



Capitolo 3

Valutazione della curvatura corneale

PUNTI CHIAVE

PUNTI CHIAVE

La cheratometria e la cheratoscopia sono importanti non solo durante la fase di scelta di una lente a contatto (in particolare di una lente rigida), ma soprattutto durante la fase di monitoraggio della topografia corneale durante l'uso delle lenti a contatto

Acuità visiva e/o correzione refrattiva possono essere significativamente alterate da piccole modificazioni, relativamente evidenziate grazie alla topografia corneale. Ne deriva l'importanza di un sensibile e accurato metodo di misurazione

Per misurazioni accurate, gli strumenti devono essere tarati e calibrati regolarmente. È necessario che il portatore sia comodo e rilassato durante la valutazione, in modo da assicurare una corretta fissazione

Nei primi tempi di applicazione delle lenti a contatto rigide, la mancanza di conoscenze sulla natura della curvatura corneale ha costituito uno dei maggiori limiti per un uso confortevole delle lenti a contatto. Oggi la maggiore conoscenza sia della natura della topografia corneale, sia dell'interazione fra superficie posteriore della lente a contatto e superficie anteriore corneale, ha permesso di compiere progressi nel design delle lenti a contatto stesse.

Le moderne lenti rigide gas permeabili sono progettate tenendo a mente la relazione tra i parametri della superficie posteriore della lente e la curvatura corneale, mentre l'applicazione delle moderne lenti morbide è fondamentalmente indipendente dalla stessa. Questo non significa che la valutazione della curvatura corneale non sia più necessaria nella pratica quotidiana. La valutazione della curvatura corneale è importante non solo nelle fasi preliminari dell'applicazione, ma anche nel continuo monitoraggio degli effetti provocati dalle lenti a contatto sull'occhio. La registrazione di curvature corneali accurate (letture K) prima di inserire nell'occhio una lente è una delle misurazioni basilari e di importanza critica della pratica contattologica. Variazioni impercettibili della curvatura corneale provocate dall'utilizzo delle lenti a contatto o da una patologia, possono essere utili indicatori di problemi che potrebbero presentarsi. È importante non solo registrare le misurazioni effettive, ma allo stesso tempo valutare la qualità della superficie corneale. La Tabella 1 mostra il range di letture K in popolazioni di soggetti normali^{1,2}.

Il metodo più comune di misurazione in ambito contattologico rimane la cheratometria, nonostante recentemente si impieghino analizzatori corneali e sistemi di mappatura corneale più sofisticati; il loro completo utilizzo è al di fuori dall'ambito di questo capitolo. I professionisti dovrebbero sapere che le misurazioni cheratometriche offrono soltanto informazioni limitate sulla curvatura corneale, che devono essere integrate con misurazioni e osservazioni aggiuntive. Il diametro corneale è facilmente misurabile con un regolo millimetrato o con il reticolo della lampada a fessura. Analizzando i quadri fluoresceinici sotto la lente sferica di grande diametro RGP con parametri specifici si può ottenere una valutazione approssimativa della forma corneale.

Va ricordato che la cornea è la principale superficie refrattiva dell'occhio, responsabile dei due terzi del potere diottrico totale. Acuità visiva e/o correzione refrattiva possono variare significativamente anche soltanto per piccole modifiche evidenziate nella topografia corneale, motivo per cui va ribadita l'importanza di impiegare un metodo di misurazione sensibile ed accurato.

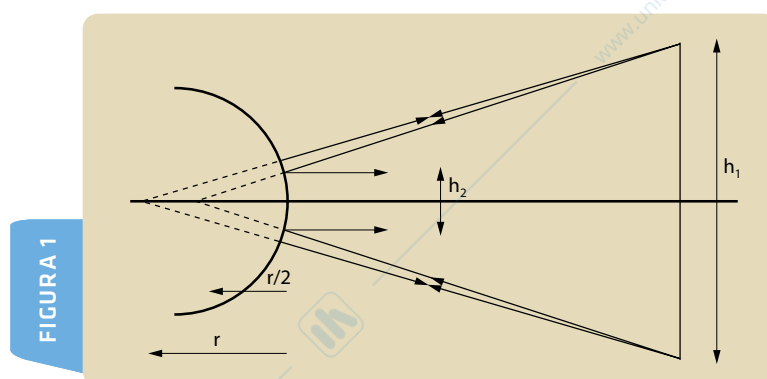


FIGURA 1 Principio ottico della cheratometria: h_1 = distanza fra le mire, h_2 = altezza dell'immagine (misurata usando la duplicazione), r = raggio corneale

Il presente capitolo descrive la valutazione della curvatura corneale nella pratica contattologica di routine.

