



Najčešće greške u merenju intraokularnog pritiska

Most common mistakes in measuring intraocular pressure

Vujica Marković*, Ivan Marjanović*, Vera Krstić*, Dragana Kovačević*,
Nada Radović†, Alisa Gvojić‡, Svetlana Jovanović§

Klinički centar Srbije, *Institut za očne bolesti, Beograd, Srbija; †Miloš Klinika, Specijalna
bolnica za oftalmologiju, Beograd, Srbija; ‡Zdravstveni centar Subotica, §Očno odeljenje,
Subotica, Srbija; §Klinika za očne bolesti, Kragujevac, Srbija

Ključne reči:

intraokularni pritisak; dijagnoza; tonometrija, očna;
dijagnoza, diferencijalna; dijagnostičke greške.

Key words:

intraocular pressure; diagnosis; tonometry, ocular;
diagnosis, differential; diagnostic errors.

Uvod

Intraokularni pritisak (IOP) rezultat je dinamičke ravnoteže stvaranja i oticanja očne vodice. Uslovljen je homeostatski regulisanim odnosom između produkcije i eliminacije očne vodice.

Poznato je da povišeni IOP predstavlja najznačajniji faktor rizika od nastanka glaukoma, a dugo se smatralo da je on i jedini uzrok nastanka oštećenja kod glaukoma. Povišen IOP je značajan faktor rizika od konverzije okularne hipertenzije u primarni glaukom otvorenog ugla, važan parametar u progresiji ispada u vidnom polju u glaukomu otvorenog ugla i neophodan parametar u dijagnozi okularne hipertenzije i normotenzivnog glaukoma. Sve ovo ukazuje na veliki značaj utvrđivanja tačnih vrednosti IOP.

U kliničkim uslovima za merenje IOP koriste se isključivo indirektno metode. Ovim metodama IOP se određuje na osnovu intenziteta sile koji je potreban da se izvrši određena deformacija rožnjače^{1,2}.

Tehnike u tonometriji

Indentaciona tonometrija

Schiotz-ov tonometar se zasniva na principu indentacione tonometrije kod koje klip, na koji je već okačen teg, indentira rožnjaču (slika 1).

Veličina indentacije meri se skalom, a očitane vrednosti se pretvaraju u milimetre žive pomoću posebne tabele. Mada je tonometar jeftin, jednostavan za rukovanje i ne zahteva upotrebu biomiskrope, sada se retko upotrebljava.

Mane indentacione Schiotz-ove tonometrije nastaju zbog grešaka u samim instrumentima, greške usled kontrak-



Sl. 1 – Schiotz-ov tonometar

cije ekstraokularnih mišića uzrokovane akomodacijom, okularnom rigidnošću, varijacijom zapremine jabučice kao i greške u očitavanju skale²⁻⁴. Dakle, očigledno je da Schiotz-ov tonometar nikad ne daje tačna očitavanja. U normalnim uslovima, opseg greške dobrog Schiotz-ovog tonometra je ± 2 mmHg kod normalnih vrednosti i ± 4 mmHg kod povećanih vrednosti.

Goldmann-ova aplanaciona tonometrija

Goldmann-ovu aplanacionu tonometriju (GAT) uveli su 1957. Hans Goldmann i Theo Schmidt. Aplanaciona tonometrija zasnovana je na Immbert-Fick-ovom principu, po kojem je za idealno suhu sferu tankog zida pritisak u sferi (P) jednak sili (F) potrebnoj da se zaravni deo površine sfere, podeljenoj površinom (A) zaravnjenog dela, tj. $P = F/A$. Intraokularni pritisak je proporcionalan pritisku koji se vrši na bulbus (u praksi – na rožnjaču) i debljini zidova bulbusa (tj. debljini rožnjače koja je varijabilna). Ljudsko oko, međutim, nije idealna sfera, a rožnjača je kruta i protivi se zaravnjivanju. Kapilarno privlačenje meniskusa suza, s druge strane, pokazuje sklonost ka povlačenju glave tonometra prema rožnjači. Kornealna krutost i kapilarno povlačenje međusobno se poništavaju kada izravinati deo površine rožnjače ($7,35 \text{ mm}^2$) ima prečnik od 3,06 mm, kao što je slučaj kod GAT^{3,4}. Goldmanov tonometar je vrlo precizan tonometar sa promenljivom silom (slika 2).



