatná odchylka měření menší než 1,8 mm Hg je to považováno za normální. Nelze ho s přesností zařadit mezi kontaktní ani bezkontaktní metodu. Přestože se jeho malá a lehká sonda dotýká oka, je to dotek hodně rychlý. Pacient měření leckdy ani nezaznamená a proto je to velice vhodná metoda k použití mimo jiné také u špatně spolupracujících pacientů, jako jsou například děti a pacienti s demencí. [13]



Obr. 11 Sonda pohybující se k rohovce^[13]

Icare tonometry nabízí plně integrovaný systém pro kompletní sledování nitroočního tlaku. Icare PRO používají oftalmologové a optometristé pro klinické měření zatímco Icare ONE je určen pro pacienty na sledování nitroočního tlaku doma. Jednotná technologie umožňuje oftalmologovi, aby výsledky porovnal. Tonometry se využívají i k veterinárním účelům pro domácí zvířata a koně nebo pro laboratorní výzkum. Icare LINK software slouží pro analýzu naměřených dat, zpracovává a vyhodnocuje dlouhodobé sledování. Data se stahují přímo k LINK softwaru přes USB port. Umožňuje nám uložení dat po každém jednotlivém pacientovi. Výsledky mohou být poté posouzeny jako číselné grafy, grafické prezentace a dokonce se jednotlivá měření dají vytisknout na papír.

Já budu nadále popisovat Icare PRO, který jsem využívala ve své studii. Jeho hmotnost je pouhých 275 g a tím je snadno přenosný a použitelný kdekoli. Rozsah měření je v rozsahu 5 - 50 mm Hg s uváděnou přesností $\pm 1,2$ mm Hg (≤ 20 mm Hg) a $\pm 2,2$ mm Hg (> 20 mm Hg). [13]



Obr. 12 Icare tonometry: Icare ONE, Icare TA01i, Icare PRO [13]

4.3.1 POSTUP MĚŘENÍ

Zapneme přístroj stisknutím hlavního tlačítka, zobrazí se nám uvítací obrazovka a poté se objeví menu. Menu má 4 položky- measure (měření), history (historie), settings (nastavení) a turn off (vypnutí). Dále jsou na hlavním panelu 4 navigační

tlačítka (nahoru, dolů, doprava a doleva) a hlavní tlačítko, které slouží k procházení menu. Před měřením musí být tonometr správně nastaven, poté vložíme sondu a nastavíme polohu měření.

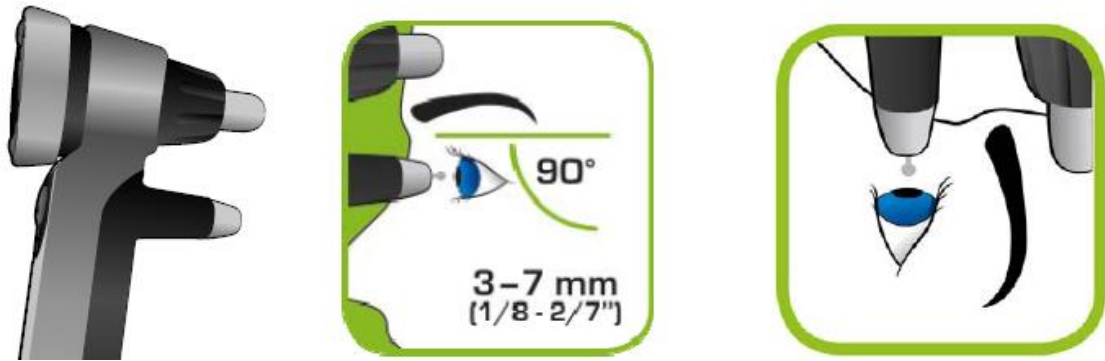
Icare PRO tonometr využívá jednorázových sond, které jsou zabaleny do jednotlivých blistrů. Chceme-li načíst sondu, musíme zmáčknout hlavní tlačítko pro zapnutí. Po načtení menu, přejdeme na měření, potvrdíme hlavním tlačítkem a objeví se nám zpráva, vložte sondu. Částečně otevřeme obal sondy, nesmíme se jí však přímo dotknout, aby nedošlo k její kontaminaci. Vložíme ji do tonometru a lehce sondu zatlačíme. Musíme dávat pozor, aby se sonda neohla. Nakloněním tonometru dopředu a dozadu zkontrolujeme, zda je sonda správně zasunuta. Opět přejdeme na tlačítko měřit, stiskneme hlavní tlačítko, tím se nám sonda aktivuje a tonometr je připraven k měření. Je-li tonometr nakloněn k měření na zádech, sonda drží automaticky na místě. [13]



Obr. 13 Jednorázové sondy a jejich vložení [13]

U takto připraveného tonometru vybereme oko, které chceme změřit pomocí pravého a levého tlačítka a hlavním tlačítkem vše potvrdíme. Pacient sedí opřený na židli, řekneme mu, aby se díval před sebe a doširoka otevřel oči. Přiložíme tonometr k oku, pokud je potřeba upravíme vzdálenost pomocí čelové podpory. Vzdálenost od špičky sondy k rohovce musí být 3 - 7 mm. Stiskneme hlavní tlačítko a provedeme jedno individuální měření. Nesmí dojít k otřesu tonometru a špička sondy musí navázat kontakt s centrální částí rohovky. Po každém měření následuje krátké pípnutí a na displeji se zobrazí výsledek. Předěšlý krok opakujeme šestkrát. Stiskneme hlavní tlačítko, vybereme ano a pokračujeme v měření druhého oka. Jakmile máme změřené i druhé oko zazní delší pípnutí a na displeji se nám zobrazí obě hodnoty najednou.

Pokud nechceme pokračovat v měření, zvolíme NO, výsledky se uloží a můžeme vypnout tonometr. Tonometr se automaticky vypne po 3 minutách, pokud je v nečinnosti. [13]



Obr. 14 Měření nitroočního tlaku Icarem v přímé poloze a vleže na zádech ^[13]

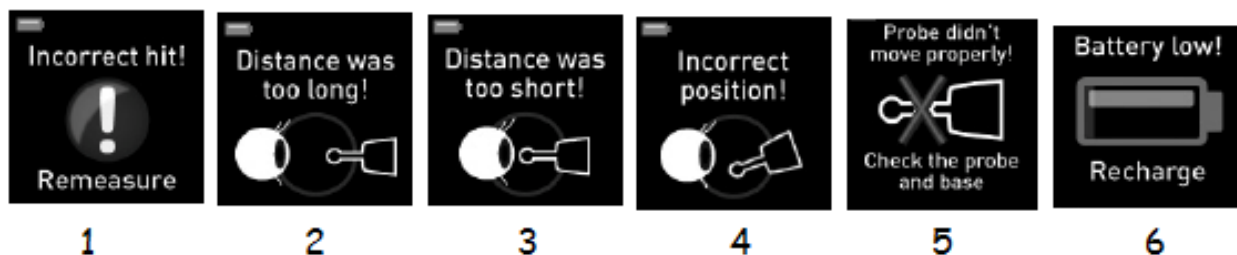
Údaj o spolehlivosti měření je zobrazen zároveň s konečnou hodnotou nitroočního tlaku. Pokud jsou rozdíly mezi měřeními v normálních mezích, numerická odchylka se zobrazí zeleně. Je-li odchylka mírně vyšší barva je žlutá a u vysokých odchylek červená. Tonometr navrhuje opakované měření v případě, že je variabilita příliš vysoká. Změny nitroočního tlaku mohou být způsobeny účinky impulsu dýchání, pohyby očí a polohy těla. [13]