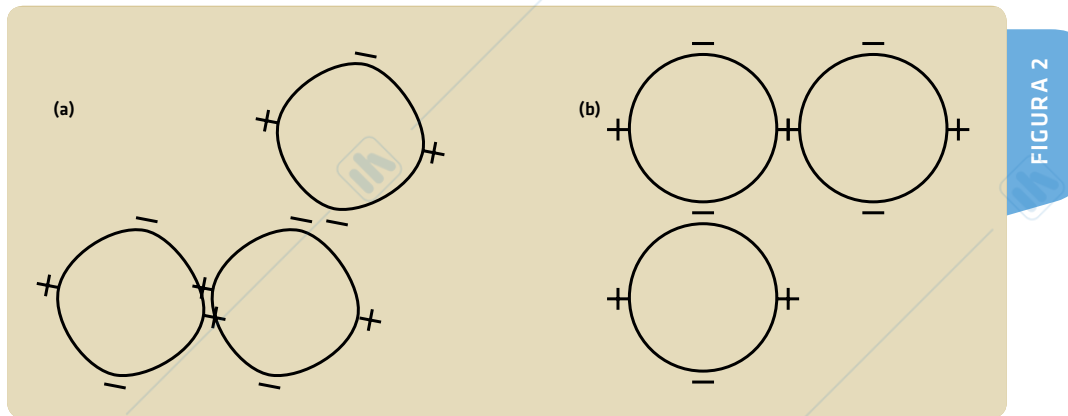


FIGURA 2 Mire del cheratometro Bausch & Lomb: (a) mire in disallineamento e fuori asse (b) mire allineate

Cheratometria - strumentazione

La cheratometria si fonda sul principio della registrazione della dimensione dell'immagine riflessa da un oggetto di dimensioni note. Considerate le dimensioni dell'oggetto e la distanza tra l'immagine e l'oggetto, è possibile calcolare il raggio di curvatura corneale. Nella cheratometria l'oggetto, che può essere rappresentato da due mire separate o da due punti a distanze distinte, viene riflesso dalla zona centrale della cornea, di ampiezza 3.2 mm (l'ampiezza dell'immagine riflessa dipende dallo strumento e dalla dimensione della cornea).

Il calcolo del raggio corneale prevede che la cornea sia una sfera con indice di rifrazione 1,3375. La Figura 1 mostra il principio ottico della cheratometria. La misurazione del raggio corneale viene effettuata utilizzando un sistema ottico di duplicazione, nel quale l'osservatore deve allineare le immagini delle mire riflesse dalla cornea. La duplicazione può essere costante, come nel caso dello strumento Javal-Schiotz oppure variabile, come per gli strumenti tipo Bausch & Lomb.

Nello strumento a duplicazione costante la distanza tra le mire (h_1 nella Figura 1) è variata meccanicamente. Quando le mire sono allineate, la lettura avviene tramite una scala. Con gli strumenti a duplicazione costante le letture K vengono prese in due fasi lungo ogni meridiano.

In uno strumento a duplicazione variabile le dimensioni dell'oggetto rimangono costanti, grazie all'uso di appositi prismi nelle ottiche dello strumento.

I prismi possono essere predisposti simultaneamente per produrre una duplicazione attraverso i due meridiani principali, con letture rilevate da entrambi dopo l'allineamento dello strumento. La Figura 2 mostra esempi di immagini delle mire in questo tipo di cheratometro. Il vantaggio delle mire nello strumento a duplicazione variabile è che esse consentono di evidenziare la rottura del film lacrimale (dal quale l'immagine è effettivamente riflessa) più facilmente rispetto allo strumento a due posizioni. Si potrebbe dire che le mire utilizzate nello strumento a duplicazione variabile rendono più facile la visualizzazione dei meridiani principali ed offrono vantaggi ergonomici rispetto allo strumento a due posizioni.

