

PERBEDAAN HASIL PEMERIKSAAN TEKANAN INTRAOKULER DENGAN TONOPEN DAN APPLANASI GOLDMANN PADA PASIEN GLAUKOMA

Belinda Salva Dyah Fitriarsari¹, Maharani², Riski Prihatningtias²

¹Mahasiswa Program Pendidikan S1 Kedokteran Umum, Fakultas Kedokteran, Universitas Diponegoro

²Staf Pengajar Ilmu Kesehatan Mata, Fakultas Kedokteran, Universitas Diponegoro

Jalan Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang-Semarang 50275, Telp. 02476928010

ABSTRAK

Latar Belakang : Pengukuran tekanan intraokular (TIO) adalah salah satu pemeriksaan dasar pada pasien glaukoma. Walaupun applanasi Goldmann adalah baku emas untuk mengukur TIO, terdapat pertimbangan yang cukup besar dalam menggunakan tonometer yang lebih sederhana. Tonopen merupakan tonometer praktis karena bentuknya yang *portable* serta dapat digunakan pada posisi tegak dan supinasi. Tonopen juga dapat mengukur TIO pada kornea patologis. **Tujuan :** Mengetahui perbedaan hasil pemeriksaan tekanan intraokuler dengan Tonopen dan applanasi Goldmann pada pasien glaukoma. **Metode :** Penelitian ini merupakan penelitian analitik observasional dengan desain penelitian *cross sectional*. Subjek diperoleh dengan metode *purposive sampling*. TIO diukur menggunakan dua tonometer: Tonopen dan applanasi Goldmann, pada 32 mata pasien glaukoma yang berusia di atas 40 tahun dengan TIO <21 mmHg dan bukan pasien dengan infeksi mata, strabismus, dan kelainan kornea. Pengukuran applanasi Goldmann dilakukan terlebih dahulu. Tiga nilai dari pengukuran tonopen diambil kemudian dirata-ratakan. Distribusi data dari kedua kelompok dilakukan uji normalitas Saphiro Wilk. Uji Mann Whitney digunakan untuk membandingkan pengukuran TIO antara applanasi Goldmann dan tonopen pada distribusi data tidak normal. Nilai signifikan apabila $p < 0,05$. **Hasil :** Nilai rerata TIO applanasi Goldmann dan tonopen 32 sampel mata dari 22 subjek dengan rerata usia $61,63 \pm 7,25$ tahun adalah $15,78 \pm 2,15$ mmHg dan $15,50 \pm 2,48$ mmHg. Analisis Uji Mann Whitney terhadap TIO oleh applanasi Goldmann dan tonopen menunjukkan nilai $p = 0,692$. Perbedaan yang signifikan secara statistik ($p < 0,05$) antara kedua alat tidak ditemukan. **Kesimpulan :** Tidak terdapat perbedaan hasil pemeriksaan TIO menggunakan tonopen dan applanasi Goldmann.

Kata Kunci : Tekanan intraokuler, applanasi Goldmann, tonopen.

ABSTRACT

COMPARISON OF THE TONOPEN AND GOLDMANN APPLANATION TONOMETER IN THE MEASUREMENT OF INTRAOCULAR PRESSURE IN GLAUCOMA PATIENTS

Background: Measurement of intraocular pressure (IOP) is one of the basic examination in patients with glaucoma. While the Goldmann Applanation Tonometry (GAT) is the gold standard for measuring IOP, there has been considerable interest in using simpler tonometry. Tonopen is a hand-held instrument which was developed for used in patients who present with the sort of measurement problems. Tonopen is useful for upright and supine positions and in the presence of corneal pathology. **Aim:** To compare the result of IOP measurement using the Tonopen and GAT in glaucoma patients. **Methods:** This study was an observational analytic study with a cross sectional research design. IOP was measured in 32 eyes using GAT and the Tonopen respectively in a group of glaucoma patients, aged above 40 years with IOP <21 mmHg (normal tension glaucoma). Patients with infection, strabismus, and corneal abnormalities were excluded. Three values from tonopen measurement were taken then

averaged. Mann Whitney test was used to compare IOP measurements between GAT and the tonopen measurements. Value is significant if $p < 0.05$. **Results:** Based on the examination of 32 eyes from 22 subjects with an average age of 61.63 ± 7.25 years, the mean IOP values recorded by applanation Goldmann and tonopen were 15.78 ± 2.15 mmHg, and $15,50 \pm 2,48$ mmHg. Mann Whitney test showed no significant value in two groups ($p=0,692$). **Conclusion:** There was no significant difference of mean IOP between Goldmann applanation and Schiottz tonometer in glaucoma patients.

