



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

TREBALL FINAL DE GRAU

**EVOLUCIÓ DELS INSTRUMENTS DE MESURA DE
PARÀMETRES DE LA CÒRNIA**

NELSON LIEVENS JACOME

DIRECCIÓ: NÚRIA TOMAS COROMINAS
DEPARTAMENT D'ÒPTICA I OPTOMETRIA



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

La Sra. **Núria Tomas Corominas** com a tutor/s i director/s del treball,

CERTIFICA

Que el Sr. **Nelson Lievens Jácome** ha realitzat sota la seva supervisió el treball **Evolució dels instruments de mesura de paràmetres de la còrnia** que es recull en aquesta memòria per optar al títol de grau en Òptica i Optometria.

I per a què consti, signo aquest certificat.

Sra. Núria Tomas Corominas
Directora del TFM

Terrassa, 11 de Gener de 2017



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

EVOLUCIÓ DELS INSTRUMENTS DE MESURA DE PARÀMETRES DE LA CÒRNIA

RESUM

La còrnia constitueix la primera superfície transparent en contacte amb el medi extern i actua com la primera lent del sistema visual. Conjuntament amb l'esclera i la llàgrima, protegeix l'ull d'agents externs potencialment perillosos i dona gran part del poder refractiu total del sistema visual. Actualment en el món clínic és imprescindible saber els paràmetres de la còrnia com ara radis, diàmetres i gruix per tal de poder realitzar tasques que van des de l'adaptació de lents de contacte fins a tot tipus d'operacions corneals.

L'objectiu d'aquest treball es centra en conèixer els instruments de mesura de la còrnia, els principis òptics que són utilitzats en cada cas, la aplicació clínic dels resultats obtinguts i l'evolució d'aquests instruments fins a l'actualitat.

Per tal d'assolir aquests objectius és imprescindible saber quines son les diferents parts i funcions de la còrnia, de manera que prèviament i d'una forma introductòria, es donaran a conèixer tots aquests conceptes. Amb aquests objectius el que es vol aconseguir és donar a conèixer com extreure la informació més rellevant de les mesures dels paràmetres de la còrnia i el que ens permeten fer actualment els diferents tipus de topògrafs que existeixen, sempre des d'un punt de vista clínic.



GRADO EN ÓPTICA I OPTOMETRÍA

EVOLUCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE LOS PARÁMETROS DE LA CORNEA

RESUMEN

La córnea constituye la primera superficie transparente en contacto con el medio externo y actúa como primera lente del sistema visual. Juntamente con la esclera y la lágrima protege al ojo de los agentes externos potencialmente peligrosos y da gran parte del poder refractivo total del sistema visual. Actualmente en el mundo clínico es imprescindible saber los parámetros de la córnea tales como radios, diámetros y grosores para poder realizar tareas que van desde la adaptación de lentes de contacto hasta todo tipo de operaciones corneales.

El objetivo de este trabajo se centra en conocer los instrumentos de medida de la córnea, los principios ópticos que son utilizados en cada caso, la aplicación clínica de los resultados obtenidos y la evolución de estos instrumentos hasta la actualidad.

Para conseguir estos objetivos es imprescindible saber cuáles son las diferentes partes y funciones de la córnea, de manera que previamente y de una forma introductoria, se darán a conocer todos estos conceptos. Con estos objetivos lo que se quiere conseguir es dar a conocer como extraer la información más relevante de las medidas de los parámetros corneales y lo que nos permiten hacer actualmente los diferentes tipos de topógrafos que existen, siempre desde un punto de vista clínico.



EVOLUTION OF MEASUREMENT DEVICES OF CORNEAL VALUES

ABSTRACT

The cornea is the first transparent layer which is in contact with the outside world and is the first lens of the visual system. The cornea together with the sclera and the tear protect the eye from potentially dangerous agents. The cornea is responsible for most of the total refractive power of the eye. Nowadays the measurements of corneal radius, diameters and thickness values are of vital importance in order to carry out tasks that can go from adapting contact lenses to all kinds of corneal surgery.

The goal of this paper is to study the different measurement devices of the cornea, the optical principles behind the devices, the medical application of the results and the evolution of these devices till the present.

So as to achieve these objectives the different parts of the cornea and their functions must be identified and defined, so in order to do so these concepts must be dealt with previously in an introductory way.

The purpose of these goals is to show how to extract the most relevant information of the values of the corneal measurements and what can be done with the different types of topographs nowadays.



EVOLUTION OF MEASUREMENT DEVICES OF CORNEAL VALUES

SUMMARY

The cornea is the first transparent layer which is in contact with the outside world and is the first lens of the visual system. The cornea together with the sclera and the tear protect the eye from potentially dangerous agents. The cornea is responsible for most of the total refractive power of the eye. Nowadays the measurements of corneal radius, diameters and thickness values are of vital importance in order to carry out tasks all kind of tasks. These tasks can go from measurements of only the anterior central cornea in order to adapt contact lenses to all kinds of corneal surgery where it is very important to know the topographic shape and thickness of the cornea.

The keratometer is a diagnostic measurement device of the anterior central cornea, and had its origins in the attempt to discover the accommodation in the eye. Since then, it has been reinvented a number of times, with improvements and modifications made in the original principles of its design for new applications that ended up being as an ophthalmology and optometry basic instrument. The cornea is not only responsible for the majority of the refraction in the eye, but is also very accessible for measurement and modification. The keratometer's ability to measure the cornea has allowed it to play a central role in critical advances in ophthalmic history.

These early principles are still nowadays the basics of modern devices that have borrowed the same basics principles. Nowadays the keratometer is still an instrument which is very used in optometry or ophthalmology, but thanks to its evolution corneal topography and pachymetry are prioritized depending on the task that has to be done.



Corneal topography provides us with a detailed description of various curvature and shape characteristics of the cornea. Several techniques of corneal topography are available to measure and study the corneal elevation, shape and curvature. This information is very helpful for the study of corneal astigmatism, detection of corneal pathologies and perfection of contact lens fitting. Becoming familiar with the basics of topography and the physics behind each technique will allow you to choose the appropriate map for any given patient situation as well as understand the data associated with these maps.

Corneal pachymetry is the measurement of the thickness of the cornea, this information is necessary in ophthalmology for the study of a cornea in its pre and post operatory stages and to determinate suitable candidates for ablation procedures. Several techniques are available to reliably and reproducibly measure corneal thickness. The methods will be explained later on, systematic differences exist between the different techniques and result in different values. As a result the measurements cannot simply be substituted between the different modalities. Very often topographic devices also provide the pachymetry value.

In this study the different topography and pachymetry techniques will be explained. Also the physics behind and map types, even if the image presentations may vary between topographers this information is universal. Finally the reliability of the different techniques to obtain measurements will be compared and discussed.



AGRAÏMENTS

Vull expressar el meu agraïment a les persones que han fet possible la realització d'aquest treball:

En primer lloc a la directora del treball, Núria Tomas, per escollir-me per la realització del projecte. Per la dedicació, paciència i supervisió durant el transcurs del treball.

I en segon lloc el meu infinit agraïment a la família, amics i a l'Anna Batalla per l'estima i el recolzament incondicional rebut en tot moment.