Nello scegliere uno strumento occorre considerare il modo in cui vengono visualizzati i valori. In alcuni i valori K sono visualizzati attraverso l'oculare e possono quindi essere letti senza allontanare l'occhio dallo strumento; in altri i valori sono all'esterno dello strumento, attorno ai cilindri usati per spostare le immagini delle mire. Gli assi possono essere letti attraverso indicatori esterni ed interni.

In questi cheratometri l'osservatore deve allineare le mire manualmente. Sono tuttavia disponibili dei cheratometri elettronici. Si tratta in genere di strumenti a due posizioni che usano servomotori per azionare il dispositivo di duplicazione, sino a consentire la valutazione ottica dell'allineamento attraverso diodi ad emissione di luce e diodi di rilevamento. Le misurazioni registrate sono stampate dalla macchina, che in genere dà una media di tre misurazioni e può anche fornire una stima della forma della cornea, misurando il raggio corneale sia perifericamente che centralmente. Alcuni strumenti abbinano questa funzionalità all'interno di un autorefrattometro.

Nella scelta di un nuovo cheratometro, il professionista dovrebbe considerare il tavolo dello strumento e la lampada a fessura. È possibile adattare molti cheratometri in modo da poterli usare con lo stesso poggiamiento del biomicroscopio, mettendo entrambi in posizione con l'ausilio di un tavolo scorrevole. Un sistema di questo tipo offre vantaggi di ordine pratico in ambulatorio.

Range di letture K nella popolazione umana^{1,2}

| RAZZA | AUTORI | OCCHI | ORIZZONTALE | | | VERTICALE | | |
|-----------|---------------------------|-------|-------------|------|-------------|-----------|------|-------------|
| | | | MEDIA | DS | RANGE | MEDIA | DS | RANGE |
| Caucasica | Kiely <i>et al</i> 1984 | 196 | 7.79 | 0.26 | 7.10 a 8.75 | 7.69 | 0.28 | 7.06 a 8.66 |
| | Guillon <i>et al</i> 1986 | 220 | 7.87 | 0.25 | 7.14 a 8.54 | 7.7 | 0.27 | 7.03 a 8.46 |
| | Lam & Loran 1991 | 63 | 7.98 | 0.21 | 7.10 a 8.36 | 8.03 | 0.20 | 7.29 a 8.43 |
| Orientale | Lam & Loran 1991 | 64 | 7.74 | 0.24 | 7.21 a 8.31 | 7.9 | 0.23 | 7.46 a 8.48 |

Tecnica

Gestione dei portatori

Come con tutte le valutazioni obiettive dell'occhio, i portatori devono essere informati riguardo al metodo d'esame. In cheratometria, dovranno essere rassicurati circa il fatto che nulla toccherà l'occhio e che non avvertiranno alcun disagio; questo è particolarmente importante in quanto lo strizzamento delle palpebre può alterare la curvatura corneale. I portatori devono sedere in posizione comoda in modo da mantenere mento e fronte saldamente appoggiati allo strumento. Gli occhi devono guardare avanti, in quanto anche lo sguardo rivolto verso il basso può modificare il profilo corneale. Prima di eseguire la misurazione, il professionista deve mettere a fuoco le mire nell'oculare su uno sfondo bianco. Se lo strumento non è messo a fuoco i rilevamenti non sono precisi.

Una volta posizionati strumento e portatore, a quest'ultimo si chiederà di guardare il centro dell'oggetto. Se lo strumento è dotato di specchio, al soggetto si dovrà chiedere di guardare i propri occhi. È importante controllare regolarmente che lo strumento sia calibrato correttamente. Per eseguire la calibratura si utilizzano dei cuscinetti a sfera in acciaio, che hanno una precisione $\pm 0,001\text{mm}$. Si devono prendere almeno cinque letture di ogni sfera e si deve usare un minimo di tre sfere di misura diversa per poter tracciare la linea di calibratura. Ove si debbano misurare raggi più curvi o più piatti rispetto a quelli per i quali la macchina è stata calibrata, sarà necessaria una lente $+/-1,25\text{D}$. Una lente $+1,25\text{D}$ consente di misurare una cornea maggiormente curva ed è spesso necessaria nella misurazione di un cheratocono. Una lente $-1,25\text{D}$ si utilizza per i rilevamenti di una cornea più piatta. Quando si usa una lente supplementare, il cheratometro deve essere calibrato con sfere di acciaio e la lettura effettuata deve essere convertita tramite apposite tabelle. Operazione raramente richiesta nella pratica generale di routine.