Keywords: Intraocular pressure, Goldmann Applanation, Tonopen

PENDAHULUAN

Glaukoma adalah penyebab utama kebutaan global kedua setelah katarak dan penyebab utama kehilangan penglihatan yang ireversibel. Pada tahun 2013, jumlah penduduk berusia 40-80 tahun dengan glaukoma di seluruh dunia diperkirakan mencapai 64,3 juta; 1-2% dari populasi berusia lebih dari 40 tahun dan 10% berusia diatas 70 tahun. Kejadian glaukoma diperkirakan meningkat menjadi 76 juta pada tahun 2020 dan 111,8 juta pada tahun 2040 dengan rasio terbesar terjadi pada penduduk di Asia dan Afrika.¹ Kebutuan bilateral akibat glaukoma primer diperkirakan akan meningkat menjadi 11 juta penduduk pada tahun 2020.²

Glaukoma adalah suatu kelompok kelainan patologis optik kronis, progresif yang ditandai dengan neuropati glaukomatosa dan defek lapang pandang yang khas berupa penyempitan lapang pandang. Glaukoma yang tidak diobati akan menyebabkan kerusakan permanen saraf optik, lapang pandang hilang perlahan-lahan dan tidak kembali lagi.

Tekanan intraokuler (TIO) yang tinggi (>21 mmHg) merupakan faktor risiko terjadinya glaukoma. Modalitas terapi yang dapat dilakukan saat ini untuk mengelola glaukoma hanya dengan mengendalikan TIO, sehingga mengetahui nilai TIO sangat penting untuk evaluasi dan tindak lanjut terapi pasien.^{3,4}

American Academy of Ophthalmology dan *European Glaucoma Society* mengatakan terapi glaukoma bertujuan mencapai target TIO.⁵ Dengan target ini diharapkan kerusakan sel saraf optik bisa diminimalkan sehingga kemungkinan kebutaan terjadi juga minimal.⁶

Target TIO bukan angka tetap melainkan rentang nilai yang disesuaikan berdasarkan profil klinis pasien seperti jenis glaukoma, keparahan, hasil anamnesis dan usia.^{6,7} Mengukur TIO secara berkala sangat penting dalam memantau respon terhadap terapi yang diberikan.⁸ Studi sebelumnya menunjukkan setiap penurunan 1 mmHg TIO menurunkan kerusakan lapang

pandang 10%.⁹ Oleh karena itu, diperlukan alat ukur yang akurat agar tercapai tidaknya target TIO diketahui.¹⁰

Beberapa dekade terakhir ini terdapat evolusi tonometer sebagai alat ukur tekanan intraokuler untuk memastikan pengukuran TIO yang akurat.⁸ Tonometer Applanasi Goldmann yang telah diperkenalkan sejak tahun 1950an, dianggap sebagai alat ukur TIO paling akurat dan ditetapkan sebagai baku emas.^{11,12} Penggunaan applanasi Goldmann dipengaruhi oleh teknik dan kemampuan pemeriksa sehingga hanya digunakan oleh oftalmologis.^{10,13} Keakuratan applanasi Goldmann juga dipengaruhi oleh central corneal thickness (CCT).¹⁴ Walaupun applanasi Goldmann merupakan baku emas dalam pengukuran TIO, dalam praktiknya klinisi mempertimbangkan penggunaan tonopen sebagai alat ukur TIO. Tonopen diperkenalkan tahun 1988 sebagai tonometer elektrik yang *portable*. Tonopen praktis digunakan di ruang operasi baik dengan posisi duduk maupun berbaring.¹⁵ Tonopen dapat mengukur TIO pada pasien anak, pasien dengan kondisi kornea patologis seperti kornea irregular, kornea dengan laserasi, edema, dan transplantasi kornea dimana kondisi tersebut menjadi keterbatasan pada applanasi Goldmann.^{16,17}

