

La Tonometria ed i Tonometri

A. Lucente

Il tono oculare è il fattore di rischio più importante nella malattia glaucomatosa. La modalità della sua misurazione ha interessato negli ultimi decenni molti ricercatori e numerosi strumenti sono stati proposti dalle industrie per migliorare l'attendibilità del dato tonometrico rilevato.

Trascurando gli albori della tonometria, in tempi moderni, tutto inizia con gli studi di Goldmann e l'introduzione nel 1957 del suo tonometro ad appianazione, considerato, ancora oggi, gold standard nella misurazione del tono oculare, il più diffuso tra i tonometri nella pratica oftalmologica mondiale (fig. 1).



Fig.1 - AT 900 D Goldmann con Display digitale e scarto di 0.1mmHg

Validità per pachimetrie intorno ai 520 micron, bisogna attendere il 2002, con l'uscita dei risultati dell'OHTS, per avere una più decisiva ripresa dell'interesse scientifico sul tono e sui tonometri.

L'Ocular Hypertension Treatment Study (OHTS), che ha interessato 1636 pazienti ipertesi oculari seguiti per 5 anni negli Stati Uniti, ha studiato i vari fattori di rischio nei pazienti ipertesi oculari, con tono iniziale tra 22 e 32 mmHg. Una metà dei pazienti è stata trattata ed un'altra metà solo osservata. Dopo 5 anni 86% dell'intero campione rimaneva sano, mentre il restante 14% presentava segni di glaucoma. In quest'ultimo gruppo un 4.5% apparteneva ai pazienti trattati con ipotensivi oculari, mentre l'altro 9.5% apparteneva a quelli non trattati. L'importanza di iniziare una terapia nell'ipertensione

oculare si evince chiaramente dal raddoppio numerico dei pazienti con danni glaucomatosi tra i non trattati rispetto ai trattati (9.5% contro il 4.5%).

Tra i vari fattori di rischio che causano il viraggio verso la malattia glaucomatosa è emerso anche lo spessore corneale.

Gli altri fattori di rischio rilevati da questo studio sono stati l'età, la PSD del Campo Visivo Humphrey, il rapporto Cup/Disk orizzontale/verticale del disco ottico ed il tono oculare, già conosciuti da tempo, evidenziati anche in altre ricerche e studi.

Lo spessore corneale non era mai stato considerato come fattore di rischio prima di questo studio multicentrico e, in ogni caso, dimenticato nella pratica clinica come possibile causa di confondimento nella tonometria.

In particolare l'OHTS ha rilevato che per ogni 40 micron d'assottigliamento corneale esiste il 71% in più di possibilità nell'aver danni al nervo ottico, a parità di valori tonometrici e per gli stessi periodi d'osservazione.

Nella mia esperienza clinica, con l'esclusione della miopia elevata, raramente ho riscontrato glaucomi progressivi e terminali con spessori corneali sopra i 600 micron nell'ambito del glaucoma cronico ad angolo aperto.

La coincidenza di spessori corneali bassi e glaucomi gravi e, viceversa, spessori alti con poche conseguenze dannose con ipertoni anche duraturi, prescindendo dal capitolo discusso e controverso dei glaucomi normotensivi, ha fatto pensare che lo spessore elevato potesse essere un fattore, in qualche modo, di protezione, influenzando positivamente la resistenza della lamina cribrosa papillare, forse perché meno cedevole e maggiormente protettiva per gli assoni visivi.

Del resto sia la cornea sia la lamina cribrosa sono costituite da tessuto connettivo della stessa provenienza embriologica.

I risultati dell'OHTS hanno quindi ripresentato il problema dello spessore come causa d'errore strumentale, facendo riflettere sull'attendibilità del dato tonometrico rilevato, con un rinnovato interesse scientifico per le sue modalità d'acquisizione.

Dopo questo importante studio, infatti, numerose sono state le risposte industriali per ovviare alle variazioni che lo spessore corneale può apportare al valore della tonometria ad appianazione.

In una mia ricerca sul rapporto tono e spessore si evince

una relazione di dipendenza tra questi due parametri, caratterizzata da una retta di regressione che traccia un rapporto di correlazione R^2 del 27% (R^2 = misura statistica dell'attendibilità della relazione lineare tra i valori X e Y). Tale correlazione trovata con il metodo statistico dei minimi quadrati, indica che il valore pachimetrico individuale può determinare una variazione del tono rilevato del 27%. Si dovrebbe quindi correggere il valore tonometrico di 0.56 mmHg ogni 10 micron di variazione, rispetto al valore medio pachimetrico, che è nel campione testato di 554 micron. (tab. 1).