Měření je nutno zopakovat znovu v několika případech:

- sonda se dotkla víčka nebo vynechala centrální oblast rohovky
- variace je vysoká a numerická odchylka se zobrazí červeně
- při setkání s hodnotou např. nad 22 mm Hg nebo pod 8 mm Hg. [13]

MOŽNÉ CHYBY VZNIKLÉ PŘI MĚŘENÍ

Pokud dojde k nějaké chybě, Icare PRO nám dá znamení zprávou na displeji. Může dojít k následujícím situacím.



- 1) Sonda nemá čistý kontakt s rohovkou, dotýká se např. víček nebo řas.
- 2) Vzdálenost mezi sondou a rohovkou je příliš velká nebo se sonda rohovky nedotýká vůbec.
- 3) Vzdálenost mezi rohovkou a sondou je příliš malá.
- 4) Umístění tonometru je nesprávné.
- 5) Sonda se nepohybuje správně nebo se nepohybuje vůbec. Pokud se chyba opakuje, vyměňte sondu.
- 6) Baterie je téměř vybitá. Nabijte baterii umístěním tonometru do dokovací stanice. [13]

ČIŠTĚNÍ A DEZINFEKCE

Nepohybuje-li se sonda úplně ideálně, může být sonda nebo její držák znečištěný či zaprášený. Sonda by se měla vyměnit, jak je zmíněno výše a držák očistit. Podpora čela se musí před každým pacientem očistit a musí se vyměnit také sonda. Sterilita sondy nelze zaručit, je-li její obal porušen. Resterilizace sondy nebo její opětovné použití by mohlo vést k nesprávnému měření. Nejideálnější je použití dezinfekčních např. alkoholových prostředků. V žádném případě se nesmí tonometr ponořit do vody. [13]

4.3.2 VÝHODY A NEVÝHODY

U Icare tonometru se nemusí používat anestetik. Dotek sondy s rohovkou je velice krátký a většina pacientů ho popisuje jako lehké šimrání. Nejsou zde spojeny nepříjemnosti se svícením do oka jako u Goldmannova aplanačního tonometru nebo vypuštěním vzduchu u bezkontaktního tonometru, které jsou často pacientům nepříjemné. Pro pacienta je měření tímto tonometrem nezatěžující, protože trvá pouze několik sekund. Jeho velkou výhodou je měření nitroočního tlaku i vleže a využití u hůře spolupracujících pacientů. Protože se na každého pacienta používá jednorázová sonda je minimalizováno riziko kontaminace virem a bakteriemi.

Během času co jsem tonometru sama využívala ke svému výzkumu, nenašla jsem závažnější nevýhodu. Jeho jedinou nevýhodou je použití v blízkosti mobilních telefonů, kdy může dojít k jeho rušení. Kontraindikací jeho použití jsou pouze rohovkové jizvy, buftalmus, nystagmus a keratokonus, které však ovlivní hodnotu nitroočního tlaku u jakéhokoliv typu tonometru. [13]

II. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

5 SROVNÁNÍ BEZKONTAKTNÍHO A ICARE TONOMETRU

K měření nitroočního tlaku dnes pravidelně dochází nejen v ordinaci očních lékařů, ale stává se také běžným na optometrických pracovištích. Zjištění abnormální hodnoty může upozornit na závažnější oční onemocnění jako je např. zelený zákal - glaukom. Odesláním pacienta na podrobnější vyšetření můžeme dosáhnout jeho včasné diagnostiky. Glaukom je onemocnění spojené právě se zvýšeným nitroočním tlakem, i když to nemusí být vždy pravidlem. Nelze jednoznačně říci, že každý u koho je naměřen vyšší nitrooční tlak, má zároveň glaukom.

Protože Icare tonometr umožňuje měření nitroočního tlaku bez použití anestetik a je snadno dostupný na trhu, rozhodla jsem se ověřit jeho validitu v porovnání s jinými často používanými tonometry. První studie byla zaměřena na jeho porovnání s bezkontaktním tonometrem. V návaznosti na tuto studii byl porovnán Icare tonometr i s Goldmannovým aplanačním tonometrem, což bude popsáno v následující kapitole 6.

5.1 SOUBOR A METODIKA

Zkoumaný soubor tvořilo 43 probandů, kterými byli studenti optometrie na katedře optiky Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Zde taktéž v optometrické laboratoři daná studie probíhala. Ve výsledcích bylo počítáno s hodnotami z pravého i levého oka. Skupina se skládala z 35 žen a 8 mužů (graf č. 1) ve věku mezi 19ti až 26ti lety. Všichni zúčastnění byli nejprve poučeni o průběhu měření a zároveň s tím podepsali informovaný souhlas. Každý z následujících probandů poté podstoupil dvě po sobě jdoucí měření. Jelikož jednotlivá měření probíhala ve spolupráci se studentkou magisterského studia,

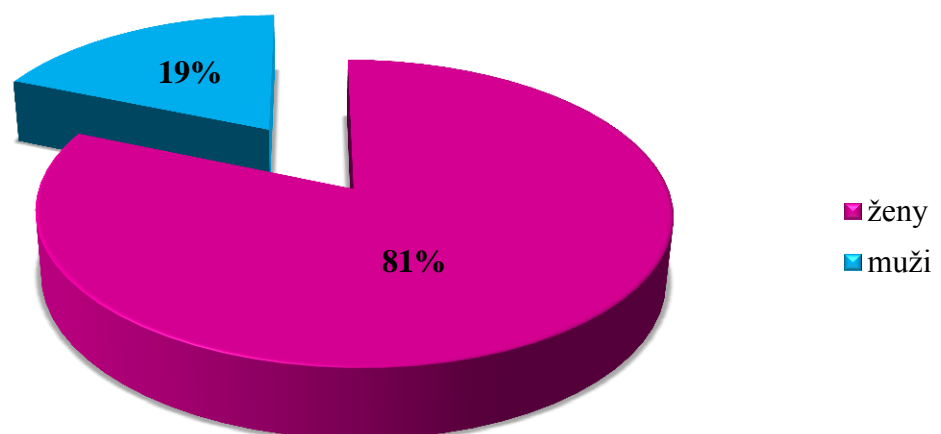
kteřá taktéř pracovala na své diplomové práci, bylo nezbytnou podmínkou pro zařazení do studie a zachování její objektivity splnění těchto podmínek:

- Žádný z daných probandů se nesměl léčit se zvýšeným nitroočním tlakem ani glaukomem
- Nesměl mít žádné oční ani systémové onemocnění ovlivňující nitrooční tlak.