Pada tahun 2002, *Ocular Hypertension Treatment Study* melaporkan bahwa *central corneal thickness* (CCT) merupakan faktor prediktif penting untuk perkembangan glaukoma. Penipisan kornea 40 μm meningkatkan risiko perkembangan glaukoma 2 kali lipat dalam 5 tahun. Penemuan ini divalidasi dalam *European Glaucoma Prevention Study*.¹⁴

Distribusi CCT berdasarkan diagnosis *primary open angle glaucoma* (POAG), *normal tension glaucoma* (NTG), dan *ocular hypertensive* (OHT) terdapat perbedaan yang signifikan. Mata normal memiliki rata-rata CCT sebesar 554 μm , POAG 550 μm , NTG 514 μm , dan OHT 580 μm .¹⁸ Terdapat dua kemungkinan CCT memengaruhi risiko glaukoma; CCT terkait pada patofisiologi glaukoma atau keakuratan tonometer seperti pada applanasi Goldmann.¹⁴

Keakuratan tonopen dibandingkan applanasi Goldmann masih kontroversial. Viestenz dan kawan-kawan menyimpulkan bahwa hasil pengukuran Tonopen 92% mendekati tonometer applanasi Goldmann.¹⁹ Bandopadhyay dan kawan-kawan menemukan populasi 7,4% dari survei menunjukkan perbedaan ≥ 5 mmHg antara tonopen dan applanasi Goldmann. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan hasil pemeriksaan

tekanan intraokuler dengan Tonopen dan applanasi Goldmann, khususnya pada pasien Glaukoma.²⁰

METODE

Bentuk penelitian ini adalah *cross sectional*. Penelitian ini dilaksanakan di klinik Instalasi Rawat Jalan Bagian Mata RSUP Dr. Kariadi Semarang dalam rentang waktu 1 bulan, pada Oktober 2018. Kriteria inklusi penelitian ini adalah bersedia mengikuti penelitian, umur lebih dari 40 tahun, pasien glaukoma dengan tekanan intraokuler < 21 mmHg. Kriteria eksklusi penelitian ini adalah mengalami infeksi mata, menderita strabismus, dan pasien dengan kelainan kornea.

Sampel diambil dengan *purposive sampling* dengan jumlah sampel penelitian 32 mata. Pengambilan data dilakukan dengan memberikan anestesi pada mata selanjutnya mengukur tekanan intraokuler dengan tonometer applanasi Goldmann kemudian dengan tonopen. Untuk mencegah infeksi diberikan tetes mata antibiotik. Pemeriksaan TIO dengan tonometer applanasi Goldmann dilakukan oleh dua orang pemeriksa yang selanjutnya dilakukan uji statistik dengan uji *Interclass Correlation Coefficient (ICC)*. Untuk menilai normalitas dari variabel tergantung dilakukan uji Shapiro-Wilk. Berdasarkan

uji normalitas data numerik, didapatkan hasil bahwa tekanan intraokuler dengan applanasi Goldmann dan tonopen berdistribusi tidak normal sehingga dilakukan uji hipotesis komparatif dengan uji Mann Whitney.

HASIL

Penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2018 terhadap pasien glaukoma instalasi rawat jalan mata RSUP Dr. Kariadi ini menggunakan 32 sampel mata. Sampel berasal dari 26 subjek penelitian yang diperoleh dengan cara *purposive sampling*. Subjek yang telah memenuhi kriteria inklusi dan tidak termasuk dalam kriteria eksklusi diberikan penjelasan mengenai tindakan yang akan dilakukan dan kesediaan subjek ditandai dengan menandatangani lembar *Informed Consent*.

Setiap subjek penelitian dilakukan dua pemeriksaan yaitu pengukuran tekanan intraokuler dengan applanasi Goldmann dan Tonopen. Jeda yang diberikan tiap pemeriksaan adalah 10 menit. Hasil pemeriksaan applanasi Goldmann diambil satu nilai sedangkan pemeriksaan dengan Tonopen diambil sebanyak tiga nilai. Setelah dilakukan pemeriksaan, subjek diberikan tetes mata antibiotik topikal untuk menghindari risiko terjadinya infeksi.