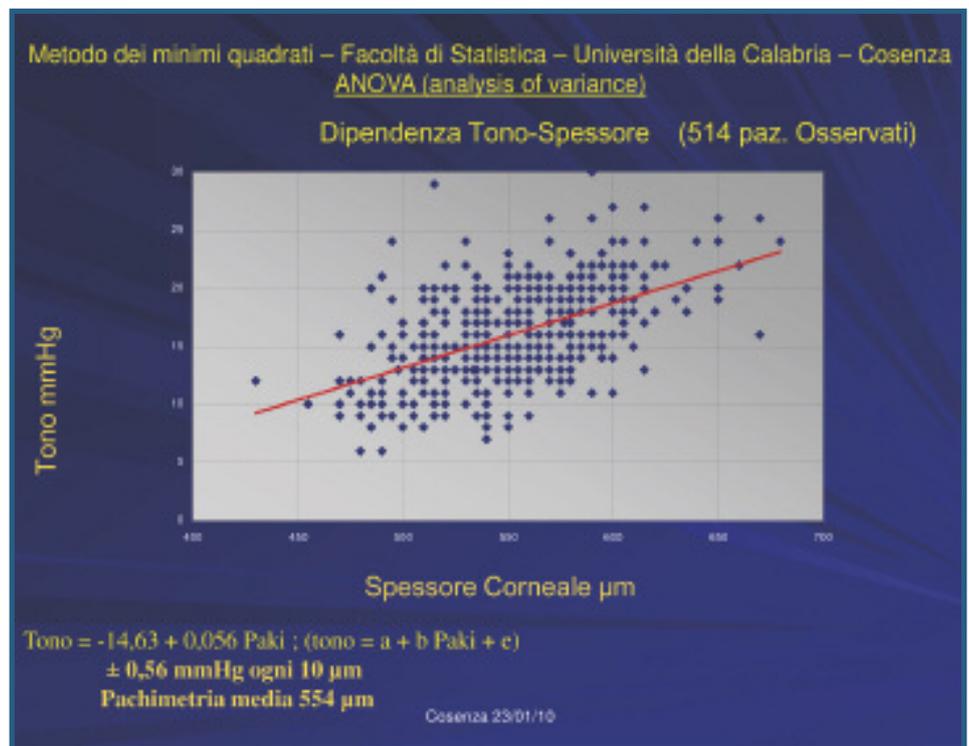
Tale studio, effettuato tra il 2001 e il 2003 su 514 pazienti sani all'osservatore, si proponeva di verificare come lo spessore corneale potesse influenzare le variazioni tonometriche rilevate, con particolare riguardo agli ipertesi oculari ed ai pazienti con toni bassi. Il valore di correzione di 0.56 mmHg/10micron, che ha un andamento lineare, cambia il suo decorso rettilineo agli estremi della retta di regressione, per valori sotto i 490 e sopra i 590 micron, per assumere un andamento quasi iperbolico, in discesa per valori bassi ed in salita per valori alti di pachimetria.

Questo significa che lo spessore corneale determina sopra questi valori scostamenti dal tono rilevato non più costanti ma esponenziali.

Questi concetti sono stati confermati da molti altri autorevoli studi. Valori di aggiustamento simili sono stati proposti da più parti, con numerose tavole di conversione, prima tra tutte, l'abaco di Ehlers del 1975, che rapportava il tono allo spessore con una dipendenza di 0.7 mmHg ogni 10 micron di variazione dai 520 micron, media di riferimento del suo studio. (tab.2)

Una prima concreta proposta dell'industria al rapporto tono-spessore è stata la messa in mercato con il tonometro Pascal che, con una superficie d'appoggio conforme

alla curvatura del profilo corneale, ha dato una prima ri-



Tab.1 - Rapporto Tono-Spessore

T	10	15	20	25	30
0,450	4,2	4,7	5,2	5,7	6,2
0,460	3,5	4,0	4,4	4,8	5,3
0,470	2,9	3,3	3,7	3,0	4,5
0,480	2,2	2,6	2,9	3,3	3,6
0,490	1,5	1,8	2,2	2,5	2,8
0,500	0,9	1,2	1,4	1,7	1,9
0,510	0,3	0,5	0,7	0,9	1,1
0,520	-0,4	-0,2	0,0	0,1	0,3
0,530	-1,0	-0,8	-0,7	-0,6	-0,5
0,540	-1,6	-1,5	-1,4	-1,3	-1,2
0,550	-2,2	-2,1	-2,1	-2,0	-2,0
0,560	-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-2,7
0,570	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4	-3,4
0,580	-3,9	-4,0	-4,1	-4,1	-4,2
0,590	-4,5	-4,6	-4,7	-4,8	-4,9