Sl. 2 – Goldmann-ov aplanacioni tonometar

Lokalni anestetik i fluorescein ukapaju se u konjunktivalni sakus. Goldmann-ova prizma uglavljena u tonometar koji nosi procepnata lampa prisloni se aksijalno na površinu rožnjače. Kada aplanaciona prizma dotakne rožnjaču, uočava se slika u obliku dva žuta polukruga, jednog iznad, a drugog ispod horizontalne srednje linije. Oni predstavljaju suzni film obojen fluoresceinom koji dodiruje gornju i donju spoljašnju polovinu prizme. Tada se broječanik tonometra okreće dok se unutrašnje ivice polukrugova ne postave u istu liniju. Kada se rožnjača savršeno izravna, unutrašnje ivice dva polukrugova se dodiruju. Intraokularni pritisak se tada ustanovljava očitavanjem broja na skali i množenjem tog broja sa deset. Da bi se dobila tačna vrednost neophodno je da se dva polukrugova ispravno centriraju na rožnjači i da budu ispravne debljine. Previše fluoresceina učini polukrugove debelim, sa premalim radijusom, dok premalo fluoresceina krugove čini pretankim i

sa velikim radijusom. Treba primetiti da pod normalnim uslovima IOP varira sa srčanim ritmom, tako da ti krugovi nikad ne ostaju nepokretni, već konstantno pulsiraju i središte pomeranja mora biti procenjeno da bi se odredio tačan krajnji položaj. Normalan IOP, registrovan aplanacionom tonometrijom, iznosi 15–16 mmHg. Ovaj metod aplanacione tonometrije mnogo je precizniji od indentacione tonometrije pod uslovom da posmatrač poseduje potrebnu veštinu u radu sa tonometrom. Kako se samo mala površina rožnjače aplanira u ovoj tonometriji, okularna rigidnost ne utiče na rezultate i većina oftalmologa danas koristi Goldmann-ov aplanacioni tonometar koji se pokazao kao tačan^{3,5}. Njegovi rezultati se mogu reprodukovati, lak je za korišćenje, te se zato i dalje smatra zlatnim standardom u merenju IOP.

Mogući uzroci grešaka pri merenju IOP
Goldmann-ovim aplanacionim tonometrom

Neodgovarajući oblik i raspored fluoresceinskih slika: višak fluoresceina čini polukrugove predebelim, a njihov poluprečnik premalim. Nasuprot tome, nedovoljno fluoresceina prouzrokuje nastanak pretankih polukrugova i prevelikih poluprečnika. Za dobijanje konzistentnih rezultata, polukrugovi prizme tonometra moraju imati uniformnu veličinu i izgled. Širina fluoresceinskih polukrugova u poziciji kontakta treba da bude 1/10 dijametra aplanacione površine³ (slika 3).



Sl. 3 – Polukrugovi obojeni fluoresceinom koji se vide u toku tonometrije

U slučaju slabijeg kvaliteta suznog filma može biti korisno dodatno ukapavanje lokalnog anestetika, a ukoliko ima viška suza, treba retrahovati gornji kapak, vodeći računa da se ne izvrši pritisak na bulbus. Adekvatna fluorescencija suznog filma neophodna je za jasnu vizualizaciju kontakta Goldmann-ovog tonometra i rožnjače. Klinički značajno smanjenje fluorescencije javlja se kod prekomernog suzenja. Hipofluorescencija dovodi do pogrešne procene tačke dodira i vodi ka pogrešnim očitavanjima IOP.

Pritisak na bulbus prstima ispitivača ili bolesnika koji stiska kapke, daje lažnovisoke vrednosti što dovodi do greške u merenju IOP. Po rezultatima na koje ukazuju neke studije, stezanje kapaka je značajan faktor nastanka greške. U našoj studiji, rađenoj na normalnoj populacionoj grupi, kod upotrebe GAT srednji porast IOP bio je 1,5–2 mmHg (opseg od -2 do +8 mmHg). Stiskanje kapaka dovodi do povećanja IOP kada se meri pomoću GAT za 4,2–2,7 mmHg (opseg od

1 do 14 mmHg) kod normotenzivnog glaukoma. Kod očiju sa hipertenzivnim glaukomom IOP meren pomoću GAT veći je za 4,1 do 2,1 mmHg (opseg od 1 do 9 mmHg).