Karakteristik Subjek Penelitian

Variabel	F(%)	Rerata ±SD	Median	Min- Maks
Usia		61,63 ± 7,25 tahun	64 tahun	41 tahun – 77 tahun

Jenis Kelamin

Perempuan 9 (34,6%)

Laki-laki 17 (65,4%)

F = Frekuensi; SD = Simpang Deviasi; Median

= Nilai Tengah; Min = Minimum;

Maks = Maksimum

Data Demografis Subjek Penelitian

Data Demografis	F(%)	Rerata TIO (mmHg)	
		Applanasi Goldmann	Tonopen
Usia			
41-50 tahun	2(6,25%)	15,00 mmHg	15,83 mmHg
51-60 tahun	10(31,25%)	15,90 mmHg	15,50 mmHg
61-70 tahun	18(56,25%)	15,83 mmHg	15,29 mmHg
71-80 tahun	2(6,25%)	15,50 mmHg	15,83 mmHg
Jenis Kelamin			
Perempuan	14 mata (43,75%)	15,14 mmHg	14,47 mmHg
Laki-laki	18 mata (56,25%)	16,27 mmHg	16,16 mmHg

Hasil Pengukuran Tekanan Intraokuler

Pemeriksaan TIO dengan applanasi Goldmann dilakukan oleh 2 pemeriksa. Nilai TIO yang didapat dari 2 pemeriksa diuji ketepatannya menggunakan uji *Intraclass Correlation*. Berdasarkan uji ini, *intraclass correlation coefficient*

menunjukkan nilai 0,74 (>0,50). Hal ini menggambarkan ketepatan yang baik antara kedua pemeriksa dalam mengukur TIO menggunakan applanasi Goldmann. Nilai rerata statistik TIO tonopen dibandingkan dengan nilai dari applanasi Goldmann.

Rerata Tekanan Intraokuler dengan Applanasi Goldmann dan Tonopen

Variabel (n)	Rerata ± SD (mmHg)	Median (Min–Maks)	Nilai p Mann Whitney
Applanasi Goldmann (32)	15.78 ± 2.15	16 (12 – 19)	0,692
Tonopen (32)	15,50 ± 2,48	15 (11 – 20)	

Nilai p = nilai kebermaknaan

Tabel menunjukkan rerata TIO dengan applanasi Goldmann lebih besar terhadap rerata TIO dengan tonopen. Uji komparatif non parametrik Mann-Whitney menunjukkan nilai p >0,05 maka, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara hasil pemeriksaan TIO dengan Tonopen dan applanasi Goldmann.

PEMBAHASAN

Tekanan intraokuler merupakan salah satu faktor risiko terjadinya glaukoma. Menurunkan tekanan intraokular sangat penting untuk mempertahankan bentuk mata dan fungsi visual agar tidak terjadi kerusakan pada sel-sel ganglion retina dan serabut saraf postganglionik.²¹

Dokter layanan primer memiliki peran penting dalam diagnosis glaukoma dan merujuk pasien dengan riwayat keluarga glaukoma untuk menjalani pemeriksaan oftalmologi lengkap ke dokter spesialis mata. Deteksi TIO dengan akurat sangat penting dalam diagnosis untuk

memulai pengobatan dan juga *monitoring* terhadap respon terapi glaukoma.^{22,23}

Tonometri applanasi Goldmann masih dianggap sebagai baku emas pemeriksaan TIO. Walaupun applanasi Goldmann merupakan tonometri yang paling akurat, alat ini memiliki keterbatasan tertentu. Hasil pemeriksaan TIO dengan applanasi Goldmann dipengaruhi oleh *Central Corneal Thickness (CCT)*. Nilai CCT < 525 µm cenderung menunjukkan TIO yang lebih rendah, dan nilai CCT > 525 µm menunjukkan TIO yang lebih tinggi. Pada astigmatisma yang signifikan (>3 dioptri), area applanasi cenderung ellips daripada sirkuler. Hal ini turut mempengaruhi nilai TIO pada applanasi Goldmann.¹⁶

Tonopen merupakan tonometer yang praktis karena bentuknya yang *portable*, mudah dikalibrasi serta dapat digunakan pada posisi tegak dan supinasi. Tonopen juga dapat mengukur tekanan intraokuler dengan kondisi kornea patologis yang menjadi keterbatasan dalam applanasi Goldmann. Pengukuran TIO dengan

tonopen dilakukan minimal tiga kali untuk meningkatkan ketepatan. Tiga nilai tersebut diproses secara elektronik menjadi nilai rerata statistik TIO. Tonopen juga menunjukkan koefisien variasi dimana koefisien harus menunjukkan nilai kurang dari 5% agar pengukuran TIO dianggap akurat.^{13,24}

Pada penelitian ini, analisa statistik uji komparatif non parametrik Mann-Whitney pada hasil pengukuran TIO dengan kedua alat menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan antara applanasi Goldmann dan Tonopen. Hal ini diketahui berdasarkan nilai $p=0,692$ ($>0,05$).