Tab. 2 - Abaco di correzione Tono-Spessore di Ehlers

sposta concreta alla dipendenza tono-spessore. (fig. 2). Il profilo modellato del tip cilindrico che tocca la cornea nel Pascal presenta, al centro, un sensore piezo-elettrico di pressione, che rileva la IOP con un segnale proporzionale ai rilievi tensivi rilevati.

Alcuni studi hanno dimostrato che la sua superficie di contatto si conforma a quella corneale, con buona corrispondenza alla variabilità delle curvature corneali mediamente esistenti in natura.

Questa tonometria ha, quindi, caratteristiche dinamiche, per l'aderenza del sensore al profilo corneale (Dynamic Contour Tonometry, DTC), con un'indiretta valutazione della pulsazione cardiaca.

La sua punta trasparente consente una buona visione all'esaminatore, mentre un segnale acustico avverte l'avvenuto contatto del tip con la cornea.

Dopo 5 secondi di contatto con la superficie corneale, il segnale è registrato da un microprocessore, e lo strumento evidenzia i valori della IOP, senza bisogno di fluoresceina e senza appianazione della cupola corneale.

I dati finali che appaiono su uno schermo a cristalli liquidi sono: la IOP della fase diastolica, la sua variazione media (OPA) causata dalla pulsazione cardiaca ed un punteggio di qualità della misurazione effettuata, da Q1 a Q5.

Per un buon risultato (Q3) è necessario un tempo di 5 secondi di contatto continuato. La necessità di una migliore collaborazione dei pazienti rispetto al Goldmann, per il suddetto parametro temporale, costituisce il limite più rilevante di questa tonometria.

La problematica dell'influenza strutturale della cornea sul rilievo tonometrico è, però, molto più complessa, e non si limita al solo spessore, ostacolo che il Pascal ha dimostrato in parte di superare.

Il modulo elastico di una struttura biologica non rigida, sottoposta ad una forza esterna, risponde con leggi fisiche proprie. La natura biomeccanica della cornea, la sua forma tridimensionale, gli ancoraggi sclerali di collegamento e la sua variabile curvatura, sono tutte caratteristiche importanti nel determinare la risposta complessiva corneale.

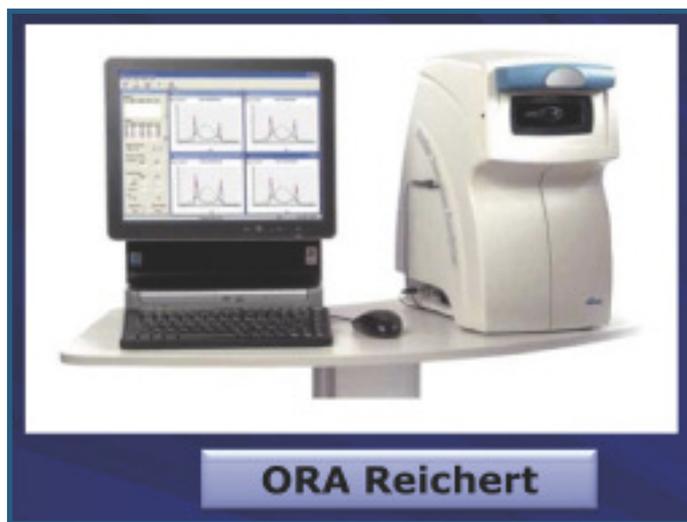
Il modulo elastico di una struttura meccanica flessibile racchiude in se tutte queste caratteristiche, con comportamenti differenti e specifici, per ogni particolare situazione morfo-strutturale.

La cupola corneale non si sottrae a queste regole; lo spessore corneale resta però l'elemento più importante.



