

Porównanie wyników pomiarów ciśnienia wewnątrzgałkowego uzyskanych metodą tonometrii aplanacyjnej Goldmanna z wynikami otrzymanymi metodą tonometrii przezpówiekowej Diaton

Comparison of Intraocular Pressure Measurement with Goldmann Applanation Tonometer and Diaton Transpalpebral Tonometer

Mira Gacek¹, Joanna Major¹, Jacek P. Szaflik^{1,2}

¹ Samodzielny Publiczny Kliniczny Szpital Okulistyczny w Warszawie

² Katedra i Klinika Okulistyki II Wydziału Lekarskiego Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

Kierownik: prof. dr hab. n. med. Jerzy Szaflik

Summary:

Purpose: To compare the intraocular pressure (IOP) measured by transpalpebral Diaton tonometer and Goldmann applanation tonometer and to investigate the influence of central corneal thickness, artificial intraocular lens, trabeculectomy on the measurements.

Materials: 126 patients at the age of 30-92 (mean 71) were enrolled in the study. The study group comprised 86 women and 40 men with the diagnosis of glaucoma or ocular hypertension, Caucasians.

Methods: IOP measurements were obtained in all patients using Goldmann applanation tonometer and transpalpebral Diaton tonometer (patient in horizontal position). Central corneal thickness (CCT) was measured by means of noncontact optical low coherence reflectometry (OLCR pachymeter) with a programme that corrects value of pressure measured with Goldmann applanation tonometer.

Results: Mean intraocular pressure measured by Goldmann applanation tonometer was 13.6 ± 2.6 mmHg (min. 6, max. 25 mmHg), while the transpalpebral tonometer: 15 ± 3.4 (min. 4, max. 23). The average difference between the measurements was 1.52 ± 3.41 mmHg ($p < 0,00001$).

The average difference between the measurements made with transpalpebral tonometer (T-przezpówiekowo) and the value of intraocular pressure corrected with pachymeter (T-tonofit) was 2.28 ± 3.39 mmHg ($p < 0,00001$).

There was no impact of the presence of an artificial intraocular lens on a difference in the measured values.

In the group of patients after trabeculectomy (29 eyes) the difference between the measurements was not statistically significant ($p = 0.12$).

Conclusions: Diaton transpalpebral tonometer is not recommended as alternative to Goldmann applanation tonometer but may be helpful as a screening tool in IOP measurements or in cases when it is not possible to use Goldmann applanation tonometer.

Key words:

intraocular pressure, Goldmann applanation tonometer, Diaton transpalpebral tonometer, OLCR (Optical Low Coherence Reflectometry) pachymeter, central corneal thickness.

Słowa kluczowe:

ciśnienie wewnątrzgałkowe, tonometr aplanacyjny Goldmanna, tonometr przezpówiekowy Diaton, pachymetr OLCR (Optical Low Coherence Reflectometry), centralna grubość rogówki.

Wstęp

Jaskra jest schorzeniem przewlekłym i bardzo skomplikowanym. Często rozpoznawana jest przypadkowo, np. w trakcie dobierania korekcji okularowej lub na podstawie nietypowych objawów ocznych.

Powolność procesu pogłębiania się zmian w nerwie wzrokowym powoduje, że pacjent nie dostrzega subtelnych różnic w widzeniu, w życiu codziennym zatem przez długi czas może też nie dostrzegać zachodzących zmian jaskrowych.

Typowe objawy choroby związane z trudnościami w poruszaniu się w nieznanym otoczeniu, zwłaszcza kiedy jest słabo oświetlone, a także problemy z czytaniem ujawniają się dopiero wówczas, gdy zmiany chorobowe są bardzo zaawansowane, a leczenie na tym poziomie jest bardzo skomplikowane. Pierwszymi objawami choroby mogą być nieswoiste dolegliwości związane z okresowymi zmianami ciśnienia wewnątrzgałkowego, takie jak uczucie zmęczenia oczu, bóle głowy, zwłaszcza w godzinach porannych, czy też stany przypominające przewlekłe zapalenie spojówek.