Nepravilna kalibracija tonometra dovodi do netačno očitanih vrednosti zbog čega je važno redovno proveravati kalibraciju. Kao i svaki drugi aparat, i GAT zahteva periodičnu kalibraciju. Kalibraciona procedura opisana je u uputstvu za upotrebu GAT. Frekvencija kalibracije nije precizno određena, ali savetuje se kalibracija jednom ili dva puta godišnje. Međutim, logično je da se kalibracija vrši češće ukoliko se aparat često koristi. Za klinička istraživanja, granica je greška $> \pm 1$ mmHg i tada se aparat šalje na kalibraciju³.

Kornealna patologija, kao što su vrlo izražen edem, distorzija ili abnormalna debljina, ima za posledicu nepreciznost očitanih vrednosti. U pogledu varijacija nastalih zbog karakteristika tkiva rožnjače i njene zakrivljenosti, može se konstatovati da GAT merenja zavise od kornealnog astigmatizma, jačine kapilarne privlačnosti i fluorescencije suznog filma.

Astigmatizam: kada su GAT prizme orijentisane horizontalno, regularni direktni astigmatizam, veći od 4 dioptrije, može prouzrokovati pojavu „potcenjenih“ (nižih) vrednosti IOP, baš kao što i indirektni astigmatizam može dati „precejene“ (više) vrednosti IOP. Praktičan način prevazilaženja ove greške je da se kod takvih bolesnika izvrše dva sukcesivna merenja (prizme postaviti prvo horizontalno, a zatim vertikalno), a nakon toga jednostavno uzme srednja vrednost tih merenja. Alternativni način prevazilaženja nastanka ove greške kod bolesnika sa astigmatizmom većim od 3 D je da se osovinu tonometarskog vrha na 43 stepena (ovaj ugao markiran je na GAT crvenom linijom) okrene na glavnu astigmatisku osovinu rožnjače (minus forma cilindra)³.

Kod neregularnog astigmatizma, GAT polukrugovi su deformisani i ne mogu se dobiti reproduktivni rezultati.

Stepen kapilarne privlačnosti obrnuto je proporcionalan radijusu i uglu kontakta rožnjače i vrha tonometra. Za dobijanje konzistentnih rezultata, polukrugovi prizme tonometra moraju imati uniformnu veličinu i izgled, kao što je ranije napomenuto. Teoretski, ugao kontakta je veći kod strmih rožnjača i tu dolazi do smanjenja kapilarne privlačnosti što može dovesti do merenja viših vrednosti IOP, ali ovo nema veći klinički značaj.

Aдекватна fluorescencija suznog filma neophodna je za jasnu vizualizaciju kontakta GAT i rožnjače. Klinički značajno sniženje fluorescencije javlja se kod prekomernog suzenja, a hipofluorescencija dovodi do pogrešne procene tačke dodira i vodi ka pogrešnim očitavanjima IOP.

Uticaj centralne debljine rožnjače (CCT) na vrednosti IOP izmerene pomoću GAT: još su Goldmann i Schmidt znali da varijacije u centralnoj debljini rožnjače mogu uticati na izmerene vrednosti IOP merene pomoću GAT, ali su tvrdili da u odsustvu patologije rožnjače CCT ne odstupa značajno od 520 mikrona. Goldmann-ova aplanaciona tonometrija je precizna za prosečnu debljinu rožnjače od 540 do 560 mikrona. Centralna debljina rožnjače veća ili manja od proseka uvodi u malu grešku^{3, 6, 7}. To, koliko mera odstupa, ne menja se obavezno linearno. Entuzijazam sa kojim je pahimetrija (metoda kojom se meri centralna debljina rožnjače)