Právě kvůli výše uvedené podmínce musel být jeden z vyšetřovaných probandů ze studie vyřazen z důvodu sledování zvýšeného NOT a pravidelných kontrol na glaukomové poradně. Refrakční vady daných jedinců nebyly brány v potaz. Centrální tloušťka rohovky nebyla měřena a hodnoty nitroočních tlaků jsou tedy orientační a slouží pouze k porovnání, nikoliv k diagnostice onemocnění zrakového orgánu.

Graf č. 1

ROZLOŽENÍ PROBANDŮ PODLE POHLAVÍ



Měření bylo pro probandy nenáročné a trvalo přibližně pět minut. Žádné měření nebylo opakováno. Standardním způsobem bylo nejprve provedeno měření Icare PRO tonometrem a poté autoref/kerato/tonometrem značky Nidek RKT 7700,

jejichž principy jsou popsány v kapitole 4. Tlak byl změřen jako první na pravém oku a následně až na oku levém. Icare tonometrem bylo provedeno 6 po sobě následujících měření, kdy nejnižší a nejvyšší hodnota byla automaticky vyřazena a následně se na displeji objevila konečná průměrná hodnota. Bezkontaktním tonometrem byly provedeny 3 měření, z kterých je taktéž udělána průměrná hodnota. Všechna měření byla prováděna ve stejné poloze. Tyto průměrné hodnoty byly zaznamenávány do tabulky a následně zpracovány. Všichni probandi byli změřeni v jednotný čas, aby byla do určité míry eliminována změna hodnoty nitroočního tlaku během dne.

Získávání dat probíhalo na podzim roku 2011. Statistické vyhodnocení bylo provedeno pomocí dvouvýběrového párového t-testu se střední hodnotou na hladině významnosti 5 %. Nulová hypotéza předpokládala, že změřené hodnoty nitroočního tlaku budou přibližně stejné a nedojde k významným rozdílům mezi danými metodami.

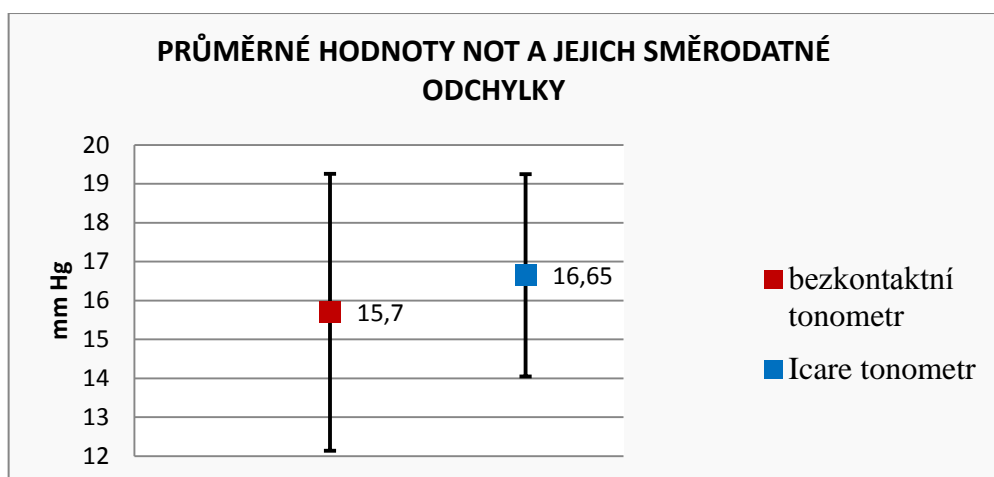
5.2 VÝSLEDKY

Střední hodnota nitroočního tlaku naměřeného bezkontaktním tonometrem byla 15,7 mm Hg se směrodatnou odchylkou 3,56 mm Hg (rozmezí: 9 - 27 mm Hg) a Icare tonometrem 16,65 mm Hg se směrodatnou odchylkou 2,6 mm Hg (rozmezí: 9,6 – 26,9 mm Hg). Průměrné hodnoty (\bar{x}) a směrodatné odchylky (σ) naměřených hodnot nitroočních tlaků z obou tonometrů jsou pro přehlednost vyjádřeny v tabulce č. 2 a graficky znázorněny pomocí chybových úseček na grafu č. 2.

Tabulka č. 2 Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky tonometrů

	Bezkontaktní tonometr	Icare tonometr
\bar{x}	15,7	16,65
σ	3,56	2,6

Graf č. 2



Rozdíl mezi uvedenými tonometry (hodnota z Icare tonometru minus hodnota z bezkontaktního tonometru) měl průměr 0,9 mm Hg se směrodatnou odchylkou 2,32 mm Hg. Z tohoto rozdílu je patrné, že Icare tonometr vůči bezkontaktnímu

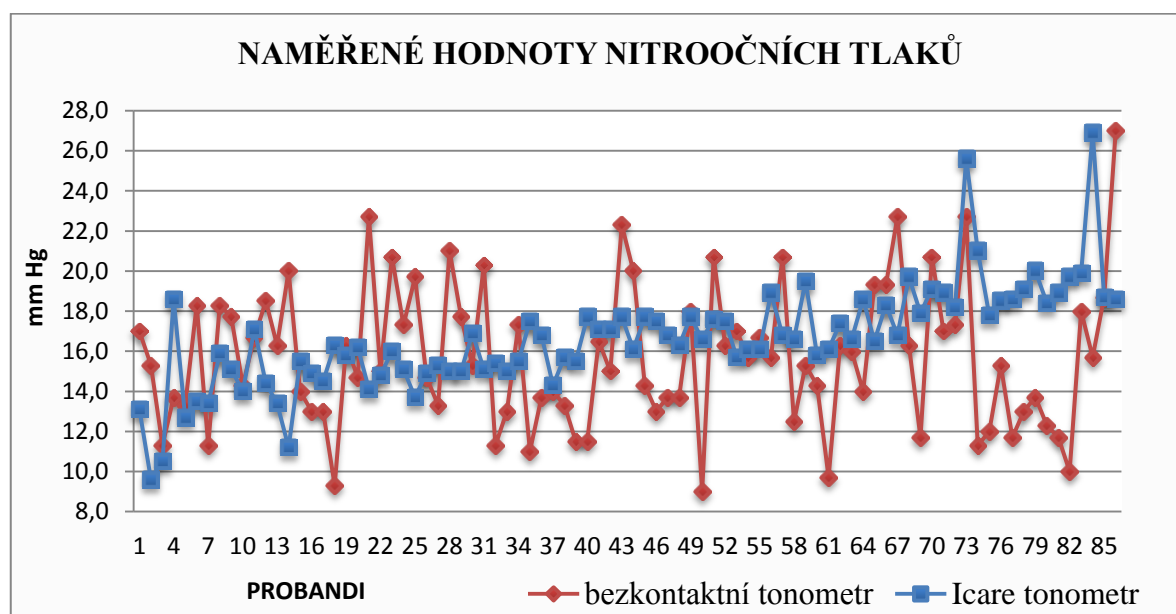
tonometru udával vyšší hodnoty. Rozdíl hodnot nižší než ± 1 mm Hg byl u 24,42 %, v rozmezí ± 2 mm Hg u 36,05 %, u 23,26 % byly hodnoty $> \pm 2$ mm Hg $< \pm 3$ mm Hg, $> \pm 3$ mm Hg $< \pm 4$ mm Hg u 6,98 %. U 9,30 % očí byl rozdíl hodnot $\geq \pm 4$ mm Hg. Pro přehlednost jsou tyto hodnoty zaznamenány v tabulce č. 3.