Penelitian serupa oleh Frenkel, dkk yang membandingkan tonopen dan applanasi Goldmann pada orang dewasa dan menyimpulkan kesesuaian yang baik dari kedua alat pada interval TIO 11–20 mmHg, dan cukup baik pada TIO interval 4–10 mmHg dan 21–30 mmHg.²⁵ Penelitian Iester juga menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan yang ditemukan antara kedua metode dengan TIO <24 mmHg. Nilai applanasi Goldmann dan Tonopen XL selalu berkorelasi secara signifikan.²⁴

Hasil pengukuran TIO dengan applanasi Goldmann menunjukkan nilai rerata yang lebih besar (15.78 ± 2.15

mmHg) dari tonopen ($15,50 \pm 2,48$ mmHg) pada subjek penelitian dengan TIO <21 mmHg. Hal ini dapat disebabkan oleh penurunan mekanik TIO setelah pengukuran applanasi Goldmann. Prinsip pemeriksaan TIO dengan applanasi Goldmann dan tonopen adalah dengan menghitung gaya yang di butuhkan tonometer untuk memipihkan kornea. Ketika biprism dari applanasi Goldmann menyentuh kornea sekitar $7,35 \text{ mm}^2$ terjadi perpindahan aqueous humor sekitar 5 IJoI. Fenomena mekanis ini dapat menyebabkan penurunan kecil TIO yang dapat dihitung sebagai penurunan 3% dari nilai asli TIO (sebelum pengukuran). Fenomena ini juga bisa terjadi setelah penggunaan Tonopen tetapi pergeseran lebih kecil karena diameter anulus sekitarnya adalah $2,36 \text{ mm}^2$. Kedua tonometri dapat menghasilkan penurunan TIO.²⁴

Berdasarkan hasil penelitian, tonopen dapat direkomendasikan untuk skrining glaukoma di Indonesia. Hal ini dikarenakan, tonopen praktis, mudah dibawa, dan mudah digunakan. Alat ini juga dapat dipakai oleh dokter layanan primer di klinik atau bagian gawat darurat, di ruangan rawat rumah sakit, atau di kamar bedah.

Keterbatasan pada penelitian ini tidak dilakukan pemeriksaan CCT terlebih

dahulu. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan membandingkan subjek pada kelompok pasien yang berbeda (misalnya, kelompok pasien dengan operasi kornea sebelumnya atau kondisi kornea patologis).

SIMPULAN

Tidak terdapat perbedaan yang bermakna pada hasil pemeriksaan tekanan intraokuler dengan tonopen dan applikasi Goldmann sehingga

DAFTAR PUSTAKA

1. Tham Y-C, Li X, Wong TY, Quigley HA, Aung T, Cheng C-Y. Global Prevalence of Glaucoma and Projections of Glaucoma Burden through 2040. *Ophthalmology*. 2014 Nov;121(11):2081–90.
2. Quigley HA. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. *Br J Ophthalmol*. 2006 Mar 1;90(3):262–7.
3. Parikh S, Parikh R. IOP and Target IOP. Vijaya L, Dada T, Singh K, Spaeth GL, editors. *Curr J Glaucoma Pract DVD*. 2010 Jan;4:37–43.
4. Rocha-Sousa A, Rodrigues-Araújo J, Gouveia P, Barbosa-Breda J, Azevedo-Pinto S, Pereira-Silva P, et al. New Therapeutic Targets for Intraocular Pressure Lowering. *ISRN Ophthalmol*. 2013;2013:1–14.
5. Coleman AL, Caprioli J. The Logic Behind Target Intraocular Pressure. *Am J Ophthalmol*. 2009 Mar;147(3):379–80.
6. Clement CI, Bhartiya S, Shaarawy T. New perspectives on target intraocular pressure. *Surv Ophthalmol*. 2014 Nov;59(6):615–26.
7. Weinreb RN, Aung T, Medeiros FA. The Pathophysiology and Treatment of Glaucoma: A Review. *JAMA*. 2014 May 14;311(18):1901.
8. Nagarajan S, Velayutham V, Ezhumalai G. Comparative evaluation of applanation and indentation tonometers in a community ophthalmology setting in Southern India. *Saudi J Ophthalmol*. 2016 Apr;30(2):83–7.
9. Goldberg I. Relationship Between Intraocular Pressure and Preservation of Visual Field in Glaucoma. *Surv Ophthalmol*. 2003 Apr;48(2):S3–7.
10. Yilmaz I, Altan C, Aygit ED, Alagoz C, Baz O, Ahmet S, et al. Comparison of three methods of tonometry in normal subjects: Goldmann applanation tonometer, non-contact airpuff tonometer, and Tono-Pen XL. *Clin Ophthalmol*. 2014 Jun;1069.
11. M. E, Elsheikh A, Gunvant P.