Tecnica di misurazione

La prima fase da seguire nel rilevamento della misurazione consiste nell'allineare lo strumento lungo i meridiani principali. Il raggio corneale può successivamente essere misurato regolando le mire, come mostrato nella Figura 2. Con lo strumento a due posizioni, il corpo dell'apparecchiatura dovrà essere ruotato prima di effettuare ciascuna misurazione. Idealmente, la lettura dovrebbe essere fatta tre volte e si dovrebbe utilizzare la media di queste. Oltre a registrare le letture del cheratometro, il professionista deve valutare la chiarezza delle mire registrando eventuali distorsioni (Figura 3), come suggerito nella Tabella 2. In questa fase il cheratometro può essere utilizzato per misurare in modo non invasivo il tempo di rottura del film lacrimale (NIBUT).

Cheratometria automatica

Anche quando si usa un autocheratometro, il portatore dovrà essere rilassato e sentirsi a proprio agio.

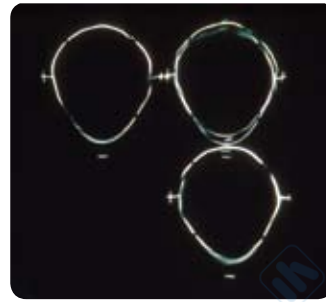


FIGURA 3 Mire distorte indicano 'warping', ovvero distorsione corneale dovuta all'uso delle lenti a contatto.

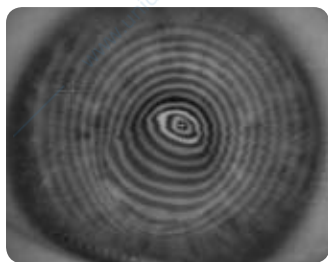


FIGURA 4 Anelli del disco di Placido proiettati sulla cornea durante la fotocheratoscopia

Lo strumento di solito è dotato di un diodo ad emissione di luce che il portatore deve fissare. Il professionista deve controllare l'occhio del soggetto durante la fase di misurazione per valutare la corretta fissazione. La maggior parte degli strumenti effettua tre misurazioni su ogni occhio. È importante controllare la misurazione e la media per poter eventualmente riscontrare errori di lettura provocati dai movimenti oculari.

Lecture K periferiche

Molti autocheratometri effettuano e registrano letture K periferiche. Anche un normale strumento manuale può essere adattato in modo da eseguire queste letture posizionando quattro luci di fissazione attorno all'oggetto e chiedendo al portatore di visualizzarle a turno. L'accuratezza di questa tecnica e della relativa lettura è limitata a causa della natura asferica della superficie corneale, delle variazioni anatomiche e di fissazione tra gli esaminati.

Cheratoscopia - strumentazione

Come già detto, il cheratometro offre soltanto una stima della curvatura corneale basata su una corda di circa 3,2mm della sua superficie. Il cheratometro suppone che la cornea sia sferica, il che non corrisponde alla realtà. La forma della cornea è spesso paragonata ad un'ellisse oblata che si appiattisce gradualmente verso la periferia.

Le variazioni di curvatura sulla superficie della cornea possono essere paragonabili ad una sezione conica e quantificate calcolando il fattore di forma; quest'ultimo si ottiene eseguendo misurazioni della cornea in diversi punti della sua superficie. Il fattore di forma varia tra 0 e 1, dove 1 indica una sfera perfetta. Il fattore di forma corneale dell'occhio caucasico ha un valore medio di 0.83 ± 0.13 (range $0.21-1.20$) per i meridiani piatti e di 0.81 ± 0.16 (range $0.11-1.16$) per quelli più curvi. Il fattore di forma può anche essere descritto in termini di eccentricità (e), dove il fattore di forma è uguale a $1 - e^2$.

La cheratometria tradizionale non fornisce una misurazione del fattore di forma, richiedendo quindi di determinare la modificazione della curvatura lungo l'intera superficie corneale. La tecnica della cheratoscopia permette di valutare il profilo corneale in modo più completo rispetto alla cheratometria tradizionale. La cheratoscopia determina la curvatura corneale anteriore mediante l'osservazione di un'immagine di un oggetto riflessa³.