Índex

1. Introducció	2
1.1 Situació.....	2
1.2 Objectius	2
2. Definició de la còrnia.....	3
2.1 Mesures Físiques i Propietats Òptiques de la Còrnia	3
2.2 Histologia	4
2.3 Fisiologia	5
2.4 Exploració	6
3. Context i evolució històrica dels instruments de mesura.....	7
4. Instruments de mesura de paràmetres corneals en l'actualitat	10
4.1 Queratòmetre: definició i principis òptics.....	10
4.1.1 Tipus de Queratòmetres.....	10
4.1.1.1 Mires Mòbils i Sistema duplicador Fixe.....	10
4.1.1.2 Mires Fixes i Sistema duplicador òptic mòbil.....	11
4.1.2 Índex de refracció del Queratòmetre.....	12
4.2 Paquimetria Corneal.....	13
4.2.1 Tècniques d'ultrasons.....	13
4.2.2 Tècniques òptiques.....	14
4.3 Topografia corneal	15
4.3.1 Tipus de Topògrafs	15
4.3.1.1 Topografia basada en la Reflexió Especular	15
4.3.2.1 Topografia basada en la elevació.....	17
4.3.2 Resultats obtinguts i mapes topogràfics	19
4.4 Tomografia de coherència òptica OCT	22
4.4.1 Bases del funcionament	22
5. Comparació i fiabilitat de les mesures	25
6. Conclusions.....	27
7. Bibliografia	28



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

EVOLUCIÓ DELS INSTRUMENTS DE MESURA DE PARÀMETRES DE LA CÒRNIA

1. Introducció

1.1 Situació

En el globus ocular la còrnia constitueix la primera superfície transparent en contacte amb el medi extern i actua com la primera lent del sistema visual. La còrnia, juntament amb l'esclera i la llàgrima, protegeix l'ull d'agents externs potencialment perillosos i dona aproximadament un 70-75% del poder refractiu total del sistema visual. Actualment saber els paràmetres de la còrnia com ara radi, diàmetres i gruix són imprescindibles en el món clínic per poder realitzar tasques que van des de l'adaptació de lents de contacte fins a tot tipus d'operacions corneals.

1.2 Objectius

L'objectiu d'aquest treball es centra en conèixer els instruments de mesura de la còrnia, els principis òptics que són utilitzats en cada cas, la aplicació clínica dels resultats obtinguts i l'evolució d'aquests instruments fins a l'actualitat.

Per tal d'assolir aquests objectius és imprescindible saber quines són les diferents parts i funcions de la còrnia, de manera que prèviament i d'una forma introductòria es donaran a conèixer tots aquests conceptes.

Amb aquests objectius el que es vol aconseguir és donar a conèixer com extreure la informació més rellevant de les mesures dels paràmetres de la còrnia i el que ens permeten fer actualment els diferents tipus de topògrafs que existeixen, sempre des d'un punt de vista clínic.

2. Definició de la còrnia

La còrnia és el teixit avascular, transparent i convex de la porció anterior que es troba envoltada de fluids, per llàgrima anteriorment i humor aquós posteriorment.

La còrnia està situada anatòmicament per davant de l'iris i juntament amb l'escleròtica i el limbe, constitueix la capa fibrosa externa del globus ocular.

2.1 Mesures Físiques i Propietats Òptiques de la Còrnia

La còrnia no té una forma esfèrica sinó que té un diàmetre horitzontal una mica més gran que no pas el vertical ($\varnothing_h=11.7$ $\varnothing_v=10.6$ mm). La seva curvatura també varia una mica depenent en quin dels dos meridians ens trobem, en el meridià horitzontal el radi de curvatura mig és de 7.8 mm mentre que en el vertical és de 7.7mm (Astigmatisme fisiològic). La refracció axial mitjana de la còrnia es de 43 diòptries, de les quals el poder refractiu de la superfície anterior és de 48.83 diòptries i el de la superfície posterior és de -5.88 diòptries. La còrnia és l'estructura amb major poder refractiu del globus ocular.

En quant a gruixos trobem uns valors mitjans de gruix de la còrnia central de 0.5 mm i un gruix perifèric de 1.1 mm. A tota la zona perifèrica de la còrnia trobem una transició amb l'esclera de 1 a 1.5mm , aquest és l'anomenat limbe esclerocorneal. Es precisament en aquesta part on hi ha una transició entre la còrnia i l'esclera i on es troben les cèl·lules mare encarregades de la regeneració de les cèl·lules epitelials corneals. Extret de (14).

Diámetro	11,7 mm (horizontal) x 10,6 mm
Espesor central	535 micras
Radio de curvatura	Anterior: 7,8 mm. Posterior: 6,2 - 6,8 mm
Poder refractivo de la superficie anterior	48,83 dioptrias
Poder refractivo de la superficie posterior	-5,88 dioptrias
Poder refractivo total	43,05 dioptrias
Índice de refracción	1,376
Contenido en agua	78%
Contenido en colágeno	15%
Contenido de otras proteínas	5%

Tabla 1 Mesures físiques i propietats òptiques de la còrnia. Extret de (14)

2.2 Histologia

La còrnia està formada per un conjunt de 5 capes. Desde la seva superfície anterior a la posterior són:

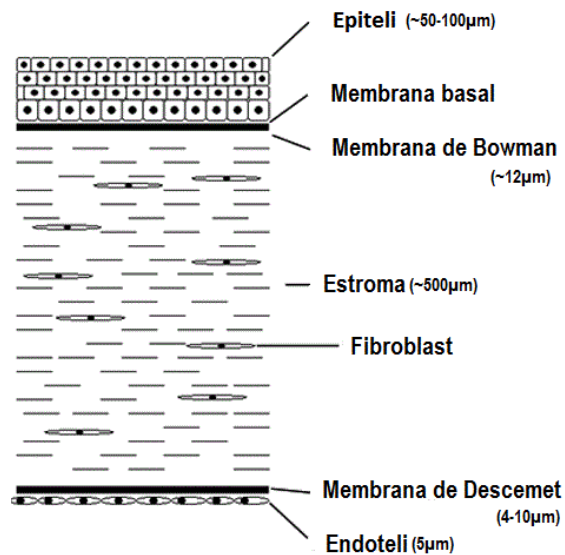
1. **Epiteli:** pavimentós estratificat format per tres estrats cel·lulars amb la seva membrana basal. L'epiteli té una excel·lent capacitat de regeneració. (~50-100µm)

2. **Membrana de Bowman:** Formada per fibril·les de col·lagen entrelligades sense cap tipus de component cel·lular. (~12µm)

3. **Estroma:** Constitueix el 90% del gruix total de la còrnia. Té una organització molt regular de fibres de col·lagen, estan disposades paral·lelament entre si i respecte la superfície corneal. En aquesta capa si que trobem component cel·lular (Fibroblasts) tot i que de una manera molt escassa. (~500µm)

4. **Membrana de Descemet:** Entrelligat de fibril·les de col·lagen. (4-10µm)

5. **Endoteli:** Formada per una única capa de cèl·lules hexagonals responsables de regular el grau d'hidratació corneal. Aquestes cèl·lules no tenen capacitat regenerativa i quan moren, les cèl·lules veïnes ocupen l'espai que queda lliure de manera que podem comptabilitzar el número de cèl·lules per avaluar l'estat d'aquesta capa. (~5µm)



Il·lustració 1: Capes de la còrnia. Extret de (14)

*També cal dir que en la actualitat es reconeix que hi ha una fina membrana basal per sota de l'epiteli (1).

2.3 Fisiologia

La còrnia està ricament innervada per terminacions nervioses sensibles (1a divisió del trigemin o Nervi oftàlmic)

Les funcions principals de la còrnia son:

- Transmissió de la llum amb la mínima distorsió i absorció de llum.
- La refracció, la superfície ha d'estar lliure d'imperficcions per tal de que la imatge visual sigui d'una bona qualitat
- Protecció de la porció anterior del globus ocular.