prihvaćena kao dijagnostička metoda za glaukom zasnivao se na verovanju da merenje CCT povećava tačnost izmerenog IOP upotrebom GAT, uz pomoć lako upotrebljivih nomograma, tako da je pahimetrija trebalo da postane rutinska metoda u kliničkoj praksi. Međutim, nomogram se ne koristi za svakog bolesnika individualno, tako da zasada ne postoji dovoljno dobar korekcionni nomogram. Korekcionni nomogrami za GAT bazirani samo na CCT nisu tačni ni korisni za bolesnika (jer odnos CCT i IOP nije linearan), po preporukama *World Glaucoma Association* (WGA)⁸. Postoji konsenzus da u proseku veća CCT rezultira višim („precejenim“) vrednostima IOP izmerenim pomoću GAT i za 6,8 mmHg, dok kod tanjih rožnjača sa manjom CCT, IOP izmeren pomoću GAT rezultira nižim („potcenjenim“) IOP i do 4,9 mmHg³. Zbog toga, polja koja zahtevaju dalja ispitivanja, nomogrami koji integrišu CCT i biomehničke faktore (histerezu), mogu značajno uticati na tačnost merenja IOP i naći upotrebu u kliničkoj praksi. Kornealna histereza je direktno merenje biomehničkih karakteristika rožnjače i mnogo tačnije oslikava značaj kornealne rezistencije na IOP nego što to radi merenje CCT. Trenutno fokusiranje na uticaj CCT na izmerene vrednosti IOP pomoću GAT u naučnom i kliničkom smislu proizilazi iz činjenice da se CCT može meriti, dok za merenje elastičnosti rožnjače *in vivo* ne postoje komercijalni aparati. To je isto važno za značaj zakrivljenosti rožnjače u vreme pronalaska GAT kada je lako bilo izmeriti zakrivljenost rožnjače, a nemoguće centralnu debljinu rožnjače.

Mogući uzroci grešaka pri merenju IOP kod bolesti rožnjače i nakon refrakcione hirurgije: kontaktna sočiva mogu dovesti do promena u zakrivljenosti i debljini rožnjače. Poznato je da je vrlo čest nalaz kod nosilaca kontaktnih sočiva dnevni edem rožnjače nastao kao posledica nedostatka kiseonika usled nošenja kontaktnih sočiva³. Kod dugogodišnjih nosilaca kontaktnih sočiva veoma je često prisutan supklinički edem rožnjače, tako da je neophodno praviti pauzu tokom 15 dana u nošenju sočiva da bi se dobila realna pahimetrijska merenja. Mali stepen edema rožnjače dovodi do većeg rigiditeta rožnjače, što dovodi do lažnog povećavanja vrednosti merenog IOP. Veći stepen edema rožnjače, nasuprot tome, dovodi do razmekšavanja tkiva rožnjače, što dovodi do lažnog smanjivanja izmerenih vrednosti IOP. Znači, niži stepen edema daje povišeni IOP, a uznapredovali dovodi do sniženja IOP merenog pomoću GAT³. Kod nosilaca kontaktnih sočiva postoji dnevna varijacija CCT i ona je krajnje individualna. Centralna debljina rožnjače najveća je odmah nakon otvaranja očiju posle spavanja i opada u toku dva sata od buđenja. Zbog toga se savetuje merenje IOP putem GAT dva časa posle skidanja sočiva i ustajanja, kada su otvorene oči.

Refrakciona hirurgija: posle urađene keratorefrakcione hirurgije (*laser-assisted in situ keratomillius* – LASIK, *laser epithelial keratomillius* – LASEK ili *photoreactive keratoctomy* – PRK) dolazi do blagog sniženja IOP merenog pomoću statičke tonometrije, odnosno GAT³. Ova pojava uočena je čak i kod procedura koje minimalno menjaju CCT, kao što su radijalna keratotomija i hipermetropni lasik. Promena u vrednostima IOP objašnjava se time što kod kerato-

refraktivne hirurgije dolazi do kompleksnih biomehaničkih promena u tkivu rožnjače (različita regionalna pahimetrija, promenljiva hidratacija, promenjena zakrivljenost rožnjače, promenjeni raspored kolagenih vlakana itd.)³.