DTC Pascal dynamic contour tonometer Ziemer Ophthalmic

Fig. 2 - DTC Pascal dynamic contour tonometer Ziemer Ophthalmic



ORA Reichert

Fig. 3 - ORA Reichert

Le strutture biologiche elastiche, in generale, possono rispondere ad un doppio regime fisico di rigidità membranale o flessionale. Le strutture membranali hanno la caratteristica di non avere uno spessore rilevabile e, non offrendo quindi alcuna resistenza alle sollecitazioni esterne, sono solo teoriche, come per esempio le pellicole domopak

La cornea, avendo invece uno spessore non trascurabile, risponde alla legge delle strutture a rigidità flessionale, con un'elasticità inversamente proporzionale al cubo del suo spessore. Questo rapporto grandemente moltiplicativo (il cubo dello spessore) valorizza ed esalta l'importanza della misura pachimetrica nel comprendere la dinamica della cupola corneale. Altro parametro da considerare è la curvatura della cornea, molto meno decisivo nell'influenzare le risposte flessionali delle strutture elastiche in generale e, di conseguenza, anche quelle corneali.

Il tonometro della Reichert ORA, Ocular Response Analyzer, prende in considerazione alcune delle proprietà viscoelastiche della cornea e sembra possa misurare valori pressori indipendenti dallo spessore e dalla curvatura corneale. (fig. 3).

L'isteresi corneale che lo strumento evidenzia, non è altro che il ritardo del movimento della cornea in andata ed in ritorno, conseguente al gettito d'aria dello strumento.

L'isteresi trovata è integrata con altri dati rilevati, così da offrire un valore finale che ha buona correlazione con la tonometria del Goldmann, ma senza influenze strutturali meccaniche, una sorta di IOP cornea-compensata (IOP cc).

Per ottenere tali performance l'ORA utilizza un impulso d'aria collimato sulla cornea d'intensità crescente, tale da appianare la cupola corneale, fino a determinarne una

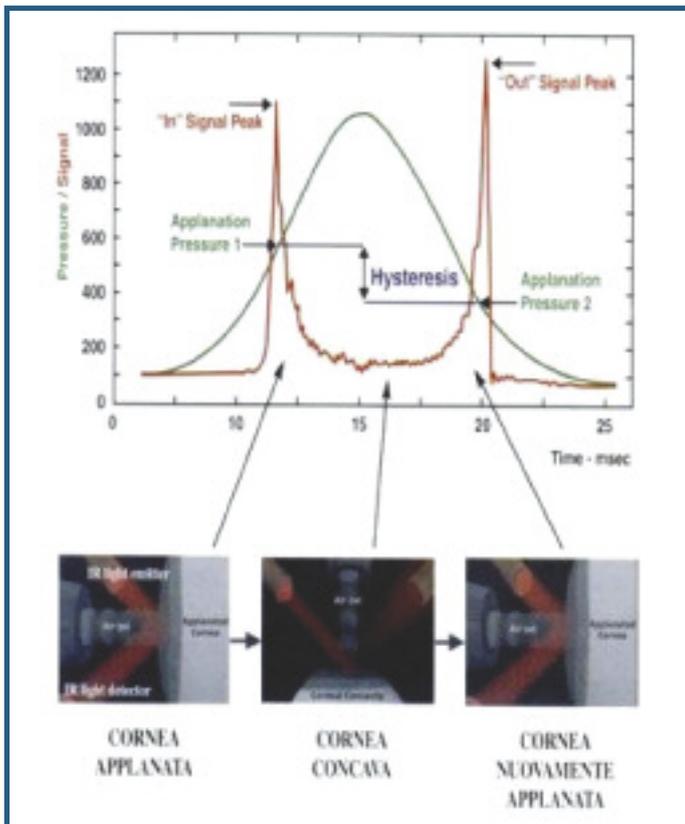


Fig. 4 - Grafico rilevato dall'ORA



Fig. 5 - Spiegazioni dei grafici tracciati dell'ORA (Isteresi Corneale)

leggera introflessione verso la camera anteriore; il soffio d'aria quindi si riduce d'intensità ed il profilo corneale, ripassando per il punto di completa applanazione, riacquista infine la sua posizione naturale di partenza. Durante i 20 millisecondi di tempo necessari per tale doppia applanazione, il sistema ottico, di cui l'ORA è dotato, controlla i 3 millimetri centrali corneali, con il rilievo dei toni nei due momenti d'applanazione, in andata ed in ritorno. ("In" Signal peck ed "Out" Signal peak nel grafico dello strumento). (fig. 4 e 5).

