

Tonometre

– deres fordele og ulemper



Af Danson V. Muttuvelu
Aarhus



Kåre Clemmensen
Aarhus



Jesper Hjørtald
Aarhus

Forhøjet intraokulært tryk (IOP) regnes som en væsentlig risikofaktor for udvikling af glaucom.

Klinisk anvendelig trykmåling, som er helt centralt for diagnose og behandling af glaucom, blev indført af den norske professor Hjalmar August Schiøtz, som udviklede Schiøtz indentations-tonometer i begyndelsen af 1900-tallet. Schiøtz tonometeret er billigt og transportabelt, men IOP-målingerne er upræcise, da de i væsentlig grad er bestemt af øjets volumen og stivheden af sklera. Schiøtz tonometeret blev afløst af Goldmann og Schmidt's applanationstonometer (GAT) (1957). Applanationstonometeret bygger på Imbert-Ficks lov, der fastslår, at afladning af et lille område af en væskefyldt sfære (cornea) kan ske ved et modtryk, som svarer nøjagtigt til det interne væske-tryk (IOP). Det interne væske-tryk (IOP) svarer til den kraft F , som skal appliceres på det overfladeareal A ($7,44\text{mm}^2$), som afladiges under applanation: $IOP=F/A$.

Imbert-Ficks lov er kun fuldt gyldig under forudsætning af, at vi undersøger på en fuldstændig tør, perfekt elastisk, uniform og uendelig tynd sfærisk overflade. Dette opfyldes ikke i cornea, og der er siden

opfindelsen beskrevet en række biofysiske forhold (bl.a. central cornea tykkelse, post-LASIK patienter, hvor corneas kurvatur er ændret, øjets rigiditet hos stærk myope og dystrofisk cornea), hvor GAT IOP påvirkes.

Selvom der ses disse afvigelser, betragtes GAT som et særdeles præcist (reproducerbart) og akkurat (tæt på sande IOP) instrument, hvorfor GAT IOP-målinger fortsat regnes som the "the golden standard". Således er $IOP > 21$ mmHg på GAT en risikofaktor for glaucom. De største ulemper ved GAT synes at være følgende:

- Instrumentet kan som rutine kun anvendes i en postural position. Tonometeret er ikke mobilt, da det skal bruges sammen med en spaltelampe. Dette hindrer måling af IOP hos fx fysisk handicappede med kyphosis el. lordosis, under operation, uden for øjenklinikken og blandt små børn.
- Der kræves en rutineret læge for at undgå forkert IOP-måling.
- Selve målingsproceduren med drypning af lokalanæstetikum og fluorescein, efterfølgende ventetiden og derefter applanation er tidskrævende.

Der findes i dag på markedet en række nye tonometre med hver deres fysiske principper. I artiklen vil vi gennemgå fordele og ulemper for fire nye tonometre, som kan være interessante i forbindelse med IOP-

screening ved almindelig øjenundersøgelse.

Ocular Response Analyzer (ORA), Reichert Ophthalmic Instruments, NY, U.S.

Dette instrument er en forbedring af det velkendte non-kontakt pneumotonometer, som benytter sig af luft-pust til applanation af cornea. Det almindelige pneumotonometer er simpelt at anvende, men er mere påvirkeligt end GAT af corneatykkelsen. ORA apparaturet måler applanationstrykket både ved indadbøjning af cornea og ved den efterfølgende udadbøjning. En tilhørende computer beregner herefter fire parametre: corneal hysteresis, corneal resistance faktor samt to IOP estimater: IOPg (Goldmann korreleret), IOPcc (corneal-kompenseret). Corneal hysteresis er et udtryk, som er defineret af producenten, Reichert, for at gøre IOPcc cornea-kompenseret. IOPcc korrelerer ifølge flere undersøgelser med GAT, men er mindre påvirket af corneas egenskaber end IOPg, som er et gennemsnit af trykket målt under luft-pustets stigende hhv. faldende intensitet. Apparaturet fungerer ved, at refleksionen af en infrarød stråle mod cornea registreres af detektorer, og derved måles ændringer i corneas form: Når luft-pustet rammer cornea, ændres dennes form fra konvex til konkav, og luftstrømmens hastighed ved applanation hhv. de-applanation lagres på computeren. Forskellen i disse luftstrøms hastigheder afhænger af corneas tykkelse og mekaniske egenskaber og dette mål, corneal hysteresis, kan anvendes til nøjere at estimere det korrekte IOP. Dette apparats fordel er, at den er mindre afhængig af de corneale faktorer end GAT og almindelige pneumotonometre, og apparatet er

således fundet bedre ved måling af IOP hos patienter efter corneal excimer kirurgi og ved dystrofi (Fuchs og keratokonus) samt hos DSAEK (Descemet stripping automated endothelial keratoplasty) opererede patienter. En anden fordel er, at der ikke skal anvendes lokalanæstetika. Instrumentets præcision (reproducerbarhed) er dog mindre end GAT. Generelt overestimeres IOP-målinger med dette apparat ligeledes sml. med GAT - størrelsen er ret omdiskuteret i litteraturen: fra blot + 1/2 mmHg og op til 6-7 mmHg.