Položaj tela prilikom merenja IOP, takođe, utiče na pojavu greške merenja. Intraokularni pritisak veći je u položaju supinacije nego u sedećem položaju kod mladih zdravih osoba, zdravih odraslih osoba i kod netretiranog glaukoma otvorenog ugla. Potpuna inverzija tela dovodi do signifikantnog i brzog skoka IOP kod svih osoba. To je najverovatnije rezultat skoka pritiska u episklernalnim venama, mada tu utiča imaju i drugi faktori kao što su kongestija orbite, kongestija uvee i redistribucija tečnosti u oku.

Gojaznost: merenje IOP pomoću GAT kod gojaznih osoba može dati visoke vrednosti IOP najverovatnije usled kompresije toraksa u položaju merenja, jer dolazi do povećanog venskog pritiska.

Situacije vezane za Valsalva položaj, kao što su naprezanje, sviranje duvačkih instrumenata i sl. mogu biti vezane za povišeni IOP. I u ovim slučajevima moguće objašnjenje je povećanje venskog pritiska.

Određivanje IOP kod dece podrazumeva uključivanje svih dosad nabrojanih teškoća u merenju IOP kao što su CCT, karakteristike tkiva oka kao i problemi koji se javljaju pri upotrebi različitih aparata za merenje IOP. Kod dece, merenje IOP još više se komplikuje potrebom da se pri merenju mora koristiti blefarostat, a vrlo često je potrebna opšta anestezija. Kod dece je IOP meren pomoću GAT niži nego kod odraslih i sa godinama starosti se povećava. Tačno objašnjenje ove činjenice ne postoji, ali razlog leži možda u fiziologiji (dinamika očne vodice) i biomehaničkim karakteristikama tkiva rožnjače koje se sa godinama menjaju. Merenje IOP kod nekooperativne dece zahteva upotrebu blefarostata što je vezano za povećanje IOP za oko 4 mm. Takođe, vrlo često potrebna je dobra sedacija ili čak opšta anestezija koja opet može imati uticaja na izmerene vrednosti. Naime, dok benzodiazepini ne utiču na promenu IOP, intravenska primena ketamina dovodi do povećanja IOP do nivoa IOP koji se javlja odmah nakon jutarnjeg buđenja. Inhalacioni i intravenski opšti anestetici (propofol i sevofluran) rapidno smanjuju IOP odmah nakon indukcije. Zbog toga, poželjno je da se merenje pritiska kod dece u opštoj anesteziji radi odmah po uvođenju u nju, jer se tada dobijaju upotrebljive kliničke informacije³.

Pascal-ov dinamički konturni tonometar

Pascal-ov dinamički konturni tonometar (DCT) prvi put pojavio se 2002. godine, a komercijalno je dostupan od 2004. Cilj je bio da se osmisli aparat za neinvazivno merenje IOP koje bi bilo relativno nezavisno od interindividualnih varijacija kornealne biomehanike čime bi se možda mogao prevazići problem debljine rožnjače^{3, 9, 10}. Ovaj tonometar je neplanirajući, biomikroskopski kontaktni tonometar, koji ne meri IOP silom koja deluje na fiksnu površinu, već direktno izračunava dinamičke pulsativne fluktuacije u IOP koristeći pizelektrični senzor za pritisak ugrađen u vrh instrumenta (slika 4).

Princip rada zasniva se na konturnom slaganju. Pascal-ov dinamički konturni tonometar ima konturirani tonometri-



Sl. 4 – Pascal-ov dinamički konturni tonometar

ski vrh koji služi za poklapanje sa konturom rožnjače. Radius zakrivljenosti vrha je 10,5 mm, a kontaktna površina je prečnik oko 7 mm. Pirezistivni senzor za pritisak približnog prečnik 1,2 mm integrisan je u površinu konture, omogućujući transkornealno merenje pritiska u prednjoj očnoj komori. Vrh je nakačen na kućište, slično onom u GAT, koje proizvodi konstantnu aplikacionu silu od jednog grama. Senzor za pritisak generiše električni signal čija se voltaža digitizuje analogno-digitalnim konverterom sa dinamičkim opsegom od 12 bita. Merenja IOP su u 100 Hz, a onda se ti podaci kompjuterizuju u rezoluciji od 0,1 mmHg.