Le due misurazioni sono differenti per valore rilevato: la loro media costituisce il valore di IOP Goldmann-correlato, mentre la loro differenza temporale individua l'iste-



Fig. 6 - Topcon TRK-1P

resi corneale (dal greco isteresis = ritardo). Iniziali studi hanno dimostrato che valori bassi d'isteresi corneale sono legati ad un aumento del danno perimetrico in pazienti glaucomatosi, con una significatività di $P=0.03$. Valori d'isteresi bassi si sono inoltre trovati negli operati di Lasik, nei cheratoconi e nella distrofia corneale di Fuchs.

I dati offerti dall'isteresi corneale saranno quindi utili non solo per il glaucoma ma anche per molte patologie corneali, oltre che per la chirurgia refrattiva.

Saranno necessari ancora studi ed approfondimenti per fare chiarezza sulle reali possibilità di questa metodica, che potranno aprire la strada ad una più completa comprensione della meccanica corneale evidenziando, ancora una volta, le difficoltà per ottenere valori tonometrici più veritieri.

Le nuove proposte strumentali sono dirette sempre più verso una tonometria no-contact e multifunzione, con strumenti che possono contemporaneamente fornire, oltre al dato tonometrico, anche lo spessore ed il profilo corneale, magari con la profondità ed il volume della camera anteriore e la misura del bianco-bianco limbare.

In tal modo si potrà meglio determinare un valore tonometrico integrato alla morfologia tridimensionale del segmento anteriore, più vicino in tal modo alle condizioni morfologiche delle strutture sollecitate e più aderente al valore tensivo endoculare.

Un esempio di strumentazione multifunzione è il TRK-1P della Topcon. Questo strumento rileva contemporaneamente più parametri, come il valore refrattivo oggettivo e cheratometrico (K1 e K2), la pachimetria centrale, il valore bianco-bianco limbare, la distanza interpupillare, il tono oculare rilevato in tre misurazioni con sequenza automatica ed anche mediato secondo lo spessore corneale, oltre ad un valore di media dei singoli rilievi effettuati. (fig. 6)

La tendenza di offrire subito più misure e dati all'operatore è una caratteristica consolidata nel panorama tecnologico della medicina moderna, rispondendo sempre

più a criteri di rapidità, completezza d'informazione oltre che di precisione nell'interpretazione clinica finale.

Decidere se iniziare o no una terapia antiipertensiva oculare, avendo il supporto di maggiori parametri, è ormai indispensabile per una corretta valutazione clinica; avere a disposizione più dati per tutti i pazienti non deve sembrare ridondante e superfluo, ma è ormai necessario ed indispensabile, nella consapevolezza che una visione globale porta a più avvedute decisioni cliniche, terapeutiche e prognostiche.

L'insistere da parte dell'industria con lo sviluppo della tonometria no-contact a soffio, per me che da sempre sono a favore all'uso di questa metodica nella pratica clinica, ha anche un supporto scientifico, di prevenzione e di tutela medico-legale.

Solo con la tonometria no-contact si può iniziare, per esempio, ad avere contezza dei dati tonometrici nell'infanzia su larga scala, con la possibilità di intercettare pazienti giovani con sicure ipertensioni oculari o veri glaucomi in itinere, prescindendo dalle forme congenite tardive, legate ad una alterazione anatomica evidente dell'angolo camerulare.

Già dalla prima visita oculistica si può e si deve misurare il tono oculare, e non poche sorprese si potranno trovare con la pratica estesa di questa metodica.

Avere in anamnesi i dati tonometrici già dalla prima infanzia in tutti i pazienti, e specialmente in quelli con familiarità glaucomatosa, è oltremodo utile e indicativo, soprattutto se è senza alcun danno per il paziente.

Quante volte procuriamo incautamente piccole abrasioni corneali con il tonometro ad appianazione e quante volte non siamo sicuri del dato rilevato, per l'incongruenza dello spessore degli anelli di lettura del cono di appianazione!

Almeno con la tonometria no-contact possiamo ripetere più volte questa misura senza difficoltà e con un valore mediato del dato ottenuto, possiamo ripeterlo nel tempo, senza avere bambini terrorizzati che, alla fine, c'inducono a soprassedere all'esame con l'appianazione, e a non proporlo più fino alla maggiore età.

E' chiaro che nessuno prende per oro colato il primo dato tonometrico con la modalità a soffio, specialmente in bambini che magari strizzano le palpebre, ma una cosa è trovare 15 mmHg ed una cosa è trovare 28 mmHg o 40 mmHg di tono.