Tabulka č. 3 Rozdíl hodnot odpovídajících tonometrů

	$> \pm 1$ mm Hg	$> \pm 2$ mm Hg	$> \pm 3$ mm Hg	$> \pm 4$ mm Hg	$< \pm 4$ mm Hg
počet očí	21	31	20	6	8
v %	24,42%	36,05%	23,26%	6,98%	9,30%

Při statistickém porovnání těchto dvou tonometrů pomocí párového t- testu s hladinou významnosti 5 % byla prokázána signifikantní změna ($p < 0,00028$) a je tedy patrné, že se tyto dva tonometry v naměřených hodnotách nitroočních tlaků neshodují. Všechny získané hodnoty nitroočních tlaků jsou následně zaznamenány v grafu č. 3. Z tohoto grafu je patrné, že se jednotlivé hodnoty naměřených nitroočních tlaků výrazněji liší a nulovou hypotézu tedy nelze přijmout.

Graf č. 3



5.3 DISKUZE

Bezkontaktní tonometr je jedním z nejběžnějších tonometrů používaných optometry. Je využíván především ke screeningu v měření nitroočního tlaku. Jelikož je ve všech studiích k porovnání využíván Goldmannův aplanační tonometr není momentálně k dispozici žádná studie, která by porovnávala pouze bezkontaktní tonometr s Icare tonometrem. Ani jeden z těchto přístrojů nepotřebuje anestezii rohovky a měření jimi je jednoduché a trvá krátkou dobu.

Cílem této studie bylo porovnání Icare tonometru s bezkontaktním tonometrem. Nulová hypotéza předpokládala, že se oba tonometry v naměřených hodnotách budou shodovat, avšak tato hypotéza se nepotvrdila. Průměrný rozdíl mezi těmito tonometry (Icare minus bezkontaktní) byl $0,9 \pm 2,32$ mm Hg. Rozdíl menší než ± 3 mm Hg byl sice naměřen přibližně u 80 % respondentů avšak u vyšších nebo nízkých hodnot se oba tonometry výrazněji rozcházejí v naměřených hodnotách. Měření bylo prováděno na zdravých jedincích ve věku od 18ti do 26ti let a mohlo by být zajímavé provést tuto studii u lidí, kteří se léčí se zvýšeným nitroočním tlakem.

Studie splnila svůj hlavní úkol porovnání daných dvou tonometrů. Již teď mohu z vlastní zkušenosti říci, že Icare tonometr má velkou výhodu v jednoduchosti svého použití a možnosti přenosu. Zároveň je kalibrován pro měření v horizontální i vertikální rovině, které je velice užitečné například u lidí upoutaných na lůžko.

6 SROVNÁNÍ GOLDMANNOVA APLANAČNÍH TONOMETRU S ICARE TONOMETREM

Goldmannův aplanační tonometr je dnes považován za standard v měření nitroočního tlaku. Tento tonometr nalezneme v každé ordinaci očního lékaře. Stanovit přesné hodnoty nitroočního tlaku je velice důležité. Jak již bylo zmíněno v předešlých kapitolách, jeho abnormální hodnoty nás mohou upozornit na závažné oční onemocnění zvané glaukom, který je jednou z hlavních příčin slepoty v západních zemích. Je také známo, že vyšší hodnoty nitroočního tlaku jsou jedním z hlavních rizikových faktorů pro vznik a progresi tohoto očního onemocnění.

Existuje několik metod měření nitroočního tlaku pracujících na různých principech, ale ne všechny udávají validní výsledky. Momentální česká legislativa neumožňuje optometristům využívat kontaktní metody, pro které je nutná anestezie rohovky. Proto je možné využívat pouze takové metody, kde anestezie rohovky není nutná a tyto metody slouží většinou pouze pro screeningová měření. V předešlém výzkumu bylo prokázáno, že bezkontaktní a Icare tonometr se v naměřených hodnotách liší, a proto v návaznosti proběhla druhá studie na oční klinice Fakultní nemocnice v Olomouci, kde byl porovnáván Icare tonometr s Goldmannovým aplanačním tonometrem. Cílem této studie bylo zjištění validity Icare tonometru a jeho možné využití do budoucna.

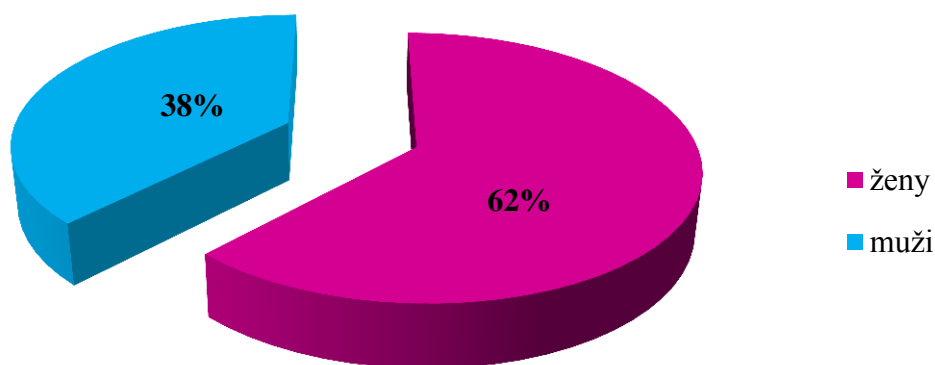
6.1 SOUBOR A METODIKA

Začátkem roku 2012 proběhla pilotní měření nitroočního tlaku na oční klinice Fakultní nemocnice v Olomouci, kde byly získány data pouze z aplanačního tonometru a Icare tonometru. Bylo změřeno přibližně 20 probandů, kteří docházeli do glaukomové poradny. Na základě těchto provedených měření a daných možnostech byla upravena a vytvořena tato studie, která byla doplněna o data z bezkontaktního tonometru a rozšířena o dotazníkové šetření.