Il primo cheratoscopio è stato il disco di Placido e la moderna fotocheratoscopia si basa su questo principio. Il disco di Placido consiste in una serie di anelli concentrici illuminati. Gli anelli vengono proiettati sulla cornea e l'osservatore guarda la loro riflessione, la prima immagine catottrica prodotta. La valutazione della topografia corneale è fatta giudicando la regolarità dell'immagine. Pur rappresentando un semplice sistema per compiere una prima valutazione di eventuali irregolarità corneali (Figura 4), questo metodo non è in grado

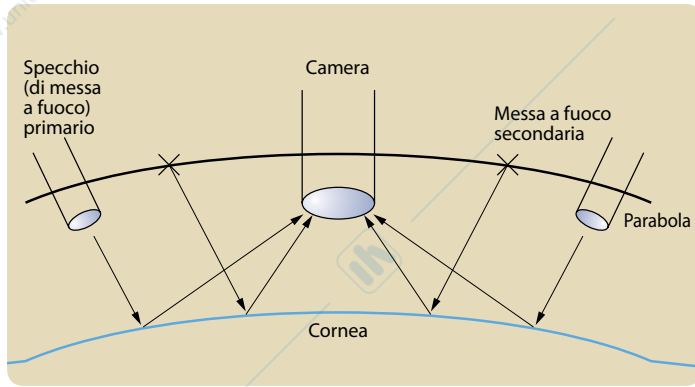


FIGURA 5

FIGURA 5 Meccanismo di messa a fuoco usato in un fotocheratoscopio

di fornire una valutazione dettagliata (quantificabile) della curvatura.

Uno dei primi tentativi di quantificare la curvatura corneale è stato compiuto con il PEK (Photo Electronic Keratoscope, fotocheratoscopio elettronico) di Wesley-Jessen. È stata scattata una foto Polaroid di una serie di anelli concentrici ed in seguito è stato misurato il diametro di ogni anello. Da queste misurazioni è stato poi calcolato il fattore di forma. La misurazione non accurata ed i problemi di riproducibilità delle lenti rigide restringono la potenzialità del sistema.

Oggi gli straordinari progressi compiuti nella tecnologia del “computer-imaging” hanno riproposto l’analisi della topografia corneale. I sistemi computerizzati di mappatura corneale hanno offerto al professionista i mezzi per esaminare la curvatura corneale con una maggiore precisione rispetto al passato.

La fotocheratoscopia utilizza un sistema di acquisizione delle immagini computerizzato per calcolare eventuali variazioni di curvatura da una serie di anelli che vengono proiettati sulla cornea. L’immagine proveniente dagli anelli viene acquisita da una videocamera che invia i dati da elaborare. Gli anelli e la videocamera sono collegati ad un computer che mostra i risultati su uno schermo o su una stampa a colori. I fotocheratoscopi computerizzati usano un numero di anelli proiettati sulla cornea variabile tra 16 e 25, consentendo l’analisi di oltre 6.000 punti della superficie corneale.

Gradazione della distorsione delle mire

| | |
|---------|---|
| Grado 0 | Immagine mira chiara |
| Grado 1 | Lieve distorsione delle mire |
| Grado 2 | Modesta distorsione: lettura possibile con qualche difficoltà |
| Grado 3 | Discreta distorsione: lettura difficile da valutare |
| Grado 4 | Evidente distorsione: lettura impossibile |

TABELLA 2

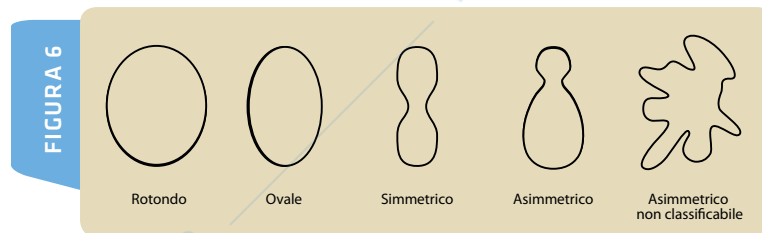


FIGURA 6 Quadri diagrammatici osservati in mappe topografiche codificate a colori di occhi normali come descritto da Brogan *et al*⁵

I primi fotocheratoscopi usavano un disco di 10-14 pollici di diametro, che proiettava gli anelli sulla cornea. La messa a fuoco veniva ottenuta utilizzando un sistema primario nel quale il disco veniva spinto in avanti sino a quando entrambi gli specchi periferici riflettevano la luce (Figura 5). Se non si riusciva a mettere a fuoco la luce in questo modo, veniva usato un sistema secondario in cui una X era messa a fuoco sul quarto anello.