Ryc. 1. Tonometr przezpowiekowy Diaton (dzięki uprzejmości InView Medical Sp. j.).

Fig. 1. Diaton transpalpebral tonometer (courtesy of InView Medical Sp. j.).

Stąd też istotne jest poszukiwanie nowych metod i aparatów diagnostycznych pomocnych w codziennej praktyce lekarskiej, które ułatwią wczesne postawienie rozpoznania i umożliwią prawidłowe monitorowanie już rozpoznanej choroby.

Do najważniejszych czynników predysponujących do rozwoju jaskry należy ciśnienie wewnątrzgałkowe. Prawidłowe ciśnienie waha się w granicach 11-21 mmHg (1). Związane jest z nieprzerwaną krążącą w gałce ocznej cieczą wodnistą, która zaopatruje tkanki oka w ważne składniki odżywcze oraz odprowadza z nich produkty przemiany materii. Na wartość ciśnienia wewnątrzgałkowego wpływa wiele czynników. Należą do nich przede wszystkim: ilość cieczy wodnistej wydzielanej przez ciało rzęskowe, opór stawiany przez beleczkowanie kąta przesączania i niekonwencjonalną drogę odpływu oraz ciśnienie w żyłach nadtwardówkowych.

Dotychczas nie są w pełni znane mechanizmy prowadzące do neuropatii jaskrowej. Jednakże wielu autorów zwraca uwagę na rolę ciśnienia wewnątrzgałkowego w przebiegu jaskry, które doprowadza do uszkodzenia mechanicznego nerwu wzrokowego, blokady wstecznego transportu aksonalnego neurotrofin i niedoboru czynników wzrostu oraz nieprawidłowego ukrwienia głowy nerwu wzrokowego. Pomiar ciśnienia wewnątrzgałkowego (intraocular pressure – IOP) stanowi zatem bardzo ważny wskaźnik diagnostyczno-prognostyczny. Może świadczyć o skuteczności podjętego leczenia przeciwjaskrowego i decydować o przyszłości pacjentów poddanych terapii. Dlatego tak ważne jest poszukiwanie m.in. nowych aparatów diagnostycznych, łatwych w użyciu, jednocześnie wykazujących dużą wiarygodność oceny pomiaru IOP.

Wyróżniamy dwa podstawowe typy tonometrów – aplancyjny i wgłobieniowy. Obydwa urządzenia wykorzystują nieznaczny ucisk na rogówkę. Od ponad pół wieku pomiar ciśnienia wewnątrzgałkowego tonometrem aplancyjnym Goldmanna stanowi złoty standard w leczeniu jaskry, ponieważ urządzenia charakteryzują dużą wiarygodność pomiarów i powtarzalność wyników (2).

Celem prowadzonego badania było dokonanie porównania wartości ciśnienia wewnątrzgałkowego mierzonego u tego samego pacjenta dwoma aparatami: tonometrem przezpowiekowym Diaton (ryc. 1) oraz tonometrem aplancyjnym Goldmanna. Dokonano również oceny wiarygodności metody przezpowiekowej w stosunku do metody aplancyjnej z uwzględnieniem wpływu centralnej grubości rogówki (central corneal thickness – CCT) na wykonany pomiar. Oceniano również wpływ obecności tylnokomorowej sztucznej soczewki wewnątrzgałkowej (posterior chamber intraocular lens – PCIOL) oraz operacji przeciwjaskrowej (trabekulektomii metodą Cairnsa) na wynik pomiaru.

Materiał

W badaniu brało udział 126 pacjentów (252 oczu) rasy kaukaskiej, 86 kobiet i 40 mężczyzn w wieku 30-92 lat (średnia wieku 71 lat). Najlepsza skorygowana ostrość wzroku wahała się od w granicach 0,004-1,0, średnio 0,77.