Zkoumaný soubor tvořilo 45 probandů, kterými byli pacienti glaukomové poradny oční kliniky Fakultní nemocnice v Olomouci. Zde taktéž v ordinaci glaukomové poradny ve spolupráci s očními lékaři dané měření probíhalo. Ve výsledcích bylo počítáno s hodnotami z pravého i levého oka. Skupina se skládala z 28 žen a 17 mužů s průměrným věkem $55,31 \pm 17,89$ (v rozmezí 8 – 84 let).

Graf č. 4

ROZLOŽENÍ PROBANDŮ PODLE POHLAVÍ



Jelikož měření probíhalo na oční klinice, informovaný souhlas byl pacienty podepsán již při zavedení jejich karty a nebylo potřeba mít vlastní k dané studii. Všichni zúčastnění byli vždy informováni o průběhu měření a po měření každý následně odpověděl na pár otázek. Každému probandovi byl nejprve změřen nitrooční tlak u zdravotních sester bezkontaktním tonometrem Reichert, který automaticky prováděl tři měření a ty byly následně zprůměrovány na konečnou hodnotu. Tato hodnota nebyla započítána do statistického zpracování, z důvodu měření zdravotními sestrami. Ale bylo tohoto tonometru využito k dotazníkovému šetření, které se stalo doplňující součástí této studie. Dotazník obsahoval dvě otázky, které se týkaly příjemnosti a bolestivosti daných měření. Na oba parametry šlo odpovídat hodnotou 1, 2 nebo 3, kdy tato čísla znamenala:

PŘÍJEMNOST / BOLESTIVOST

- 1 PŘÍJEMNÉ / NEBOLELO
- 2 TROCHU NEPŘÍJEMNÉ / TROCHU BOLELO
- 3 (HODNĚ) NEPŘÍJEMNÉ / (HODNĚ) BOLELO.

Po změření bezkontaktním tonometrem byli pacienti rozkapáni a odesláni do čekárny. Jakmile měli pacienti dostatečně rozšířené zornice, byli voláni postupně do ordinace, kde proběhlo již potřebné vyšetření. Z uvedených dvou měření byl nejprve měřen nitrooční tlak Icare tonometrem, aby nedošlo k ovlivnění po znečitlivění rohovky a následně až Goldmannovým aplanačním tonometrem. Jak již bylo zmíněno, danými probandy byli pacienti s glaukomem, suspektním glaukomem nebo hypertenzí.

Měření z hlediska Icare tonometru bylo pro probandy nenáročné a trvalo přibližně 2 minuty. Pro každého pacienta byla vždy dána nová sonda a poté provedeno 6 po sobě jdoucích měření, kdy nejnižší a nejvyšší hodnota byla automaticky smazána a následně se na displeji objevila konečná průměrná hodnota. Žádné z měření nebylo opakováno. Poté byl standardním způsobem změřen nitrooční tlak Goldmannovým aplanačním tonometrem. Předtím bylo probandovi ještě do oka vkápnuto anestetikum s fluoresceinem. Tlak byl vždy nejprve změřen na pravém oku a následně až na oku levém. U aplanačního tonometru bylo měření prováděno očním lékařem a to pouze jednou. Hodnoty získané Icare tonometrem byly měřeny optometristou a prezentovány až po změření aplanačním tonometrem, aby nedošlo k ovlivnění. K měření docházelo vždy dopoledne mezi 8 – 12 hodinou. Centrální tloušťka rohovky byla měřena pouze u některých pacientů, kde bylo podezření na možnost ovlivnění hodnoty nitroočního tlaku. Ve sledovaném vzorku se nevyskytl žádný takový případ a její hodnota nebyla tedy brána v potaz. Hodnoty byly zaznamenávány do tabulky a následně zpracovány.

Získávání dat ke studii probíhalo od jara 2012 až do ledna 2013. Statistické vyhodnocení bylo provedeno pomocí dvouvýběrového párového t-testu se střední hodnotou na hladině významnosti 5 %. Z pilotního měření a jeho předběžných výsledků byla vytvořena nulová hypotéza, která předpokládala, že naměřené hodnoty nitroočních tlaků z Goldmannova aplanačního tonometru a Icare tonometru budou téměř stejné a nedojde k významným rozdílům mezi těmito metodami.

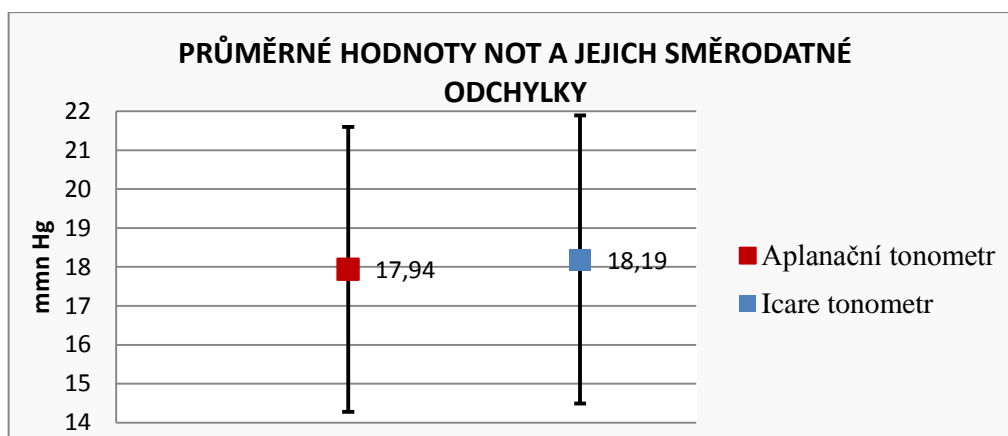
6.2 VÝSLEDKY

Střední hodnota nitroočního tlaku, která byla naměřena Goldmannovým aplanačním tonometrem, byla 17,94 mm Hg se směrodatnou odchylkou 3,66 mm Hg (rozmezí: 11 - 26 mm Hg) a u Icare tonometru byla 18,19 mm Hg se směrodatnou odchylkou 3,7 mm Hg (rozmezí: 10 – 27,7 mm Hg). Průměrné hodnoty (\bar{x}) a měrodatné odchylky (σ) naměřených hodnot nitroočních tlaků z obou tonometrů jsou pro přehlednost vyjádřeny v tabulce č. 4 a graficky znázorněny pomocí chybových úseček na grafu č. 5.