Tonopen XL, Reichert Ophthalmological Instruments, NY U.S.

Tonopen XL er et håndholdt elektronisk tonometer, som er baseret på Mackay-Marg tonometeret fra 1959. Den lille størrelse på 18 cm samt den lave vægt gør det nemt at transportere. Tonometeret applanerer et meget mindre areal (2,36mm²) sammenlignet med GAT (7,44mm²). Der anvendes typisk lokalanæstesi af cornea, hvorefter instrumentets spids, som er dækket med en "engangs-hætte" (Ocu-film), placeres centralt på cornea. En ydre ring applanerer cornea, mens den indre ring udgøres af transduceren, som måler en spændingsforskel. Når tonometeret presses mod centrale cornea, dannes spændingsforskelle, som måles af transduceren og analyseres af en indbygget microprocesser. Efter fire kontinuerlige målinger beregnes et estimat af IOP i mmHg samt en usikkerhedsparameter. Disse værdier vises på LED-skærmen.

Det er med et håndholdt tonometer næsten umuligt at måle samme sted fra gang til gang, men det er vist, at der ikke er nogen store måleforskelle ved at måle helt centralt og midt perifert. Dog tenderer dette

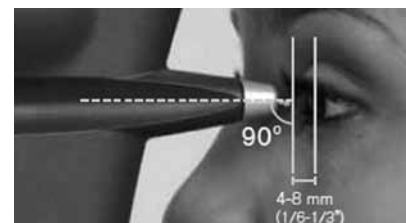
apparat mod en underestimering (0-2mmHg), ved et tryk under 9mmHg og en overestimering ved et tryk over 21mmHg (0-2 mmHg) sml. med Goldmann IOP. Producenten hævder, at apparatet er uafhængigt af corneas biomekaniske faktorer såsom corneal central tykkelse (CCT). Dette er dog ikke tilfældet, da flere undersøgelser viser en sammenhæng med CCT som andre applanationstometre.



ICare rebound tonometer, Tiolat Oy, Helsingfors, Finland:
ICare kaldes et "rebound" tonometer. Dette er et transportabelt tonometer, udviklet af finske Kontiola i 1990'erne og baseret på grundprincipper af Dekking og Coster 1967. Tonometeret består af to spoler. Den ene spole danner et magnetisk felt, som medfører, at den letvægtede magnetiserede engangs-stål-probe frastødes og skubbes mod cornea. Den anden spole er en sensor, som registrerer spændingsforskelle, som den bevægende probe inducerer, når den bevæger sig mod cornea og tilbage (rebounder). De værdier, som registreres og afledes af sensoren (spændingshastigheder), korreleres af maskinens software til IOP.

Det er vigtigt at holde tonometeret tæt på patientens øje, placere tonometeret således at probe-holderen incl. proben er vinkelret på den centrale cornea, og at afstanden fra spidsen af proben til patientens cornea er mellem 4-8 mm. (se nedenstående billede). Der tages seks hurtige målinger efter hinanden – hver måling nåes at tages, inden blinke-refleksen aktiveres. Der anvendes ikke lokalanæstetika. Softwaren i apparatet fjerner maksimal og minimalværdien IOP, hvorefter en gennemsnitlig værdi beregnes samt en usikkerhedsparameter, som angiver akkuratheden.

Dette apparat er fundet let at anvende, og selv hos ikke-rutinerede ses en tæt relation med GAT IOP,



hvorfor ICare kan indgå i screeningsstudier. Centrale ICare målinger overestimerer dog IOP med 1/2-2 1/2 mmHg sml. med GAT. Desuden skal undersøgeren være opmærksom på underestimering 1-4 mmHg ved måling perifert frem for centralt på cornea. Det anbefales at måle så centralt som muligt, idet de perifere målinger er mindre præcise. ICare tonometeret afhænger også af corneas biomekaniske faktorer, blandt andet den centrale cornea tykkelse.