W 10 oczach rozpoznano nadciśnienie oczne, w 116 oczach zdiagnozowano jaskrę, w tym jaskrę pierwotną otwartego kąta w 87 oczach, jaskrę zamykającego kąta – w 26 oczach, jaskrę wtórną – w 3 oczach.

W badanej grupie chorych w 113 oczach wcześniej wykonano operację zaćmy z jednoczesnym wszczepieniem tylnokomorowej sztucznej soczewki wewnątrzgałkowej

(PCIOL), w 29 oczach wykonano zabieg przeciwjaskrowy z wytworzeniem pęcherzyka filtracyjnego, tj. trabekulektomię metodą Cairnsa.

Metody

Zgodnie z przyjętym standardem pomiar ciśnienia wewnątrzgałkowego wykonywano za pomocą tonometru aplanacyjnego Goldmanna (AT 900®, Haag-Streit, Szwajcaria). Oceny centralnej grubości rogówki (CCT) dokonywano bezkontaktowym pachymetrem laserowym z technologią OLCR – Optical Low Coherence Reflectometry (Haag-Streit, Szwajcaria).

Uzyskana wartość ciśnienia skorygowana o wartość CCT była automatycznie przeliczana przez pachymetr. Oprogramowanie aparatu zawiera wartości fabryczne, gdzie Zero-Point, czyli referencyjna grubość rogówki, wynosi $520 \mu\text{m}$, a współczynnik korekcji (Slope) to $0,3 \text{ mmHg}$ na $10 \mu\text{m}$ grubości rogówki.

Przezpiewkowy pomiar ciśnienia wewnątrzgałkowego wykonywano tonometrem Diaton firmy Ryazan Instrument-Making Company. Urządzenie umożliwia pomiar ciśnienia na obszarze górnej powieki i twardówki, niezależnie od właściwości rogówki. Jego działanie opiera się na zasadzie impresyjnej. Na powierzchnię powieki siłą ciężkości opada trzcień o średnicy $1,5 \text{ mm}$, który przez powiekę odkształca twardówkę. Powieka w tej metodzie pełni rolę sztywnego intermedium.

Badanie tonometrem Diaton było przeprowadzane u pacjentów, którzy w tym czasie przyjmowali pozycję leżącą – z jednoczesnym horyzontalnym ułożeniem głowy. W trakcie badania pacjent zobowiązany był do fiksowania wzroku pod kątem 45° . Tonometr ustawiano na powierzchni powieki wzdłuż linii rzęs. Pomiary wykonywano kilkakrotnie (3-4 razy). Każdy prawidłowo wykonany pomiar był sygnalizowany dźwiękiem. Ostateczny wynik, stanowiący średnią z co najmniej trzech prawidłowo wykonanych pomiarów, odczytywano na wyświetlaczu wyskalowanym w mmHg.

Wyniki

W analizie statystycznej zastosowano ogólnie przyjęty poziom istotności $\alpha < 0,05$. Typ rozkładu sprawdzano, przeprowadzając test Lillieforsa, w zależności od jego wyników do analizy porównawczej badanych parametrów zastosowano test *t*-Studenta lub nieparametryczny test znaków rangowych Wilcoxona.

W badanej grupie najlepsza skorygowana ostrość wzroku wahała się w granicach $0,004 - 1,0$, średnio wynosiła $0,7 \pm 0,2$.

W trakcie badania oceniano współczynnik zagłębienia do tarczy, tj. c/d. Współczynnik wahał się na poziomie od $0,2$ do $0,95$, średnio c/d oceniono na $0,6$.

Ciśnienie wewnątrzgałkowe mierzone tonometrem aplanacyjnym Goldmanna wahało się od 6 mmHg do 25 mmHg , średnio wynosiło $13,6 \pm 2,6 \text{ mmHg}$, natomiast ciśnienie oceniane tonometrem przezpiewkowym wahało się w granicach $4-23 \text{ mmHg}$, średnio $15 \pm 3,4 \text{ mmHg}$.