La funció òptica de la còrnia només és possible si es manté la transparència, això depèn de dos tipus de factors:

- Anatòmics
 - Regularitat de les cèl·lules epitelials.
 - Paral·lelisme i el gruix dels feixos de col·lagen.
 - Avascularitat de tota la còrnia.
- Bioquímics: Grau d'hidratació tissular (normalment del 78% del pes), si el contingut aquós supera el valor normal té lloc un edema corneal que produeix una pèrdua de la transparència de la còrnia. Això és degut a canvis en el **metabolisme corneal**. La còrnia rep la major part dels nutrients per difusió, ja sigui gràcies a l'humor aquós o la llàgrima, l'oxigen s'obté principalment de l'atmosfera i de la llàgrima.

2.4 Exploració

L'exploració de la còrnia es realitza mitjançant el **biomicroscopi**, gràcies a aquest instrument podem observar detalladament l'estructura de la còrnia i diferenciar les seves capes per tal d'avaluar si les estructures són normals o bé es troben alterades. Ara bé el biomicroscopi no ens permet valorar paràmetres de la còrnia que també tenen molta rellevància clínica, és per aquest motiu que existeixen altres instruments molt utilitzats pels professionals de la visió.

- Paquímetre, mesura el gruix corneal i és molt utilitzada en clínica, sobretot en intervencions refractives en les que s'ha de modificar el gruix de còrnia. Gràcies a la paquimetría es pot estudiar si una còrnia té el gruix necessari per poder ser operada, ja que una còrnia massa prima podria ser debilitada i crear problemes post-operatoris.
- Queratómetre, mesura la curvatura de la superfície anterior de la còrnia, únicament dels 3-3,5 mm centrals de la còrnia. Permet mesurar astigmatismes corneals que es trobin en la cara anterior, és molt útil per adaptació de lents de contacte.

- Topograf corneal: proporciona un mapa topogràfic de la superfície corneal anterior i posterior, així com els radis de curvatura anteriors i posteriors de la còrnia. Molts topògrafs d'última generació també donen els valors de gruix de la còrnia a diversos punts.

Per totes aquestes raons són molt utilitzats en la pràctica clínica mèdica ja sigui per avaluar l'estat de la còrnia dels pacients o bé per fer un seguiment en els pre i post-operatoris, de la mateixa manera en la pràctica clínica optomètrica també són molt utilitzats per fer tot tipus d'adaptacions de lents de contacte o estudiar astigmatismes corneals i queratocons.

Altres Proves:

- Microscopía Especular, es fotografia l'endoteli i es determinen varies característiques cel·lulars d'aquesta capa (mida, forma, densitat i distribució).
- Tonometría, es determina la pressió intraocular(PIO). Existeixen diversos tipus de tonòmetres, encara que els més utilitzats són el tonòmetre de aire i el tonòmetre de contacte. El tonòmetre no mesura directament un paràmetre corneal sinó que la mesura del tonòmetre va associada al gruix corneal. Això fa que sigui imprescindible el gruix corneal per tal de aconseguir mesures fiables, ja que el que mesura és la deformació que produeix una força mecànica exercida sobre la còrnia, una còrnia gruixuda patirà menys deformació que no pas una còrnia prima i donaran valors de PIO diferents encara que la PIO real sigui la mateixa.

3. Context i evolució històrica dels instruments de mesura

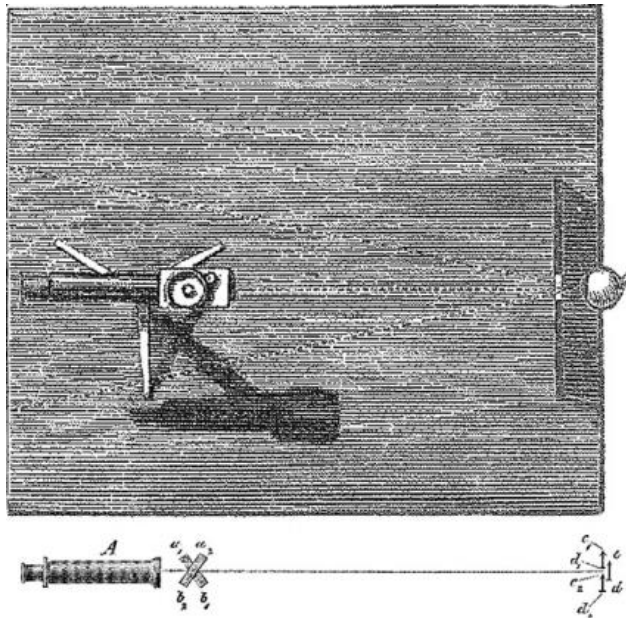
El queratòmetre era originalment conegut com oftalmòmetre i va tenir els seus orígens en la recerca de com funcionava l'acomodació de l'ull, es pensava que l'acomodació provenia de la còrnia. Tot i que la còrnia és responsable de la major part de la refracció de l'ull no té res a veure amb la acomodació. Des de llavors i a partir d'aquells primers fonaments òptics el queratòmetre s'ha anat reinventant nombroses vegades amb millores i modificacions fins a l'actualitat.

Al 1779 Jesse Ramsden i Everard Home van voler mesurar la curvatura de la còrnia sostenint la idea de que la còrnia era la responsable de l'acomodació. Per fer-ho van utilitzar un telescopi que examinava una imatge doble reflectida sobre la superfície de la còrnia, això els hi va permetre concloure que no hi havia canvis significatius en la curvatura durant l'acomodació.

Aquests primers intents en mesurar la curvatura corneal es feien amb regla i compàs però l'exactitud dels mètodes no era suficient. El primer pas important que va conduir fins a la creació del queratòmetre que coneixem, va ser utilitzar el reflex corneal amb objectes que es poguessin mesurar exactament un cop reflectit.

Aquest problema ja havia sigut estudiat per els astrònoms que intentaven mesurar la mida d'estrelles, com ara el sol, i les distàncies entre estrelles. Per resoldre-ho utilitzaven fils sobre la imatge plana del telescopi que podien mesurar directament i els alineaven amb dos punts dels quals volien mesurar la distància. És precisament aquesta mateixa tècnica la que van utilitzar Jesse Ramsden i Everard Home a la còrnia, encara que hi havia inexactituds provocades per petits moviments del cap i dels ulls.

No va ser fins al 1854 que es van resoldre aquestes inexactituds, Hermann von Helmholtz va dissenyar un aparell que desplaçava les imatges mitjançant plaques de vidre mòbils (imatge x) fins que les extremitats de les imatges es toquessin, el desplaçament total entre les dues plaques ens donava la mida de la imatge.