Za merenje, potrebno je prethodno anestezirati rožnjaču. Na glavu tonometra stavlja se navlaka – zamenjivi silikonski vrh koji se menja za svakog novog bolesnika. Potrebno je da se za adekvatno merenje uradi najmanje 5 kardijalnih ciklusa (5–8 ciklusa). Kada se uradi adekvatno merenje, na displeju se pojavljuje vrednost IOP (dijastolni pritisak) i vrednosti amplitude okularnog pulsa (OPA) u mmHg (slika 4). Vrednosti OPA vide se na ekranu kao razlike u vrhovima srednjeg sistolnog IOP i srednjeg dijastolnog IOP u mmHg. Ako se vrednost OPA doda dijastolnom intraokularnom pritisku, dobijena suma je sistolni IOP. Iako je značaj OPA nejasan, postoje pretpostavke da niske vrednosti koreliraju sa slabom okularnom perfuzijom što je mogući faktor rizika od progresije oštećenja vidnog polja. Nasuprot tome, pokazano je da se OPA smanjuje nakon trabekulektomije, što može biti koristan prognostički parametar za uspešnu dugoročnu kontrolu IOP.

Konačno očitavanje na DCT digitalnom ekranu predstavlja Q-vrednost, broj od 1–5 koji pokazuje kvalitet podataka (slika 4). Jedan je optimalno, 2 i 3 su prihvatljivi, a 4 i 5 su neprihvatljivi i moraju biti odbačeni. Prema iskustvu, potrebno je dugo vreme obučavanja za ujednačeno dobijanje Q-vrednosti manjih od 4 i najbolje je vežbati na bolesnicima koji su sposobni da sede mirno i fiksiraju pogled.

U odnosu na GAT, DCT nema prednosti za normalne ili deblje rožnjače, ali je precizan kod bolesnika sa tankom rožnjačom ili kod bolesnika kod kojih je rađena kornealna refraktivna hirurgija^{3, 9, 10}. Merenje IOP pomoću DCT traje du-

že u odnosu na merenje pomoću GAT i DCT je skuplji za upotrebu jer je navlaka za jednokratnu upotrebu (mora se baciti posle svakog korišćenja). Pascal-ov dinamički konturni tonometar je korisna kao dopuna za GAT zato što možda prevazilazi problem debljine rožnjače, posebno kod keratokonusa, keratoglobusa, kod rožnjača sa visokim astigmatizmom, pri merenju IOP nakon refraktivne hirurgije rožnjače, kao i kod rožnjače izmenjene različitim vrstama povreda (hemijska, termička ili mehanička), što čini DCT veoma obećavajućom tehnologijom. Ostaje da se vidi da li će DCT prevazići GAT kao metod izbora za merenje IOP.

Beskontaktni tonometar

Beskontaktni tonometar uveo je u upotrebu Grolman ranih 70-ih godina. Ovaj tonometar radi po principu aplanacije, ali umesto da se u tu svrhu upotrebi prizma, centralni deo rožnjače se zaravnjuje mlazom vazduha. Vreme potrebno da se dovoljno zaravni rožnjača direktno je povezano sa nivoom IOP. Ovaj tonometar, znači, radi tako što vazdušni mlaz aplanira prednju površinu rožnjače. Kada se na rožnjaču usmeri mlaz vazduha, on je deformiše, aplanira i rožnjača se u tom trenutku ponaša kao ravno ogledalo, reflektujući zrake na detektoru. U trenutku maksimalne detekcije svetlosti, kada je rožnjača potpuno aplanirana, instrument sam isključuje vazdušni mlaz. Beskontaktni tonometar – „duvač vazduha“ (*air puff*) lako se koristi, a prilikom upotrebe nema potrebe za lokalnom anestezijom (slika 5), te je naročito koristan za skrining kada ga izvode osobe koje nisu oftalmolozi.