Con l'accortezza di far provare anticipatamente come gioco il soffio dello strumento sul palmo della mano o sul viso, pochi saranno infine i bambini che si sottrarranno a questo tipo d'indagine strumentale: questa è almeno la mia esperienza con il tonometro a soffio, che uso correntemente e felicemente dal 1988.

Il confronto con la tonometria ad appianazione resta, beninteso, di convalida e di conferma, prima di qualsiasi

decisione diagnostica e terapeutica finale!

La tonometria no-contact è un esame, in ogni caso, di svolta, non solo nel normale corso ambulatoriale, ma anche in momenti clinici particolari, come una banale terapia cortisonica per una follicolosi congiuntivale in infanzia.

Misurare il tono oculare prima e dopo terapia cortisonica è pratica clinica che deve entrare ormai nella normalità: trovare degli ipertoni dopo già pochi giorni di terapia cortisonica topica, non è certo cosa frequente ma possibile, anche con valori da brivido. Sono i cosiddetti pazienti cortisoni responder-positivi.

I problemi medico-legali sono sempre più numerosi ed è spiacevole, oltre che moralmente non corretto, trovarsi con un ipertono da terapia instaurata in un bambino, senza averlo individuato per tempo e senza aver preso le misure necessarie, come un semplice tono prima e dopo la terapia prescritta.

Personalmente ho dato del desametazone allo 0.2% in associazione con tobramicina per 3 volte al dì per una congiuntivite follicolare e ho visto un tono oculare salire da 16 mmHg a 50 mmHg dopo solo 7 giorni di terapia!

Certo il tonometro ad appianazione avrebbe dato valori tensivi inferiori e più veritieri, ma sempre in ogni caso alti, se fosse stato ugualmente facile ed agevole utilizzare tale metodica in un bambino di 7 anni, e con una congiuntivite in atto.

Solo la tonometria no-contact può dare questa possibilità, trascurando tutto il campo post-operatorio, e mi riferisco non solo alla chirurgia refrattiva.

A tal proposito chi scrive, solo per la passione verso quest'aspetto della clinica oftalmologia, ha proposto un progetto di uno strumento e metodo per la misurazione del tono oculare no-contact, comprensivo dello spessore e della curvatura corneale, oltre che di tutti gli altri parametri tridimensionali della cupola corneale e della camera anteriore, definito con una validazione brevettuale nazionale ed internazionale nel maggio 2002, prima dell'uscita dei risultati dell'OHTS.

L'Early Manifest Glaucoma Trial ha messo in luce che una riduzione del 25% della IOP nei pazienti glaucomatosi ad angolo aperto fa diminuire del 50% il rischio di progressione di malattia, mentre una diminuzione di solo 1 mmHg del tono può rallentarne del 10% la progressione.

Il tono oculare resta, per tutto quanto detto, il solo parametro che sappiamo efficacemente correggere a protezione delle fibre ottiche: arrivare a determinarlo in modo sempre più efficace, veritiero e prima possibile, è un obiettivo più che importante, così come affrontare, con sempre maggior determinazione, ogni sua variazione patologica, spesso molto dannosa per la funzione visiva. ■

BIBLIOGRAFIA

Goldmann H., Schmidt T.: Uber Applanationstonometrie.
Ophthalmologica 1957; 134:221-242.

Ehlers N., Hansen F.: Central corneal thickness in low-tension glaucoma.
Acta Ophthalmol (Kbh) 1974; 52:740-6.

Ehlers N., Bramsen T., Sperling S.: Applanation tonometry and central cornea thickness.
Acta Ophthalmol (Copenh) 1975; 53:34-43.

Whitacre M.M., Stein R.A.: Sources of error with use of Goldmann-type tonometers.
Survey of Ophthalmol 1993; 38 (1):1-30.

Whitacre M.M., Stein R.A., Hassanein K.: The effect of corneal thickness on applanation tonometry.
Am J Ophthalmol 1993; 115: 592-6.

Doughty M.N., Zaman M.N.: Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures :a review and meta-analysis approach.

Survey of Ophthalmol 2000; 44(5):367-408.

Feltgen N., Leifert D., Funk J.: Correlation between central thickness, applanation tonometry, and direct intracameral IOP readings.
Br J Ophthalmol 2001; 85:85-7.

Gordon M. O. et al: The ocular hypertension treatment study Baseline factor that predict the onset of primary open-angle glaucoma .
Arch Ophthalmol 2002; 120:714-720.

A. Lucente: Lo spessore oculare come indice di valutazione del tono oculare.
Bollettino di Oculistica 2004