Il·lustració 2 Oftalmometre de Von Helmholtz extret de (12)

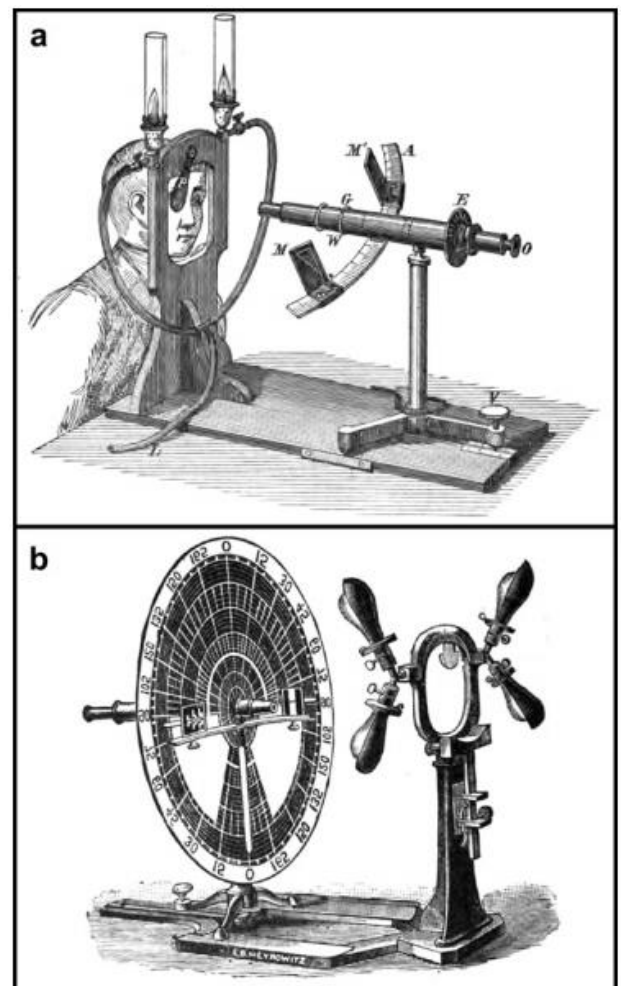
El primer queratòmetre va ser dissenyat en base a dos principis fonamentals:

1. Suposant que la còrnia és una superfície esfèrica reflectora, el radi de curvatura de la còrnia pot ser calculat mitjançant el reflex corneal d'un objecte de mida coneguda i a una distància determinada de la còrnia.
2. Una mesura exacta de la mida de la imatge inclús amb una mica de moviment de l'ull i el cap pot ser determinada utilitzant el concepte d'imatge duplicada. Perquè les imatges duplicades es mouen conjuntament, el moviment de ulls i cap tenen un efecte idèntic en les dues imatges i no afecten a la mesura.

A partir del queratòmetre dissenyat per Hermann von Helmholtz van sorgir altres dissenys alternatius que buscaven millorar el funcionament del queratòmetre encara que els principis bàsics es van mantenir.

Entre els dissenyadors posteriors, mereixen especial menció Lous Emile Javal i August Schötz que al 1881 van convertir el disseny original de Helmholtz, que estava més enfocat com a aparell de laboratori, en un aparell amb una utilització més fàcil per a la pràctica clínica. El seu disseny incorporava mires il·luminades frontalment, primerament per espelmes i més tard per bombetes, en comptes de ser retroiluminades per tal de crear uns reflexes més clars a la còrnia. Això va permetre que el queratòmetre pogués rotar al voltant del seu eix per poder mesurar la curvatura de la còrnia en múltiples meridians.

El disseny original de Helmholtz i les modificacions posteriors van permetre als oftalmòlegs i als científics utilitzar el queratòmetre per nombroses aplicacions, en particular el descobriment de la mesura de l'astigmatisme corneal.



Il·lustració 3: Queratòmetres de Javal-Schiotz
(a) Queratòmetre original Javal-Schiotz il·luminat frontalment per espelmes (b) Disseny posterior del queratòmetre Javal-Schiotz il·luminat per bombetes elèctriques. Extret de: (12)

Encara que els aparells per mesurar la topografia i la potència corneal hagin esdevingut tant emprats en les clíniques i consultes oftalmològiques i òptiques, l'origen de molts d'aquests instruments es remunten als finals del segle XIX. Molts dels topògrafs actuals estan basats en els principis del disc de Plácido, al 1880 Antonio Placido va descriure l'ús d'un disc pintat per cercles concèntrics blancs i negres i un forat just en el centre amb una lent positiva per tal de que l'observador pogués mirar a través. La reflexió d'aquests cercles concèntrics en la superfície de la còrnia del pacient va donar a l'examinador una estimació qualitativa de la perifèria de la còrnia.



Il·lustració 4 Disc de Plácido. Extret de: (12)

Actualment existeixen instruments de mesura i tècniques més sofisticades que han sigut introduïdes i han tingut el potencial de substituir la pràctica tradicional del queratòmetre per a segons quines tasques en clínica. Aquestes noves tècniques inclouen la topografia corneal, la tomografia de coherència òptica i sistemes basats en Scheimpflug, que utilitzen freqüències molt elevades (very high frequency: VHF) de ultrasons. Les principals avantatges de les tècniques més noves són l'automatització, una àrea més extensa de mesura i una precisió molt més elevada, tot i que en molts casos aquestes mesures són obtingudes amb el mateix principi del disc de Plácido. Tot i així el queratòmetre és molt utilitzat en l'adaptació de lents de contacte.

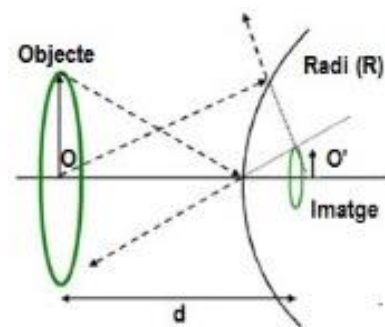
4. Instruments de mesura de paràmetres corneals en l'actualitat

4.1 Queratòmetre: definició i principis òptics

El queratòmetre és un instrument de diagnòstic clínic que mesura la curvatura de la superfície anterior de la còrnia, considerant aquesta com un mirall esfèric convex. El principi òptic de tots els queratòmetres està basat en una sola equació (12):

$$R = 2d \frac{O'}{O}$$

Aquesta equació relaciona la mida de l'objecte (O), la mida de la imatge (O'), la distància entre l'objecte i la superfície reflectant (d) i el radi d'aquesta superfície que reflecteix la imatge (R).



Il·lustració 5: Principi òptic del Queratòmetre

4.1.1 Tipus de Queratòmetres

En la queratometria, l'objecte (O), que pot estar format per dos mires separades o dos punts a distàncies diferents en una mateixa mira, es reflecteix sobre els 3-3,5 mm centrals de la còrnia. La mesura del radi corneal s'aconsegueix gràcies a un sistema òptic duplicador on l'observador ha d'alinejar les imatges de les mires reflectides a la còrnia. Es diferencien dos tipus de queratòmetres depenent de com són les mires:

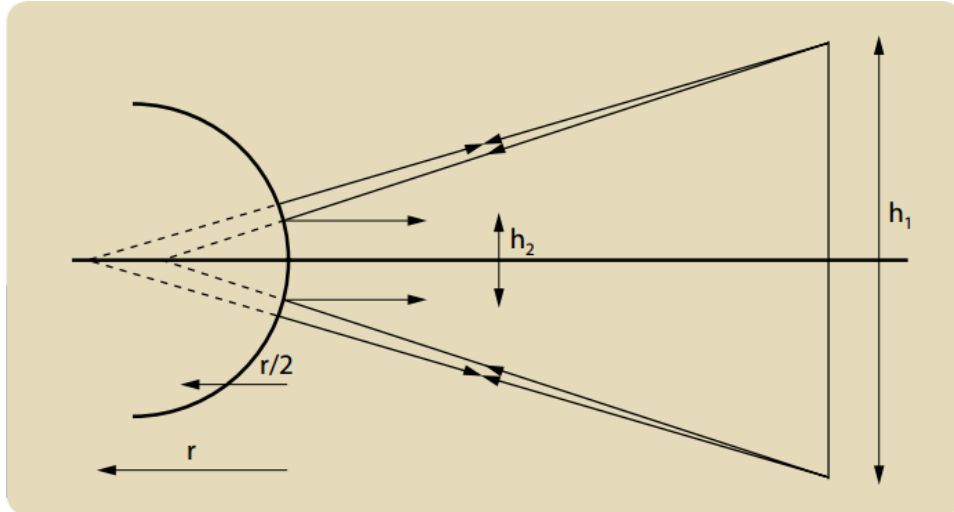
4.1.1.1 Mires Mòbils i Sistema duplicador Fixe