Tabulka č. 4 Průměrné hodnoty a směrodatné odchylky tonometrů

	Aplanační tonometr	Icare tonometr
\bar{x}	17,94	18,19
σ	3,66	3,7

Graf č. 5



Rozdíl mezi srovnávanými tonometry (hodnota z Icare tonometru minus hodnota z aplanačního tonometru) měl průměr 0,25 mm Hg se směrodatnou odchylkou 2,15 mm Hg. Z tohoto rozdílu je patrné, že Icare tonometr vůči aplanačnímu tonometru

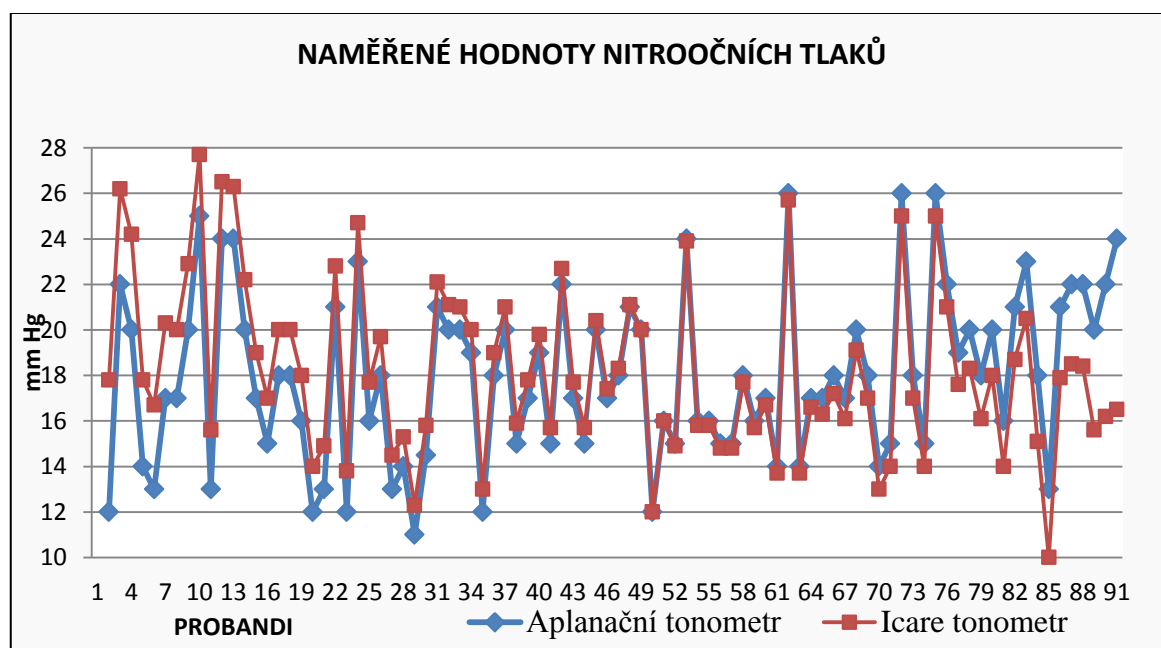
udává sice vyšší hodnoty, ale vzájemný rozdíl mezi tonometry je velice nepatrný. Rozdíl hodnot nižší než ± 1 mm Hg byl u 34,44 %, v rozmezí ± 2 mm Hg u 31,11 %, u 18,89 % byly hodnoty $> \pm 2$ mm Hg $< \pm 3$ mm Hg, $> \pm 3$ mm Hg $< \pm 4$ mm Hg u 8,89 %. U 6,67 % očí byl rozdíl hodnot $\geq \pm 4$ mm Hg. Pro přehlednost jsou tyto hodnoty zaznamenány v tabulce č. 5.

Tabulka č. 5 Rozdíl hodnot odpovídajících tonometrů

	$> \pm 1$ mm Hg	$> \pm 2$ mm Hg	$> \pm 3$ mm Hg	$> \pm 4$ mm Hg	$< \pm 4$ mm Hg
počet očí	31	28	17	8	6
v %	34,44%	31,11%	18,89%	8,89%	6,67%

Při statistickém porovnání Goldmannova aplanačního tonometru s Icare tonometrem pomocí párového t- testu s hladinou významnosti 5 % nebyla prokázána signifikantní změna ($p < 0,2676$). Všechny zaznamenané hodnoty nitroočních tlaků jsou znázorněny v grafu č. 6. I z tohoto grafu je tedy patrné, že se oba dva tonometry v naměřených hodnotách přibližně shodují a nulovou hypotézu tedy můžeme přijmout.

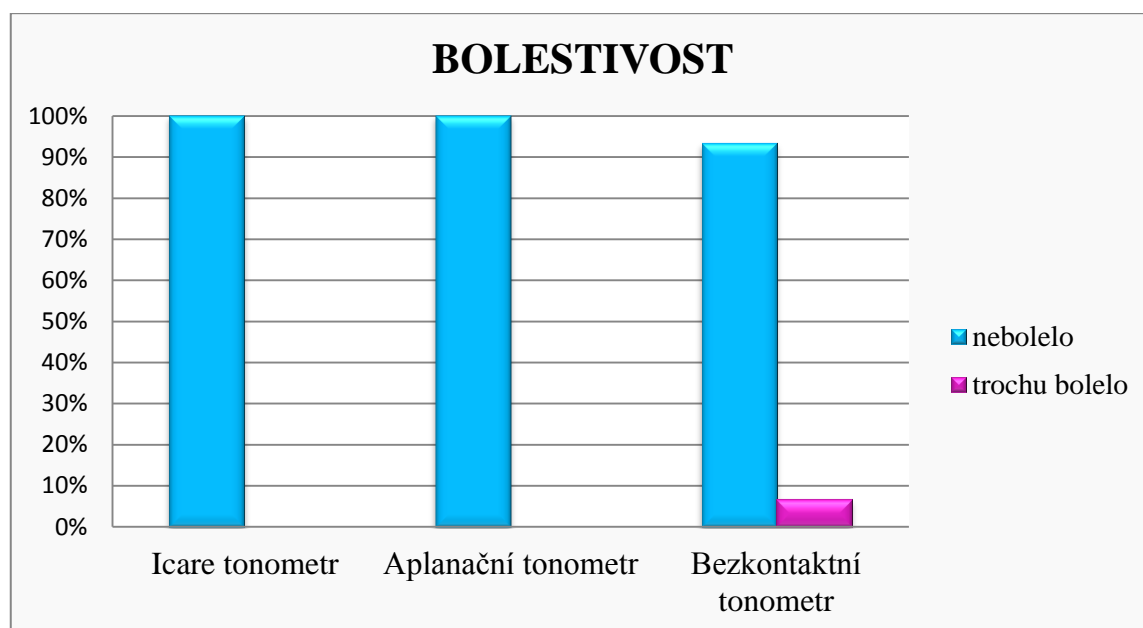
Graf č. 6



Součástí této studie bylo také dotazníkové šetření, které bylo zaměřeno na příjemnost a bolestivost uvedených metod měření nitroočního tlaku. Jak již bylo zmíněno výše, do daného dotazníku byl zařazen i bezkontaktní tonometr, protože každý proband podstoupil měření nitroočního tlaku i touto metodou. Všechny získané odpovědi byly zaznamenány do tabulky a následně zpracovány.