Uzyskane wyniki pomiarów ciśnienia obiema metodami wykazywały istotne różnice. Na rycinach 2. i 3. można zauważyć, że porównywane wyniki pomiarów nie tworzą różnej prostej symetrycznej, a jedynie rozmywają się.



Ryc. 2. Korelacja wyników pomiaru ciśnienia wewnątrzgałkowego tonometrami przezpiewkowym i aplanacyjnym.

Fig. 2. Correlation of intraocular pressure measurements with transpalpebral and applanation tonometer.



Ryc. 3. Korelacja wyników pomiaru ciśnienia wewnątrzgałkowego tonometrem przezpiewkowym i wartości ciśnienia aplanacyjnego uzyskanej po korekcji IOP względem CCT.

Fig. 3. Correlation of intraocular pressure measurements with transpalpebral tonometer and the value obtained after correction of applanation IOP against CCT.

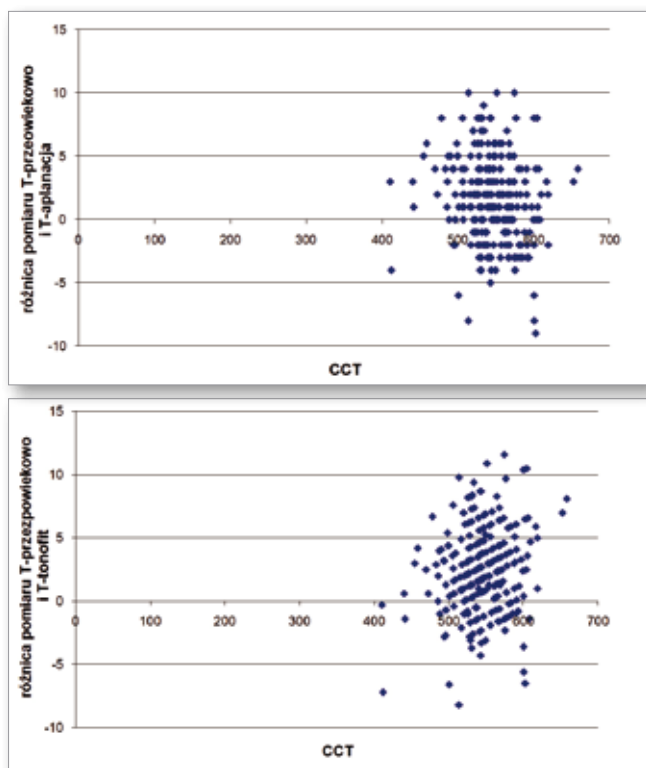
Średnia różnica między wynikami pomiarów wykonanych tonometrem przezpiewkowym a wynikami pomiarów wykonanych tonometrem Goldmanna wynosiła $1,52 \pm 3,41 \text{ mmHg}$, na korzyść wyników pomiaru dokonywanego tonometrem przezpiewkowym; $p < 0,00001$ (ryc. 2).

Średnia różnica między wartościami pomiarów ciśnienia wykonanych tonometrem przezpiewkowym a wartościami ciśnienia wewnątrzgałkowego skorygowanymi o centralną grubość rogówki wynosiła $2,28 \pm 3,39 \text{ mmHg}$, na korzyść wyników pomiaru przezpiewkowego; $p < 0,00001$ (ryc. 3).

Z badań przeprowadzonych tonometrem przezpiewkowym wynika, że zawiąza on istotnie wyniki pomiarów, co wyraźnie pokazuje diagram Bland-Altmana (ryc. 4). Tendencja do zawyżania pomiaru jest szczególnie widoczna w badanej grupie oczu z uwzględnieniem CCT (ryc. 5).