Queratòmetre de Javal-Schiötz: és el primer tipus de queratòmetre, on el sistema duplicador és fixe i el que es varia és la distància entre les mires (h_1 en la il·lustració 7) mecànicament. Quan aquestes dues mires es troben alineades s'agafa la mesura amb l'escala de cada queratòmetre. Els queratòmetres que porten incorporat el sistema duplicador fixe les mesures s'han d'agafar en dos passos ja que només es pot mesurar un dels meridians a la vegada. Primer es mesura un dels meridians principals i posteriorment



Il·lustració 6 Queratòmetre Javal-Schiötz, detall de les mires mòbils. Extret de (12)

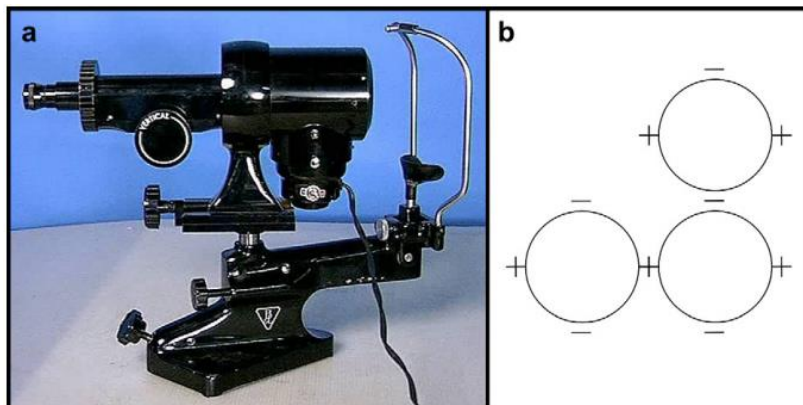
l'altre encara que la diferència d'aquests dos meridians sigui diferent de 90 graus. Amb els queratòmetres Javal-Schiotz els resultats de les mesures es troben expressats tant en diòptries com en mil·límetres simultàniament.



Il·lustració 7: Principis del queratòmetre Javal-schiotz. Extret de (7)

4.1.1.2 Mires Fixes i Sistema duplicador òptic mòbil

Queratòmetre de Bausch and Lomb: per tal d'aconseguir el valor del radi aquests tipus de queratòmetres porten incorporat un sistema duplicador d'imatge variable. En un sistema duplicador variable la mida de l'objecte és constant i s'utilitzen prismes per produir una doble imatge simultàniament per cada un dels meridians, això ens permet mesurar el radi dels dos meridians alhora un cop estiguin les imatges alineades. Aquest tipus de queratòmetres ens donen les mesures en diòptries únicament.



Il·lustració 8: Queratòmetre Bausch & Lomb (a) amb les mires per mesurar simultàniament els dos meridians principals (b). Extret de (12)

4.1.2 Índex de refracció del Queratòmetre

La còrnia té un índex de refracció igual a 1.376 (n_{corneal}), tot i que en la pràctica de la queratometria s'assumeix que la còrnia és una esfera amb un índex refractiu igual a 1.3375 ($n_{\text{queratòmetre}}$), és possible que ens trobem amb petites variacions ja que aquest valor depèn del disseny de cada queratòmetre.

Aquest índex de refracció de la còrnia per als queratòmetres, lleugerament inferior a l'índex corneal real, té com a objectiu compensar el poder refractiu negatiu de la superfície posterior de la còrnia i d'aquesta manera evitar errors de mesura.

Amb els queratòmetres tipus Bausch and Lomb el resultat de la mesura ve donada per diòptries, aquesta unitat resulta poc pràctica parlant de radis i s'acostuma a parlar sempre amb mil·límetres. Per tal de fer aquesta conversió i relacionar la curvatura en potència (diòptries), el $n_{\text{queratòmetre}}$ i el radi corneal en mil·límetres s'utilitza la següent equació (7) :

$$r_c(mm) = \frac{(n_{\text{queratòmetre}} - 1)}{P(D)}$$

Entendre, mesurar i fer un seguiment de la curvatura corneal són tasques vitals en la pràctica de l'adaptació de lents de contacte. Encara que el queratòmetre ens dona mesures acurades de la curvatura central corneal, avenços més recents en la queratoscòpia ens permeten una informació molt més extensa de la curvatura corneal dels quals parlarem més endavant.

Les indicacions per a la una queratometria són:

- Qualsevol tipus de avaluació de lents de contacte: saber quins són els radis adequats de les lents de contacte per la primera adaptació, a part de valorar qualsevol tipus de canvi que hagi pogut ser induït.
- Adaptació de lents de contacte rígides gas permeable (RPG): mesures per corroborar la lent de contacte d'elecció inicial.
- Determinar l'eix de l'astigmatisme corneal: necessari per a l'adaptació de lents de contacte tòriques o per valorar el grau i l'eix de l'astigmatisme en la pràctica optomètrica
- Mesures no invasives del temps de ruptura llagrimal (NIBUT).
- Seguiment de moltes patologies corneals.

4.2 Paquimetría Corneal

La paquimetría corneal és la mesura del gruix corneal. La paquimetría era utilitzada tradicionalment per estimar el estat funcional de l'endoteli. Més recentment amb la demanda de tècniques quirúrgiques refractives, la paquimetría corneal és necessària per determinar candidats vàlids per tot tipus d'ablacions corneals. A més, el valor del gruix central de la còrnia (CCT) com un indicador de risc independent de glaucoma per l'estudi del tractament d'hipertensió ocular (Ocular Hypertensive Treatment Study, OHTS) (6) ha fet que la paquimetría corneal sigui una rutina que forma part de la pràctica clínica oftalmològica sobretot en pacients que pateixen hipertensió ocular i glaucoma.

Existeixen diverses tècniques per obtenir mesures acurades de gruix corneal, la metodologia d'aquestes tècniques esta basada en principis òptics o ultrasònics. Mentre que cadascun dels mètodes són força diferents, tots els resultats de les mesures han sigut descrits com a resultats vàlids, encara que s'ha de tenir en compte que les diferències sistemàtiques que existeixen entre les diferents tècniques provoca petites variacions en els resultats.

4.2.1 Paquímetre d'ultrasons

- Paquimetría d'ultrasons tradicional: té com a avantatges la portabilitat i el relatiu fàcil ús. Aquests sistemes de contacte secs són simples, de fàcil transport i un cost reduït. La precisió per una altra banda depèn de la perpendicularitat de la sonda. La biomicroscòpia d'ultrasons (10-20MHz) i la de ultrasons de molt alta freqüència(50MHz) tenen la desavantatge de requerir estar submergits en aigua però ens permeten la determinació de les capes de la còrnia amb detall i la paquimetría.

Alguns paquímetres ens donen més resultats a part del gruix corneal central, com per exemple el Reichert IOPac, que porta incorporat una calculadora de risc per patir glaucoma. Aquesta eina ajuda als professionals de la salut a identificar el progrés en 5 anys del risc d'un pacient per patir glaucoma, basat en els 6 factors de risc identificat per l'estudi OHTS (6): edat, raça, pressió intraocular, el patró estàndard de desviació, ratio entre copa i disc i el gruix corneal central.