Na grafu číslo 7 jsou znázorněny výsledky týkající se bolestivosti daných tonometrů. Jak je z grafu patrné měření Icare tonometrem a aplanačním tonometrem nebylo pro respondenty vůbec bolestivé. U aplanačního tonometru je to dáno i anestezií rohovky. U bezkontaktního tonometru uvedlo 93,33 % respondentů, že měření je nebolelivé a u 6,67 % bylo měření trochu bolestivé.

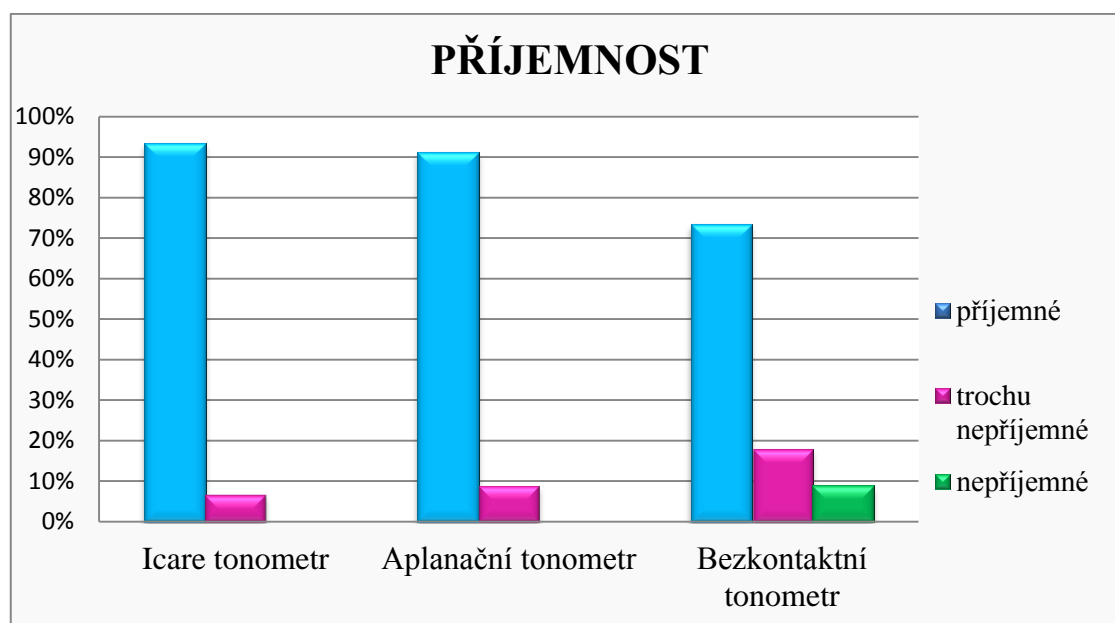
Graf č. 7



Graf číslo 8 vyjadřuje výsledky týkající se příjemnosti daných tonometrů. Z daných tří tonometrů byl respondentům nejpříjemnější Icare tonometr. 93,33 % uvedlo, že měření jim bylo příjemné, trochu nepříjemné bylo měření 6,67 %. Podobně na tom byl i aplanační tonometr, kde 91,11 % bylo měření příjemné a 8,89 % trochu nepříjemné. Zde probandi uváděli, že jim je především nepříjemné ostré světlo ze šterbinové lampy. Z mého dotazníku nejhůře vyšel bezkontaktní tonometr. U tohoto

typu tonometru bylo příjemné měření 73,33 %, trochu nepříjemné 17,78 % a 8,89 % respondentů bylo měření přímo nepříjemné. Většina z dotazovaných u bezkontaktního tonometru uváděla, že jsou již na toto vyšetření zvyklí, protože ho podstupují pravidelně několikrát za rok, ale i přesto jim byla tato metoda nejméně příjemná.

Graf č. 8



6.3 DISKUZE

Při každém očním vyšetření, především u pacientů s glaukomem a oční hypertenzí je velice důležité zjistit přesnou hodnotu nitroočního tlaku. Goldmannův aplanační tonometr je brán jako zlatý standard v měření nitroočního tlaku a většina studií je prováděna na základě porovnání s ním. V posledních letech byly vyvinuty metody pro měření nitroočního tlaku pracujících na různých principech. Goldmannův aplanační tonometr je nejvíce používaná, je brán za nejpřesnější metodu, ale je nutné použít anestezii rohovky. U bezkontaktní tonometrie sice není potřeba použít anestezie rohovky, ale tato metoda není zcela přesná a slouží spíše ke screeningu. V roce 2003 se na trh dostal nový přístroj pracující na principu zpětného odrazu. I přesto, že se jeho malá sonda dotýká rohovky, není potřeba použít její anestezie, protože dotek je tak rychlý, že není někdy ani pacienty zaznamenán. Lehkost, možnost přenosu a měření v horizontální i vertikální poloze je hlavní výhodou Icare tonometru.

Cílem této studie bylo porovnat Icare tonometr s Goldmannovým aplanačním tonometrem. Z výsledků předešlé studie, kde se Icare tonometr neshodoval s bezkontaktním tonometrem, byla sestavena nulová hypotéza předpokládající, že by Goldmannův aplanační tonometr a Icare tonometr mohli udávat podobné hodnoty. Tato hypotéza se studií potvrdila. V další části jsem se zabývala porovnání s dvěma již provedenými studiemi zabývajícími se touto problematikou, Comparison of the ICare rebound tonometer with the Goldmann tonometer in a normal population provedenou na Minho University v Portugalsku (dále jen studie 1 nebo Fernandese) a Comparison of Icare tonometer with Goldmann applanation tonometer in glaucoma patients uskutečněné v Santa Maria della Misericordia Hospital v Itálii (dále jen studie 2 nebo Paola Brusiniho). Přičemž u druhé studie se sledované soubory s mou studií téměř shodují.

Z výsledků studie je vidět nepatrný rozdíl mezi naměřenými hodnotami z obou tonometrů a můžu tedy říci, že se téměř shodují. Průměrný rozdíl mezi tonometry (Icare minus aplanační) byl $0,25 \pm 2,15$ mm Hg. Ve studii 1 byl průměrný rozdíl (Icare minus aplanační) $1,34 \pm 2,03$ mm Hg, ve studii 2 byl průměrný rozdíl (Icare minus aplanační) $-0,6 \pm 3,4$ mm Hg. Odchyly mohou být způsobeny metodikou měření nitroočního tlaku nebo rozdílným počtem respondentů. U již publikovaných studií bylo použito pro zpracování vždy pouze hodnoty z jednoho oka, já jsem využila

hodnoty z obou očí. Rozdíl daných hodnot menší než ± 3 mm Hg byl ve studii i v obou podkladových studiích patrný přibližně u 80 % probandů.