- Tonometry—Past, Present and Future. In: Gunvant P, editor. *Glaucoma-Current Clinical and Research Aspects*. InTech; 2011
12. Stamper RL. A history of intraocular pressure and its measurement. *Optom Vis Sci Off Publ Am Acad Optom*. 2011 Jan;88(1):E16-28.
13. Horowitz GS, Byles J, Lee J, D'Este C. Comparison of the Tono-Pen and Goldmann tonometer for measuring intraocular pressure in patients with glaucoma. *Clin Experiment Ophthalmol*. 2004 Dec;32(6):584–9.
14. Brandt JD. Central Corneal Thickness—Tonometry Artifact, or Something More? *Ophthalmology*. 2007 Nov;114(11):1963–4.
15. Comparison of intraocular pressure measurements with different contact tonometers in young healthy persons. *Int J Ophthalmol*. 2016 Jan 18
16. Raina U, Rathie N, Gupta A, Gupta S, Thakar M. Comparison of Goldmann applanation tonometer, Tono-Pen and noncontact tonometer in children. *Oman J Ophthalmol*. 2016;9(1):22.
17. Gharaei H, Kargozar A, Raygan F, Daneshvar R. Comparison of Perkins, Tono- Pen and Schiøtz tonometers in paediatric patients under general anaesthesia. *East Mediterr Health J*. 2008;14(6):7.
18. Herndon LW. Central Corneal Thickness and Glaucoma. Vijaya L, Dada T, Singh K, Spaeth GL, editors. *Curr J Glaucoma Pract DVD*. 2009 Sep;3:1–6.
19. Viestenz A, Lausen B, Jünemann AM, Mardin CY. [Comparison of precision of the TonoPenXL with the Goldmann and Draeger applanation tonometer in a sitting and recumbent position of the patients -- a clinical study on 251 eyes]. *Klin Monatsbl Augenheilkd*. 2002 Nov;219(11):785–90.
20. Bandyopadhyay M, Raychaudhuri A, Lahiri SK, Schwartz EC, Myatt M, Johnson GJ. Comparison of Goldmann applanation tonometry with the Tonopen for measuring intraocular pressure in a population-based glaucoma survey in rural West Bengal. *Ophthalmic Epidemiol*. 2002 Jan;9(3):215–24.
21. Shah MA, Saleem KB, Mehmood T. Intraocular Pressure Measurement: Goldmann Applanation Tonometer Vs Non Contact Airpuff Tonometer. *J Ayub Med Coll Abbottabad*. :4.
22. Weinreb RN, Aung T, Medeiros FA. The Pathophysiology and Treatment of Glaucoma: A Review. *JAMA*. 2014 May 14;311(18):1901.

-
23. Hollands H, Johnson D, Hollands S, Simel DL, Jinapriya D, Sharma S. Do Findings on Routine Examination Identify Patients at Risk for Primary Open-Angle Glaucoma?: The Rational Clinical Examination Systematic Review. JAMA. 2013 May 15;309(19):2035. Jan;15(1):52–8.
24. Iester M, Mermoud A, Achache F, Roy S. New TonoPen XL: Comparison with the Goldmann tonometer. Eye. 2001 Jun;106(6):750-3
25. Frenkel RE, Hong YJ, Shin DH. Comparison of the Tono-Pen to the Goldmann applanation tonometer. Arch Ophthalmol Chic Ill 1960. 1988 Jun;106(6):750-3