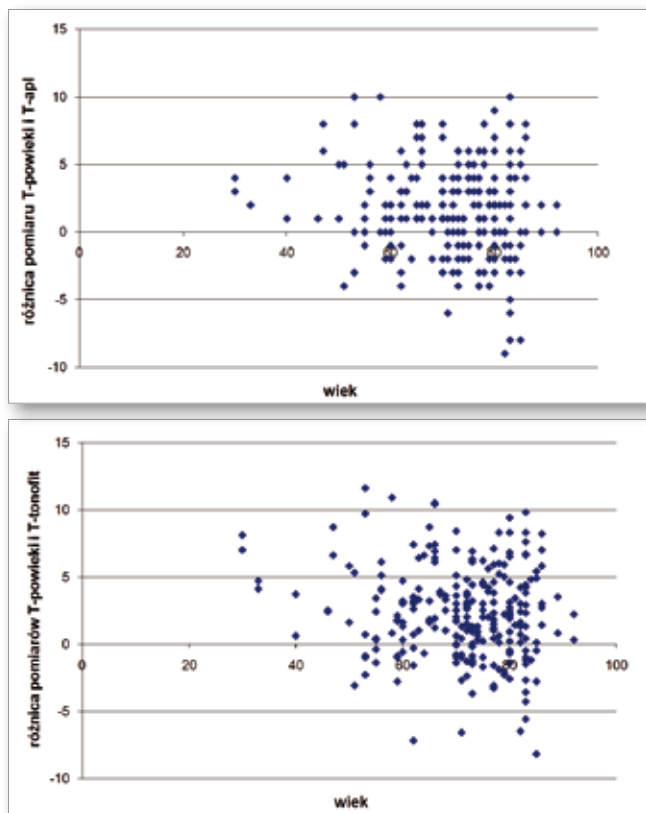
Analizie statystycznej poddano także wpływ innych czynników, takich jak PCIOL i pęcherzyk filtracyjny, na wysokość uzyskanych wyników pomiarów ciśnienia.

W grupie 113 oczu z wszczepionym implantem tylnokomorowym średnia różnica między ciśnieniem mierzonym przezpiewkowo a ciśnieniem mierzonym aplanacyjnie wynosiła $1,42 \pm 3,51 \text{ mmHg}$, na korzyść wyników pomiaru przezpiewkowego ($p < 0,00001$). Natomiast średnia różnica między ciśnieniem przezpiewkowym a skorygowanym o CCT ciśnieniem mierzonym aplanacyjnie wynosiła



Ryc. 4. Diagram Bland–Altman.

Fig. 4. Bland–Altman diagram.



Ryc. 5. Diagram Bland–Altman.

Fig. 5. Bland–Altman diagram.

$2,34 \pm 3,40$ mmHg, na korzyść wyników pomiaru przezpawiekowego ($p < 0,00001$).

W 139 oczach, w których nie było konieczności wykonania operacji zaćmy (tj. z własną soczewką), wyniki bada-

nia przedstawiały się następująco: średnia różnica między pomiarem przezpawiekowym a aplanacyjnym wynosiła $1,61 \pm 3,33$ mmHg, na korzyść wyników pomiaru przezpawiekowego ($p < 0,00001$), natomiast średnia różnica między wartościami ciśnień mierzonych przezpawiekowo i aplanacyjnie z uwzględnieniem CCT wynosiła $2,22 \pm 3,38$ mmHg, na korzyść wyników pomiaru przezpawiekowego ($p < 0,00001$).

Uzyskane wyniki pomiaru ciśnienia wewnątrzgałkowego za pomocą ocenianych tonometrów wykazywały istotne różnice w obydwu grupach pacjentów.

W grupie pacjentów po zabiegu trabekulektomii, tj. w 29 oczach, wyniki pomiarów tonometrami przezpawiekowym i Goldmanna nie wykazywały różnic statystycznych ($p = 0,12$). Badana grupa była jednak zbyt mała, aby można było dokonać uogólnienia otrzymanych zależności.