 Reichert
Optometric Instruments

Il·lustració 9: Paquímetre d'ultrasons Reichert IOPac amb calculadora de risc de glaucoma. Extret de (10)

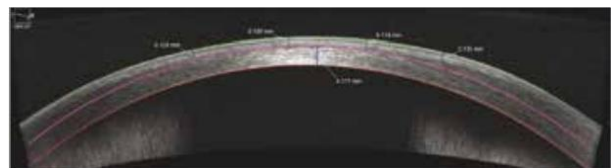
4.2.2 Tècniques òptiques

Tècniques òptiques d'estimació

- Paquímetre muntat sobre la làmpada de fenedura: per tal de mesurar el gruix corneal l'observador alinea la superfície anterior de la còrnia amb l'endoteli mitjançant un sistema de doblament de la imatge. El gruix corneal és estimat utilitzant una equació basada en principis de l'índex de refracció i el radi anterior de la còrnia. Aquestes variables juntament amb la habilitat de l'examinador per efectuar les mesures són els desavantatges més importants d'aquesta modalitat de paquimetria. Aquesta tècnica s'utilitza per estimar el gruix corneal. La precisió de mesura depèn en gran part de la traça de l'examinador.

Tècniques òptiques de precisió

- La microscopia especular: és un mètode òptic que registra la llum reflectida d'una interfase, sent aquesta interfase l'epiteli corneal, l'estroma o l'endoteli. El SP-2000P microscopi especular (Topcon Corp.) és un microscopi especular que ens proporciona la paquimetria i microscòpia especular simultàniament sense necessitat de contacte.
- Tomografia de coherència òptica (OCT): Juntament amb la reflectometria òptica de baixa coherència (OLCR) són tècniques que sense requerir el contacte també ens permeten mesurar la paquimetria, amb una precisió de micres. Tant l'OCT com l'OLCR utilitzen la interferometria òptica, aquesta tècnica està basada en enviar raigs de llum al teixit que estiguem avaluant per tal d'obtenir la imatge i l'estructura interna, s'aconsegueix mesurant el retard del reflex lluminós al trobar-se amb les microestructures. Aquestes tècniques ens permeten discernir amb molt detall les diferents capes corneals, i en ocasions és l'única tècnica que ens permeten fer mesures en còrnies patològiques.
- Pentacam Scheimpflug: és una altra tècnica òptica sense contacte que utilitza una càmera de Scheimpflug per capturar imatges del segment anterior i posterior de l'ull, gràcies a la topografia de ambdós cares i mitjançant complicats algorismes ens permet mesurar el gruix corneal de limbe a limbe. La precisió de les mesures també és de micres. Aquesta tècnica és explicada més detalladament conjuntament amb la resta de topògrafs.



Il·lustració 10: secció corneal feta amb CIRRUS HD-OCT 5000/500 amb la tecnologia HD cornea scan de Zeiss. Extret de (25)

4.3 Topografia corneal

La topografia corneal és una tècnica que determina la forma i les dimensions d'una còrnia i les representa gràficament sobre un pla (2D) per tal de comprendre totes les mesures agafades. Els topògrafs són molt utilitzats en la pràctica diària clínica per a adaptar lents de contacte, fer seguiments topogràfics a pacients, cirurgia de cataractes i avaluacions postoperatòries.

4.3.1 Tipus de Topògrafs

Existeixen diferents tipus de topògrafs depenent del principi en el qual estan basats:

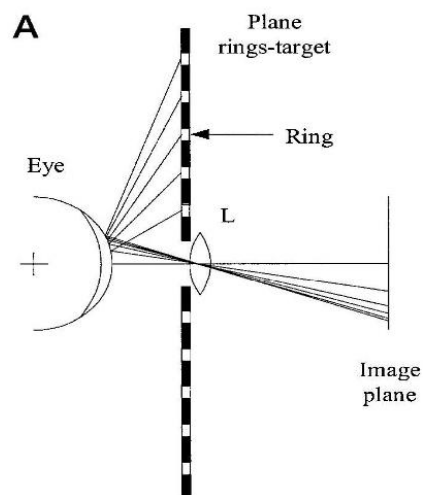
1. Reflexió especular
2. Topografia basada en la elevació
 - Topògrafs basats en imatges de Scheimpflug
 - Topografia de escaneig de fenedura (slit-scanning topography)

4.3.1.1 Topografia basada en la Reflexió Especular

Sistemes de discs de Plácido: projecten una sèrie d'anells concèntrics sobre la superfície anterior de la còrnia. La forma de la còrnia o la curvatura es mesurada directament en diòptries de curvatura analitzant milers de punts dels anells i el càlcul està basat en esferes precal·librades. Aquests tipus de topògrafs no són capaços de mesurar l'elevació sinó que deriven la mesura de l'elevació a partir de la reconstrucció de les curvatures de la cara anterior a partir de sofisticats algorismes.

Existeixen diversos dissenys de discs de Plácido entre els sistemes topogràfics:

- Representats en un pla: és el mètode menys utilitzat ja que es requereix un disc molt gran per projectar un mínim número de discs a la còrnia.



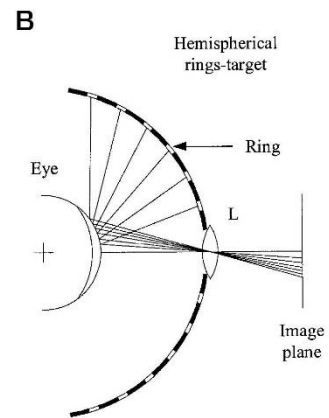
Il·lustració 11 Disc de Plácido representat en un pla. Extret de: Ampliació de tècniques diagnòstiques UPC

- Representats en un hemisferi: aquest mètode permet representar un número de discs més gran a la còrnia sense necessitar un test de dimensions tant grans. Dintre dels dissenys de topògrafs que representen els discs de Plácido en un hemisferi podem trobar-ne de con petit o de con gran. Els topògrafs de con petit projecten més anells a la còrnia i tenen una distància de treball més petita que els de con gran. De la mateixa manera els sistemes de con gran utilitzen una distància de treball més gran i projecten un menor número d'anells.

Els sistemes de discs de Plácido ens proporcionen molts punts de mesura i són un dels sistemes més utilitzats en l'estudi de la topografia corneal.

Exemples de sistemes topogràfics de con petit: E the Medmont E300 (Medmont), Scout and Keratron (EyeQuip), Magellan Mapper (Nidek).

Exemples de sistemes topogràfics de con gran: ATLAS 995 i 9000 (Carl Zeiss Meditec) i ReSeeVit (Veatch Ophthalmic Instruments)



Il·lustració 12: Discs de Plácido representats en un hemisferi Extret de: Ampliació de tècniques diagnòstiques UPC

4.3.2.1 Topografia basada en la elevació

Els topògrafs d'escaneig de fenedura (Slit-scanning) o de elevació (elevation devices), mesuren directament i de manera simultània l'elevació de la cara anterior i posterior de la còrnia. La topografia real amb imatges implica forma i requereix valors de X, Y i Z en un sistema de coordenades. Aquests tipus de topògrafs processen la mesura de l'elevació en diferents punts de la cara anterior i posterior de la còrnia. Aquesta mesura és posteriorment analitzada i a través de sistemes computeritzats s'extreu informació sobre la potència en diòptries d'ambdós cares de la còrnia i el gruix corneal o paquimetria en micres.