Questo sistema risultava accurato per topografie corneali relativamente normali, sebbene in alcuni casi, ad esempio post-RK, il sistema fosse fuori fuoco per la metà del tempo. Un altro svantaggio evidenziato da questo sistema erano le ombre del naso o delle sopracciglia, che destabilizzavano i meccanismi di messa a fuoco.

Tecnica

Molti dei commenti fatti per la cheratometria riguardano anche la cheratoscopia. L'esaminato deve essere a proprio agio e rilassato al momento della misurazione e, come con la cheratometria, la fissazione è importante. Una misurazione compiuta fuori dall'asse corneale può dare l'impressione di un'individuazione precoce di cheratocono. Se un'immagine simile viene vista in assenza di altri segni o sintomi, il professionista deve ripetere la misurazione prima di fare una diagnosi.

Presentazione dei dati

La presentazione dei dati raccolti dalla fotocheratoscopia è sempre più sofisticata e potrebbe capitare che l'effetto dei risultati ottenuti mascheri il valore dei dati acquisiti. I dati possono essere presentati graficamente in una varietà di forme⁴, codificate a colori come mappe di potere, immagini fotocheratoscopiche, ricostruzione 3D e sezioni trasversali. Le informazioni più comuni e utili sono costituite da una mappa di curvatura corneale che mostra le modificazioni di curvatura della superficie della cornea. La Figura 6 offre una rappresentazione diagrammatica dei quadri osservati nelle mappe topografiche degli occhi normali codificate a colori.

Le mappe corneali permettono al professionista di visualizzare il profilo corneale (Figure 7 e 8) dopo un intervento chirurgico oppure durante lo sviluppo di patologie della cornea come il cheratocono (Figura 9).

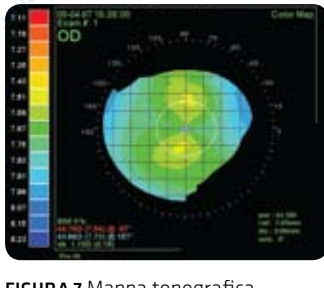


FIGURA 7 Mappa topografica codificata a colori di una cornea normale ($e = 0.45$)

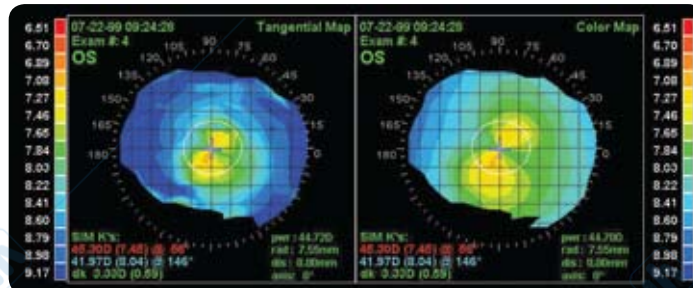


FIGURA 8 Mappa topografica codificata a colori di una cornea che evidenzia un alto grado di astigmatismo

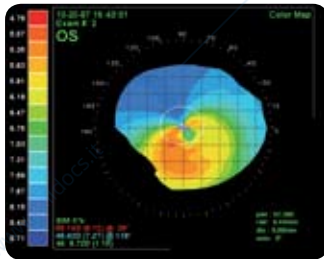


FIGURA 9 Mappa topografica codificata a colori di un soggetto affetto da cheratocono

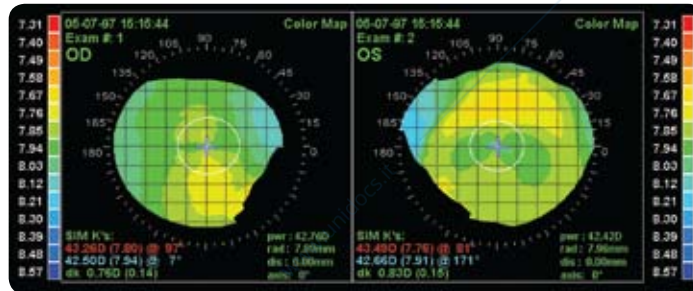


FIGURA 10 Mappa topografica codificata a colori che mostra distorsione corneale indotta da una cattiva applicazione di una lente RGP

Permettono inoltre di localizzare con precisione l'asse dell'astigmatismo corneale ed aiutano a capire le ragioni per le quali una lente a contatto rigida non si centra come previsto (Figura 10). Le informazioni fornite comprendono anche dimensione della pupilla e letture K standard ed alcuni strumenti registrano ora lo spessore corneale.