V hlavní otázce zabývající se validitou Icare tonometru se se studií 1 rozcházejí, naopak studie 2 dává podobné výsledky. Ve studii 1 autoři uváděli, že Icare tonometr je vhodný spíše pro screeningové měření. Naopak ve studii 2 považovali autoři Icare tonometr za vhodnou metodu pro klinické využití. Rozdíl se studií 1 budou nejspíše dány souborem probandů nebo dobou, kdy bylo měření provedeno. Měření k mé studii probíhalo vždy dopoledne, ve studii Fernandese bylo prováděno odpoledne mezi 14- 16 hodinou.

Tento výzkum však splnil svůj hlavní účel, jímž bylo zjištění validity nového Icare tonometru. Jelikož je možno využívat tento přístroj i bez použití anestetik, může se stát možností i pro optometry. Výsledky poskytly dostatečné informace o validitě přístroje a mohl by být tedy zařazen jako alternativa k aplanačnímu tonometru.

7 ZÁVĚR

Tato diplomová práce pojednávala o metodách měření nitroočního tlaku. První části diplomové práce byly zaměřeny na teoretické uvedení do dané problematiky. Byla zde popisována komorová tekutina, nitrooční tlak a jednotlivé metody měření nitroočního tlaku. Nejdříve byl uveden krátký popis nitrooční tekutiny a její cirkulace. Pozornost byla věnována především hlavní odtokové cestě, která vede skrze duhovkorohovkový úhel a odtud je tekutina vstřebávána zpět do žilního systému. Popsána byla též sekundární odtoková cesta, která v oku nahrazuje lymfatický systém. Na toto téma navazovala problematika nitroočního tlaku. V teoretické části jsem se nejvíce věnovala popisu jednotlivých metod měření nitroočního tlaku. Zaměřovala se především na popis Goldmannova aplanačního tonometru, bezkontaktního tonometru a nového tonometru Icare pracujícím na principu zpětného odrazu.

Podstatou diplomové práce byla studie týkající se porovnání vybraných tonometrů. Jejím cílem bylo zjištění validity Icare tonometru. Na tuto problematiku byly vytvořeny dvě studie. První se týkala porovnání Icare tonometru s bezkontaktním tonometrem a v druhé byl porovnáván s aplanačním tonometrem. V první studii byl předpoklad, že se dané tonometry v naměřených hodnotách budou shodovat. Tato hypotéza se však nepotvrdila a bylo zjištěno, že bezkontaktní tonometr v našem vzorku udává nižší hodnoty. Druhá studie opět předpokládala shodu v naměřených hodnotách. Zde se tato hypotéza potvrdila a bylo zjištěno, že se naměřené hodnoty nitroočních tlaků téměř shodují. Tato studie byla doplněna o dotazníkové šetření zaměřené na bolestivost a příjemnost daných tonometrů, mezi něž byl přidán i bezkontaktní tonometr.

Z tohoto šetření je jasně patrné, že Icare tonometr byl všem probandům nejpříjemnější a bylo to nejméně bolestivé vyšetření. Výsledky z druhé studie byly porovnávány s dosud publikovanými studiemi zabývajícími se podobnou problematikou provedenými na Minho University v Portugalsku a v Santa Maria della Misericordia Hospital v Itálii. Se studií provedenou Paolem Brusinim se mé výsledky shodují, avšak se studií Fernandese se rozcházejí.

V této diplomové práci jsem se snažila nejen o teoretický souhrn a popis používaných metod měření nitroočního tlaku, ale také o prozkoumání nového přístroje na jeho měření. Studiemi jsem se snažila potvrdit či vyvrátit své hypotézy a navrhnout také další možné studie na hlubší prozkoumání daného přístroje. Protože se i v porovnání s aplanačním tonometrem jednotlivé studie rozcházejí, je určitě dobré provést ještě další studie na zhodnocení tohoto tonometru. Jelikož nebyla při druhé studii brána v potaz tloušťka rohovky, bylo by vhodné prozkoumat i její vliv na hodnotu nitroočního tlaku při měření nitroočního tlaku Icare tonometrem.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Prof. MUDr. PAVEL KUČYŇKA, CSc. a kolektiv: Oční lékařství, Grada 2007, ISBN 80-247-1163-X
- [2] Prof. MUDr. PAVEL ROZSÍVAL, CSc. a kolektiv: Oční lékařství, Galén 2006, ISBN 80-7262-404-0
- [3] Prof. JOSEF FLAMMER, M. D. a kolektiv: Glaukom, Praha Triton 2003, ISBN 80-7254-351-2
- [4] MILOŠ RUTRLE: Přístrojová optika, Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví 2000, ISBN 80-7013-301-5
- [5] KANSKI JACK J. MD, MS, FRCS, FRCophth: Clinical Ophthalmology, 2007, ISBN 978-0-08-044969-2
- [6] TUNNACLIFFE ALAN H.: Introduction to visual optics, Anglie 1993, ISBN 0-9009-928-3
- [7] HARVEY BILL: Assessment & investigative techniques, Sandip doshi 2005, ISBN 0-7506-8853-X
- [8] Prof. MUDr. VLKOVÁ EVA, CSc., Doc. MUDr. PITROVÁ ŠÁRKA, CSc., Prof. Ing. VLK FRANTIŠEK, DrSc.: Lexikon očního lékařství, Brno 2008, ISBN 978-80-239-8906-9
- [9] WEINREB N. ROBERT, BRANDT D. JAMES, GARWAY-HEATH F. DAVID, MEDEIROS A. FELIPE: Intraocular pressure, Amsterdam 2007, ISBN 90-6299-213-7

- [10] KRAUS H.: Aplanační tonometrie. Čs.Oftal., 2, 1968, s. 135-142, ISSN 1211-9059
- [11] FERNANDES P., DÍAZ-REY J.A., QUEIRÓS A., GONZALEZ-MEIJOME J.M., JORGE J.: Comparison of the ICare rebound tonometer with the Goldmann tonometer in a normal population, Ophthal. Physiol. Opt. 2005 25: 436–440
- [12] BRUSINI PAOLO MD, SALVETAT LETIZIA MARIA MD, ZEPPIERI MARCO MD, TOSONI CLAUDIA MD, PARISI LUCIA: Comparison of Icare tonometer with goldmann applanation tonometer in glaucoma patients, Department of Ophthalmology, S. Maria della Misericordia Hospital, Udine, Italy

INTERNETOVÉ ZDROJE:

- [13] www.icaretonometr.com
- [14] <http://ocni-lekar.info/lekarske-vykony/vysetreni-predniho-segmentu-oka/tonometrie> [cit. 2013-02-15]
- [15] www.oculus.cz [cit. 2013-02-19]
- [16] www.zeleny-zakal.cz [cit. 2013-02-19]
- [17] www.lea-test.fi [cit. 2013-02-19]
- [18] www.bon.de [cit. 2013-03-03]
- [19] <http://www.hnsmechanix.com/> [cit. 2013-02-15]
- [20] <http://cs.wikipedia.org/wiki/Torr> [cit. 2013-03-03]