Pascal dynamic contour tonometry (DCT), Swiss Microtechnology AG, Zürich, Switzerland

Pascal DCT er et digitalt ikke-applanations kontakt tonometer, som monteres på spaltelampen. Instrumentet er udstyret med et cylindrisk tonometer-hoved, hvis spids har en konkav overflade (10,5mm i diameter). Når contour (overflade)-"matchning" mellem tonometer spidsen og cornea er opnået, regnes cornea at have den form, hvor trykket uden på øjet er identisk med trykket inden i øjet. I dette stadie er der ikke nogen kræfter, som virker tangentielt på cornea. Under disse betingelser måler den indbyggede tryk sensor (1,2 mm i diameter) IOP, som er uafhængige af corneas fysiske egenskaber, dvs. uden nogle bias relateret til corneal radius, corneal tykkelse og andre corneale egenskaber. Hver måling tager ca. 5 sek. og er korreleret til den oculære puls, hvorfor et diastolisk og systolisk IOP angives i LCD-skærmen. Desuden har apparatet en indbygget kvalitetsværdi (1-6),

Tabel 1: Oversigt over de forskellige tonometers fordele og ulemper.

Instrument	Engangs- "hætte"	Mobili- tet	Lokal- anæ- stesi	Kort måle- tid	Præcision og akkurathed	Afhængig af corneale faktorer (tykkelse, stivhed)
Tonopen XL	Ja	Ja	Ja	Ja	Underestimering ved højt IOP samt spredning imellem målinger	Ja
ICare	Ja (en-gangs prober)	Ja	Nej	Ja	Overestimering ved centrale IOP-målinger, men underestimering ved perifere målinger	Ja
ORA	Nej	Nej	Nej	Ja	Overestimering og stor spredning imellem målinger	Nej
PascalDCT	Ja	Nej	Ja	Nej	Overestimering	Nej
Goldmann	Nej, virkon anvendes	Nej	Ja	Nej	Ja	Ja



hvor en IOP med kvalitetsværdi mindre end fire må anvendes.

Generelt i litteraturen findes for Pascal DCT en overestimering af IOP på 1-2mmHg sml. med GAT i normale raske øjne. I øjne, der har undergået LASIK, ved dystrofier (Fuchs og keratokonus) samt efter DSAEK operationer, er det vist, at IOP målinger med Pascal DCT er mere pålidelige end GAT målingerne. Der anvendes en engangs-safety-cap (ingen risiko for krydsinfektion), og der anvendes lokalanæstetika. De største ulemper med dette apparat er, at den dels er fastspændt til spaltelampen og dels den lidt længere proceduretids.

Konklusion:

I øjne med normale corneaegenskaber er GAT's IOP-målinger så præcise og akkurate, at denne betragtes som "the golden standard". Det betyder, at GAT-IOP anvendes som reference i sammenlignende studier med nye tonometre. Som resultat af dette vil de nye tonometre aldrig fremstå akkurate. Denne problemstilling har ikke været udfyldende beskrevet i denne artikel, da vi har lagt vægt på at beskrive nye tonometers fordele og ulemper i forbindelse med screening af IOP. Her spiller andre faktorer som

mobilitet, anvendelse af lokalanæstesi og proceduretids også en rolle. Ganske vist er det vigtigt at vide, om instrumentet over- eller under-estimerer (akkurathed), men så længe et instruments målinger er præcise (reproducerbare), kan man forvente anvendelig screenings-IOP'er. Det instrument, som umiddelbart har flest fordele i screenings-øjemed er ICare tonometeret: Den er håndholdt, transportabel, ingen smitterisiko, kort proceduretids samt ingen anvendelse af lokalanæstesi. Dette betyder ikke, at apparatet kan anvendes til isoleret IOP monitorering af glaucom-patienter, men det er anvendeligt som screening ved en almindelig øjenundersøgelse.

Således anbefales fortsat GAT ved monitorering af glaucom-behandling. Men en bedre løsning, der kan overvejes i de tilfælde, hvor GAT er fejlbehæftet (fx dystrofiske cornea) er Pascal DCT, som ikke er afhængig af hornhindens biomekaniske faktorer.

Referencer: www.ofthalmolog.com ■

Tabel 2: Prisliste

Instrument	Pris (kr.) ekskl.moms
Goldmann	11.684,-+spaltelampe
	22.916,- Utensilier (prober) 5,82,- per måling
Tonopen XL	26.340,- Utensilier (OcuFilm) 2,73,- per måling
ORA	106.000,-
Pascal DCT	38.600,- + spaltelampe + Utensilier 4,41,- per måling

Referencer:

Muttuvelu D, Baggesen K, Ehlers N (2010): Precision and accuracy of the ICare tonometer. Acta Ophthalmologica.