Sl. 5 – Beskontaktni air puff tonometar

Glavna mana beskontaktnog tonometra je to što je precizan samo u rasponu niskih do srednjih pritisaka⁴. Mlaz vazduha može iznenaditi bolesnika i svojom (prividnom) snagom i bukom. Noviji beskontaktni tonometri imaju prednost zbog toga što je vazdušni mlaz mnogo slabiji i prestaje da deluje u trenutku kada se dostigne tačka aplanacije rožnjače. U principu, potreban je minimalni trening za pravilno korišćenje aparata nove generacije.

Tono-Pen tonometar

Tono-Pen je ručni, prenosivi kontaktni tonometar koji se napaja baterijama (slika 6).



Sl. 6 – Tono-Pen

Vrh sonde sadži pretvarač kojim se meri primenjena sila (pretvaranjem u odgovarajući električni napon). Mikroprocesor analizira krivu odnosa napona koji generiše pretvarač tokom indentacije rožnjače prema vremenu da bi se izračunao IOP. Merenje ovim instrumentom dobro korelira sa GAT, mada on malo precenjuje niske IOP, a potcenjuje visoke IOP. Njegova glavna prednost je sposobnost da meri IOP kod očiju sa distorzijom i edemom rožnjače kao i kroz bandažno kontaktno sočivo⁴. Aparat se sastoji od centralnog klipa prečnika 1,02 mm koji je pokretan. Pritiskivanjem vrha instrumenta na rožnjaču aktivira se merač sile koja se javlja da bi se izvršila aplanacija centralne rožnjače.

Za merenje neophodna je prethodna anestezija rožnjače. Vrh se menja za svakog novog bolesnika. Tono-Pen je ručni aparat i postavlja se na centralni deo rožnjače. Kada se aparat postavi pravilno, javi se zvučni klik koji označava merenje. Potrebno je blago pomerati aparat po rožnjači dok se ne dobije 6–10 merenja. Automatski se izračunava srednja vrednost tih merenja koja se očitavaju na digitalnom displeju. Takođe, na displeju se prikazuju varijable između najvećeg i najmanjeg merenja.

Podudarnost tonometara

Tačnost merenja IOP podrazumeva približnost izmerenih vrednosti realnim vrednostima IOP. Preciznost podrazumeva mogućnost ponavljanja merenja. Netačnost i nepreciznost dovode do greške pri merenju i proceni dobijenih rezultata. Preciznost zavisi od ljudskog faktora (bolesnik i ispitivač), očnog pulsa i mnogih drugih faktora. Veoma je važno nepreciznost ispitivača posmatrati sa dve tačke gledišta, i to: *intraobserver* i *interobserver* varijabilnosti.

Intraobserver varijabilnost. Malo je dostupnih podataka o upoređivanju preciznosti različitih tonometara na istoj populacionoj grupi. Tonnu i sar.¹¹ iznose podatke o ponovljivosti GAT i tri druga tonometra (DCT, nekontaktni i Tono-Pen) i kvantifikuju ih u „koeficijentat ponovljivosti“ (dva merenja istog ispitivača biće unutar koeficijenta ponovljivosti za 95% subjekata). Na osnovu raspoloživih podataka, najveća preciznost se postiže kod GAT.

Interobserver varijabilnost. Postoje podaci da je razlika u merenju različitih ispitivača mernim instrumentom, a na istom bolesniku, oko $\pm 2,2$ do $3,8$ mmHg za GAT, a čak $\pm 5,1$ mmHg za DCT¹¹. Upoređivanje dobijenih rezultata teško je zbog razlika statističkih analiza koje se koriste.

Studije podudarnosti između različitih tonometara daju dva oblika greške i to srednju razliku i ograničenost podudarnosti. Srednja razlika zavisi od kalibracionih grešaka i može varirati u zavisnosti od opsega IOP. Ograničenost podudarnosti daje mogućnost kombinovanih grešaka kod upoređivanih tonometara. Rezultati velikih studija u proseku pokazuju da se pomoću DCT dobijaju za $0,7$ do $2,3$ mmHg veće vrednosti IOP nego pomoću GAT. Intraokularni pritisak izmeren nekontaktnim tonometrom u proseku je jednak pritisku merenim pomoću GAT. Takođe, mnogo radova sugerise da Tono-Pen daje nešto niže vrednosti od onih dobijenih pomoću GAT^{3,12}.