Topògrafs de escaneig de fenedura o "slit-scanning"

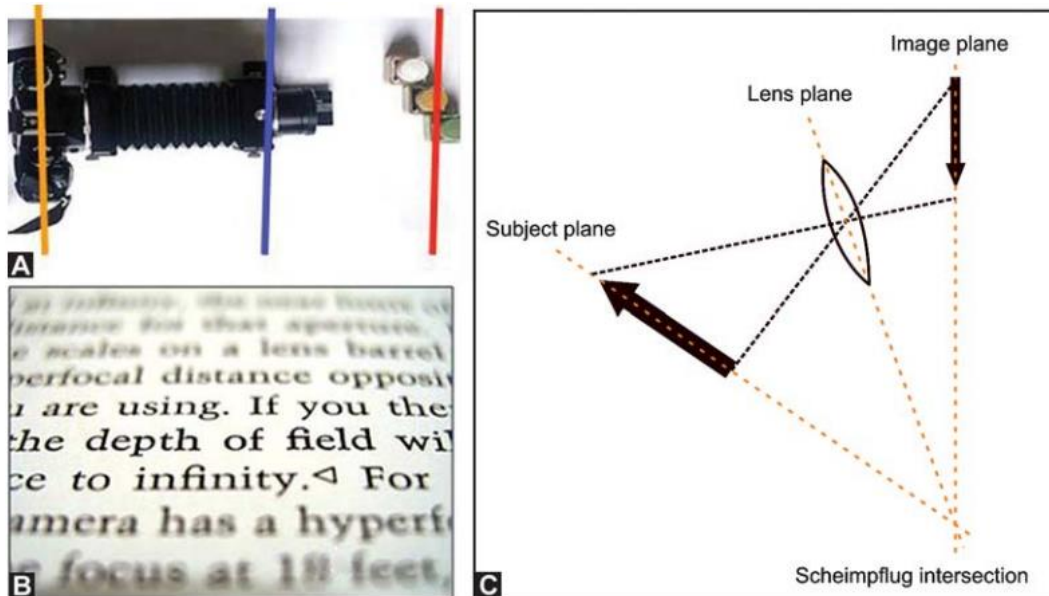
Els topògrafs que utilitzen l'escaneig de fenedura o "slit-scanning" també utilitzen la tecnologia de disc de Plácido, d'aquesta manera s'unifiquen els resultats extrets i s'obté una mesura més acurada. Actualment només existeix un tipus de topògraf que incorpora aquesta tecnologia híbrida al mercat, l'Orbiscan (Bausch & Lomb).

Primer es mesura la elevació de la superfície per triangulació d'escaneig de fenedura, a continuació es mesura les direccions normals de la superfície utilitzant reflexió per perspectiva i finalment s'unifiquen tots els resultats per obtenir una mesura el més acurada possible.

Topògrafs basats en imatges de Scheimpflug

Els topògrafs basats en el principi de Scheimpflug agafen imatges del segment anterior amb una càmera perpendicular a un sistema d'il·luminació en fenedura, creant una secció òptica de la còrnia i del cristal·lí. Aquests topògrafs estan basats en el principi de Scheimpflug. El principi de Scheimpflug, descriu una condició òptica per agafar imatges, aquesta condició permet recollir la màxima informació d'un objecte obliquament inclinat amb la màxima profunditat de focus i la mínima distorsió. És una regla geomètrica que descriu l'orientació del pla focal d'un sistema òptic (com una càmera) quan la pla de la lent no és paral·lel al pla imatge. Normalment el pla de la lent, el pla focal i el pla imatge (sensor) d'una càmera es troben paral·lelament un de l'altre (A). Si un objecte pla també es troba de forma paral·lela al pla d'imatge pot coincidir amb el pla focal i tota la imatge pot estar renderitzada amb bona qualitat, el contrari passa quan el pla de l'objecte no és paral·lel al pla d'imatge, només es trobarà enfocat al llarg d'una única línia (intersecció entre el pla focal i el pla objecte (B).

Quan una tangent obliqua és allargada del pla imatge i una altra del pla de la lent, coincideixen en una línia on el pla focal també passa. Aquesta línia és la denominada línia de Scheimpflug (C), i en aquesta condició, un subjecte pla que no es troba paral·lel amb el focus imatge pot estar completament enfocada. Aquest principi es troba aplicat en oftalmologia i òptica per tal d'obtenir seccions òptiques del segment anterior de l'ull.



Il·lustració 13 (A) El pla de la lent i de la imatge d'una càmera amb disseny clàssic, (B) El pla de l'objecte no es paral·lel al pla de la imatge, l'imatge només és enfocada al llarg d'una línia. (C) En una càmera de Scheimpflug, el pla d'objecte, el pla de la lent i el pla d'imatge intersequen al punt de focus. Aquesta línia és anomenada línia de Scheimpflug. Extret de (18)

Les imatges agafades durant l'exàmen són digitalitzades i són transferides a un ordinador. Quan finalitza l'examen l'ordinador calcula un model virtual tridimensional del segment anterior d'on deriva la resta d'informació. Aproximadament 25.000 punts són utilitzats per calcular el gruix corneal, la curvatura, l'angle de la cambra anterior, volum i l'altura. També es quantifica el grau d'opacitat en la còrnia i en el cristal·lí. Actualment s'utilitzen càmeres individuals o duals rotacionals de Scheimpflug per fer mesures clíniques del segment anterior.

En el Pentacam (Oculus, Lynwood, WA), un topògraf amb una càmera de Scheimpflug rotacional triga un màxim de 2 segons per generar una imatge completa del segment anterior. Qualsevol moviment de l'ull és detectat per una segona càmera i corregit immediatament durant el procés. Un model tridimensional és calculat a partir de 25.000 punts d'elevació real.

El Galilei (Ziemer USA, Wood River, IL) és un altre exemple de topògraf que porta incorporada la tecnologia de Scheimpflug, en aquest cas porta incorporada una càmera dual i a més un sistema de disc de Plácido per tal de millorar la precisió de la mesura. De la mateixa manera que el Pentacam s'obté un model tridimensional del segment anterior que es calcula a partir de molts punts d'elevació real.

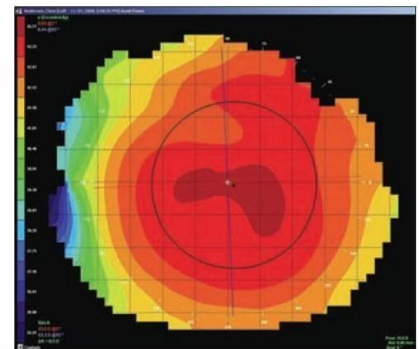
4.3.2 Resultats obtinguts i mapes topogràfics

Posteriorment d'haver fet l'examen topogràfic els resultats són representat per mapes i models de la còrnia en 3 dimensions. També s'utilitza una escala de color avançada per tal d'identificar les dades de curvatura en els diferents punts i poder-ho visualitzar i estudiar d'una manera molt més còmode. Les àrees amb una curvatura més pronunciada són representades amb colors més càlids com vermell i taronja, en canvi les àrees amb curvatures menys pronunciades són representats amb colors més freds com el verd i el blau. Els topògrafs expressen els mapes de colors en escala "absoluta" i "normalitzada", i les escales de colors sempre es troben representades en el marge del mapa corneal topogràfic. L'escala absoluta o estàndard representa un rang fixe de curvatures independentment del mapa seleccionat, en canvi la normalitzada representa un rang de curvatura o poder diòptric de mapes específics que vulguem seleccionar.