Dyskusja

W ostatnich kilkudziesięciu latach wprowadzono do diagnostyki okulistycznej, a w szczególności do monitorowania jaskry, kilkanaście różnych tonometrów (3). Wszystkie aparaty porównywano do tonometru aplanacyjnego Goldmanna, który stanowi złoty standard w ocenie ciśnienia wewnątrzgałkowego (2,4). Każdy nowoczesny tonometr powinien charakteryzować się łatwością obsługi, wiarygodnością i powtarzalnością pomiarów ciśnienia wewnątrzgałkowego oraz powinien stwarzać pacjentowi jak najmniejszy dyskomfort w trakcie wykonywanego badania IOP.

W przeprowadzonym badaniu oceniano wiarygodność i powtarzalność pomiaru ciśnienia tonometrem przezpawiekowym. Otrzymane wyniki wskazują, że średnia różnica między pomiarami aplanacyjnym a przezpawiekowym wynosiła $1,52 \pm 3,41$ mmHg. Podobne rezultaty uzyskali Li i wsp. (5) w grupie 212 oczu z rozpoznaną jaskrą – średnia różnica wyniosła $1,62 \pm 3,060$ mmHg ($p < 0,05$). Jednocześnie na uwagę zasługuje fakt, że także u innych autorów prac były widoczne znaczne rozbieżności w wynikach pomiarów uzyskanych obydwoma tonometrami. Lösch i wsp. (6) badając 158 oczu, uzyskali średnią różnicę między wynikami pomiarów tonometrami na znacznym poziomie, tj. $3,7 \pm 4,06$ mmHg. Znacznie mniejsze różnice między ocenianymi wartościami ciśnień zaobserwowali Sander i wsp. W badanej grupie 199 oczu średnia wyniosła $0,71 \pm 2,47$ mmHg (7).

Należy zauważyć, że w wykonanym badaniu wyniki pomiarów przezpawiekowych były zawyżone. Większość do tej pory przeprowadzonych badań wykazywała tendencję odwrotną (6,8), zwłaszcza w przypadku wyższych wartości ciśnień (> 16 mmHg) (9). Uzyskane przez nas zawyżone wyniki pomiarów tonometrem Diaton prawdopodobnie wynikają z faktu, że znacząca większość zakwalifikowanych do naszego badania pacjentów (90%) miała ciśnienie mniejsze lub równe 16 mmHg.

Dodatkowo zaletami tonometru przezpawiekowego są jego niewielkie gabaryty oraz to, że można go przenosić i badanie za jego pomocą nie wymaga użycia lampy szczelinowej. Ponadto w celu wykonania badania nie jest wymagane użycie znieczulenia miejscowego, dzięki czemu badanie jest bardziej komfortowe dla pacjenta i obciążone mniejszą

liczbą działań niepożądanych, takich jak erozja rogówki, drażnienie spojówek czy uczucie ciała obcego. Wynik pomiaru odczytywany jest na cyfrowym wyświetlaczu wyskalowanym w mmHg.

Błędy pomiarów mogą wynikać z braku doświadczenia badającego lekarza okulisty, trudności z prawidłowym ułożeniem pacjenta oraz z prawidłowym utrzymaniem właściwego punktu fiksacji wzroku (pod kątem 45°). Ponadto wydaje się, że na wynik badania wpływ mają także powieka – jej grubość i właściwości elastyczne skóry i tarczki – jak również miejsce przyłożenia końcówki aparatu.