Alcuni strumenti sono supportati da un software che assiste nella progettazione e nell'applicazione delle lenti RGP. Questi programmi simulano l'applicazione in fluoresceina di una lente RGP sulla cornea e ne suggeriscono i parametri. Ad oggi, la letteratura è stata poco attendibile nel dimostrare il valore di questa tecnica al di sopra della valutazione dell'applicazione tradizionale.

Un valore indiscutibile della videocheratoscopia è quello di mostrare all'esaminato la sua superficie corneale facilitando la spiegazione dei motivi per cui l'applicazione di una particolare lente può richiedere più tempo o risultare difficoltosa. Questo può assumere particolare importanza dopo un intervento di chirurgia refrattiva se non è possibile ottenere l'acuità desiderata.

Riepilogo

Conoscenza, misurazione e monitoraggio della curvatura corneale sono di vitale importanza nella pratica contattologica. Sebbene il keratometro fornisca una valutazione affidabile ed accurata della zona centrale della cornea, i più recenti progressi compiuti nel campo della cheratoscopia offrono informazioni molto più esaustive sulla curvatura corneale.

Indicazioni per la cheratometria

- Valutazione di tutte le lenti a contatto: fornisce i valori degli esami iniziali e di tutte le modificazioni indotte della curvatura corneale riscontrate nei controlli successivi
- Valutazione di tutte le lenti a contatto: fornisce una valutazione approssimativa della distorsione corneale
- Applicazione di lenti RGP: fornisce dati per la scelta della lente iniziale
- Applicazione di tutte le lenti a contatto: determina la direzione dell'astigmatismo corneale
- Misurazioni non invasive dei tempi di rottura del film lacrimale
- Misurazione della curvatura di una lente a contatto rigida
- Monitoraggio della patologia corneale

Indicazioni per la cheratoscopia

- Conoscenza delle curvature di cornee irregolari per l'applicazione delle lenti a contatto
- Diagnosi e monitoraggio del cheratocono o di altre patologie corneali
- Dimostrazione della curvatura corneale al portatore per ottimizzare le informazioni e la soddisfazione
- Identificazione dell'asse visivo prima del laser ad eccimeri
- Valutazione corneale pre e post-operatoria prima di un intervento chirurgico.■

BIBLIOGRAFIA

1. Guillon M, Lydon DPM, Wilson C. Corneal topography: a clinical model. *Ophthalmic Physiol Opt*, 1986; 6 1:47-56.
2. Lam C and Loran DFC. Videokeratography in contact lens practice. *J BCLA*, 1991; 14 3:109-114.
3. Fowler C W and Dave T N. Review of past and present techniques of measuring corneal topography. *Ophthalmic Physiol Opt*, 1994;14 1:49-58.
4. Voke J. Modern Keratometry Uses and Limitations. *Optometry Today*, 2000; May 5 24-27.
5. Bogan S J et al. Classification of normal corneal topography based on computer assisted videokeratography. *Arch Ophthalmol*, 1990 108:945-949.

- Ulteriori Letture
- Maeda M and Klyce C. Videokeratography in contact lens practice. *ICLC*, 1994; 219-10: 163-169.
- Lester SF et al. Clinical applications of corneal topography. *ICLC*, 1994; 21 9-10:170-174.
- Stone J. Keratometry and specialist optical instrumentation. Ruben M, Guillon M, eds *Contact Lens Practice*. Chapman & Hall, London 1994.
- Guillon M and Ho A. Photokeratography. Ruben M, Guillon M, eds *Contact Lens Practice*. Chapman & Hall, London 1994.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano Judith Morris e Andrew Gasson per la Figura 3, Tom Lofstrom per la Figura 4 e David Ruston per le figure 7, 8, 9, e 10.