Prema našim rezultatima dobijenim u studiji sprovedenoj na 50 bolesnika (100 oči) sa primarnim glaukomom otvorenog ugla, prosečne starosti 61,2 godine (od 37 do 84 go-

dine) i sa prosečnim vrednostima CCT od $562,4$ μm (od 467 do 648 μm) vrednosti IOP izmerene pomoću GAT bile su prosečno $20,9$ mmHg (opseg 10–38 mmHg), Tono-Penom $20,3$ mmHg (opseg 9–41 mmHg), a pomoću Pascal DCT 24 mmHg (opseg 14–46 mmHg). Vrednosti IOP dobijene pomoću Pascal-ovog DCT značajno su precenile IOP u odnosu na vrednosti IOP dobijene pomoću GAT i varirale su od $3,1 \pm 2,7$ mmHg (95% interval poverenja), dok je Tono-Pen pokazao blagu tendenciju potcenjivanja vrednosti IOP u odnosu na GAT pri nižim IOP vrednostima (< 24 mmHg), ali istovremeno i precenjivanja IOP pri višim (> 24 mmHg) vrednostima samog IOP varirajući od $-0,6 \pm 4,7$ mmHg (95% interval poverenja).

Zaključak

Zlatni standard za merenje IOP je tehnika GAT koja je tačna, ali ne i potpuno precizna, tako da će se u cilju dobijanja što preciznijih vrednosti IOP morati koristiti i druge tonometrijske tehnike.

L I T E R A T U R A

1. *Kontić Đ.* Tonometry. In: *Cvetković D, Kontić Đ, Hentova-Senčanić P*, editors. Glaucoma. Belgrade: Zavod za udžbenike i nastavna srestva; 1996. p. 43–71.
2. *Wallace LM Alward.* Tonometry and tomography. In: *Krachmer JH*, editor. Glaucoma the requisites in ophthalmology. Departments of Ophthalmology. The University of Iowa College of Medicine Iowa City, IA. 2000. p. 19–25.
3. *Garaway-Heath T, Kotecha A, Lerner F.* Measurement of intraocular pressure. In: *Weinreb RN, Brandt J, Garway-Heath T, Medeiros FA* editors. Intraocular Pressure. Amsterdam: Kugler Publications. 2007.
4. *Kanski JJ.* Clinical Ophthalmology: A Systematic Approach 5th ed. Butterworths: 2003. p. 196–98.
5. *Whitacre MM, Stein R.* Sources of error with use of Goldmann-type tonometers. *Surv Ophthalmol* 1993; 38(1): 1–30.
6. *Kass MA, Heuer DK, Higginbotham EJ, Johnson CA, Keltner JL, Miller JP*, et al. The Ocular Hypertension Treatment Study: a randomized trial determines that topical ocular hypotensive medication delays or prevents the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2002; 120(6): 701–13.
7. *Gordon MO, Beiser JA, Brandt JD, Heuer DK, Higginbotham EJ, Johnson CA*, et al. The ocular hypertension treatment study: baseline factors that predict the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol* 2002; 120(6): 714–20.
8. *Weinreb RN, Brandt JD, Garway-Heath D, Medeiros FA*, editors. Intraocular pressure. World Glaucoma Association; 2007.
9. *Weizer JS, Asrani S, Stinnett SS, Herndon LW.* The clinical utility of dynamic contour tonometry and ocular pulse amplitude. *J Glaucoma* 2007; 16(8): 700–3.
10. *Kotecha A.* What biomechanical properties of the cornea are relevant for the clinician?. *Surv Ophthalmol* 2007; 52 Suppl 2: S109–14.
11. *Tonnu PA, Ho T, Sharma K, White E, Bunce C, Garway-Heath D.* A comparison of four methods of tonometry: method agreement and interobserver variability. *Br J Ophthalmol* 2005; 89: 847–50.
12. *Salvetat ML, Zeppieri M, Tosoni C, Brusini P.* Comparisons between Pascal dynamic contour tonometry, the TonoPen, and Goldmann applanation tonometry in patients with glaucoma. *Acta Ophthalmol Scand* 2007; 85(3): 272–9.

Rad primljen 23. IX 2008.