Ponieważ tonometr przepowiekowy Diaton nie ma kontaktu z wrażliwą na dotyk rogówką oka, dla pacjentów pomiar ciśnienia za jego pomocą jest bardziej komfortowy niż pomiar wykonywany tonometrem aplanacyjnym. Jednakże wartości pomiarów ciśnienia wewnątrzgałkowego dokonywanych tonometrem Diaton są w przeważającej mierze zawyżone w stosunku do wartości uzyskanych tonometrem aplanacyjnym Goldmanna. Dlatego też wydaje się, że tonometr Diaton nie powinien stanowić alternatywy dla tonometru Goldmanna w przypadku pacjentów diagnozowanych w kierunku jaskry bądź wymagających kontroli ciśnienia wewnątrzgałkowego w trakcie wdrożonego leczenia przeciwjaskrowego.

Tonometr Diaton może być dobrym narzędziem wykorzystywanym do pomiaru ciśnienia:

- w badaniach przesiewowych – ze względu na szybkość i łatwość wykonania pomiarów,
- u osób ze schorzeniami i anomaliami rogówkowymi, gdy powierzchnia badanej rogówki jest nierówna lub wykazuje duży astygmatyzm,
- u osób z przewlekłymi zapaleniami spojówek,
- u osób po zabiegach laserowych Lasik/ LASEK/ PRK,
- u pacjentów leżących, unieruchomionych wskutek przebiegu schorzeń ogólnych,
- u pacjentów, u których z powodów okulistycznych nie można zdjąć soczewek kontaktowych,
- u dzieci, gdyż pomiar przepowiekowy ciśnienia wewnątrzgałkowego odbywa się poza polem widzenia badanego i nie wymaga kontaktu aparatu z rogówką,
- u pacjentów wykazujących dużą wrażliwość na leki użyte do znieczulenia miejscowego,
- u pacjentów zaciskających powieki w trakcie pomiaru ciśnienia metodą aplanacyjną.

Wnioski

Tonometr przepowiekowy Diaton nie może stanowić alternatywy dla tonometru aplanacyjnego Goldmanna, natomiast stanowi potencjalnie użyteczne narzędzie diagnostyczne stosowane u pacjentów, u których z wcześniej omawianych powodów nie może być użyty tonometr aplanacyjny.

Piśmiennictwo:

1. Kański JJ, McAllister JA, Salmon JF: *Jaskra. Kolorowy podręcznik diagnostyki i terapii*. Urban & Partner 1998, 1-10.
2. EGS: *Terminology and guideline for Glaucoma*. 3rd Edition. Editrice Dogma S.r.l. 2008, 62-66.
3. Kniestedt C, Punjabi O, Lin S, Stamper RL: *Tonometry through ages*. *Surv Ophthalmol* 2008 Nov-Dec, 53(6), 568-591.
4. Dielemans I, Vingerling JR, Hofman A, Grobbee DE, de Jong PT: *Reliability of intraocular pressure measurement with Goldmann applanation tonometer in epidemiological studies*. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1994 Mar, 32(3), 141-144.
5. Li Y, Shi J, Duan X, Fan F: *Transpalpebral measurement of intraocular pressure using the Diaton tonometer versus standard Goldmann applanation tonometry*. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2010 Dec, 48(12), 1765-1770.
6. Löscher A, Scheuerle A, Rupp V, Auffarth G, Becker M: *Transpalpebral measurement of intraocular pressure using TGDC-01 tonometer versus standard Goldmann applanation tonometry*. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2005 Apr, 43(4), 313.
7. Sandner D, Böhm A, Kostov S, Pillunat L: *Measurement of the intraocular pressure with the "transpalpebral tonometer" TGDC-01 in comparison with applanation tonometry*. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2005 Jun, 43(6), 563-569.
8. Troost A, Specht K, Krummenauer F, Yun SH, Schwenn O: *Deviations between transpalpebral tonometry using TGDC-01 and Goldmann applanation tonometry depending on IOP level*. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2005 Sept, 43(3), 853-858.
9. Schlote T, Landenberger H: *Intraocular pressure difference in Goldmann applanation tonometry versus a transpalpebral tonometer TGDC-01 "PRA" in glaucoma patients*. *Klin Monbl Augenheilkd* 2005 Feb, 122(2), 123-131.