Definició dels mapes

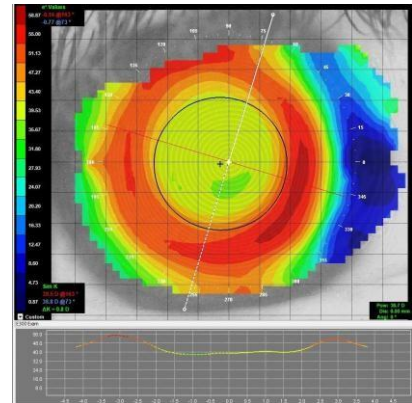
Mapa Axial: és el més utilitzat de tots ja que la curvatura axial està directament relacionada amb el poder diòptric corneal. Aquest mapa ens permet relacionar la superfície anterior amb l'estat refractiu del pacient. Els mapes axials també ens proporcionen informació sobre l'eix i el canvi de curvatura o potència de l'astigmatisme.

Com es pot apreciar en la il·lustració 14, es tracta d'un mapa axial d'una còrnia esfèrica ja que la curvatura és força consistent al voltant de la zona pupil·lar (marcada en negre) i concèntricament es va fent menys corbada a mesura que ens allunyem del centre. En casos de patologies corneals com el queratocon l'àpex corneal es troba descentrat de l'eix visual, això queda reflectit en els mapes topogràfics i ens pot ajudar a entendre cassos on l'agudesesa visual no és gaire bona.



Il·lustració 14 Mapa Axial de la còrnia. Extret de (27)

Mapa Tangencial: Aquest mapa defineix tots els canvis petits en la curvatura de la còrnia. Es divideix la còrnia en diferents anells i es representa la mesura de la curvatura en un cert punt de la superfície corneal en una direcció tangencial als altres punts al mateix anell. Els mapes tangencials ens donen una informació més detallada de la forma corneal i proporcionen una visió més clara de la mida i forma del con en cassos de queratocon. L'habilitat per mesurar la mida del con és molt important a l'hora de determinar el disseny de la lent de contacte ideal i la mida de la zona òptica

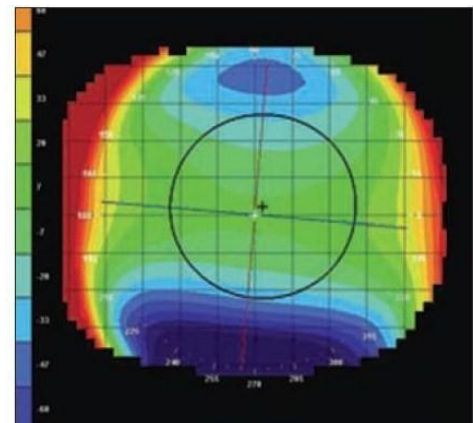


Il·lustració 15 Mapa tangencial de la còrnia. Extret de (27)

Mapa Refractiu: Aquest mapa ens proporciona una interpretació de la qualitat de visió que un pacient pot arribar a tenir gràcies a la seva superfície corneal i a través de la zona pupil·lar. En oftalmologia no s'utilitza normalment el mapa refractiu ja que no dona informació sobre la curvatura, mida i forma de la còrnia, encara que en el món optomètric aquest mapa pot ser molt efectiu a l'hora d'interpretar l'agudesa visual dels pacients.

Mapa d'elevació: defineix l'altura de la còrnia agafant com a referència el radi de curvatura que millor s'ajusta a la mitjana de curvatura del mapa. Les topografies de disc de Plácido no mesuren elevació, sinó que donen informació de l'elevació a partir de reconstruccions fetes amb la curvatura mesurada mitjançant complicats algorismes. Els mapes de elevació mesuren l'altura corneal en micres.

La elevació corneal a sobre de la esfera de referència és mesurada en micres positives i apareix representada de color vermell, de manera contrària l'elevació que està per sota es troba representada de color blau.



Il·lustració 16: Mapa d'elevació. Extret de (27)

Altres mesures que podem extreure de la topografia

Radi apical: la zona apical és l'àrea al voltant de l'apex corneal, on el poder refractiu és el més constant. L'apex corneal no sempre coincideix amb el centre geogràfic o vèrtex de la còrnia. El radi apical és definit com el poder refractiu de la còrnia a l'apex.

Valor de l'altura Sagital: el valor corneal de l'altura sagital (z-value), no està disponible en tots els topògrafs i és una mesura en mil·límetres o micres de la distància entre el centre geomètric de la còrnia i la intersecció de una llargada específica per a cada topògraf. (y-value).

Diàmetre Horitzontal de l'Iris Visible (DHIV): la majoria de topògrafs són capaços de mesurar el diàmetre corneal i anomenar aquesta mesura com a DHIV. Les unitats estan en mil·límetres i normalment són generades automàticament, encara que hi ha topògrafs que requereixen una mesura manual.

Mida de la Pupila: els topògrafs automàticament generen una mida de pupila mesurat. Encara que no tots els instruments ofereixen mesures en condicions fotòpiques (amb llum) i escotòpiques (sense llum).

Índex

Excentricitat (e): existeixen diverses interpretacions matemàtiques de la forma de la còrnia. Una d'aquestes és l'excentricitat i mesura el índex de aplanament de l'apex fins a la perifèria sobre específics eixos. Còrnies que s'aplanen ràpidament del centre cap a la perifèria tenen valors alts de excentricitat, i aquelles que s'aplanen d'una manera menys exagerada tenen valors més baixos de excentricitat.

Factor de forma (e^2): és una mesura de la asfericitat corneal i una derivació de l'excentricitat. El factor forma ens diu quant i com s'aplana perifèricament la còrnia.

Índex I-S: és una mesura de la diferència entre la mitja de la potència inferior i la mitja de la potència superior de la còrnia. L'índex (ratio) de diferència entre aquestes dues mesures és el valor I-S i s'expressa en diòptries. Un valor positiu de I-S significa que la potència de la part inferior de la còrnia és més alta que la superior.

Finalment i després de haver vist tota la informació que ens aporten els topògrafs, es pot dir que el topògraf és una eina molt potent degut a totes les mesures i avantatges que proporciona respecte altres instruments com ara el queratòmetre que únicament dóna el valor de la curvatura corneal central. Tot i així, la gran quantitat d'informació que ens dona amb les mesures s'ha de saber interpretar de manera rigorosa per obtenir el màxim benefici d'aquest instrument.

4.4 Tomografia de coherència òptica OCT

La tomografia de coherència òptica (Optical coherence tomography-OCT) és una tècnica de diagnòstic per imatge, que ens permet obtenir imatges tomogràfiques de teixits biològics amb una resolució elevada. Es caracteritza per la realització de talls transversals micromètrics mitjançant la llum sobre el teixit a estudiar. La OCT és especialment útil en la oftalmologia donada la facilitat amb la que la llum arriba a totes les estructures oculars del segment anterior i posterior. Encara que l'OCT s'utilitzi cada cop més per l'estudi del segment anterior i de la papil·la en el glaucoma, la retina i, especialment, la màcula continuen sent l'objectiu principal en la seva aplicació. Les imatges tomogràfiques obtingudes permeten el diagnòstic de patologies difícils d'identificar oftalmoscòpicament.



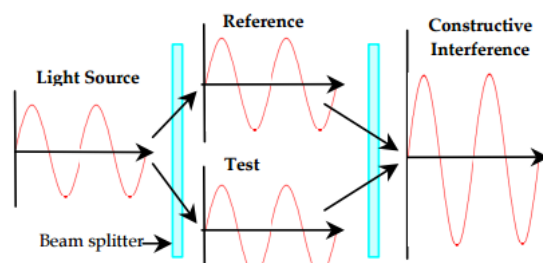
Il·lustració 17 Instrument de tomografia de coherència òptica de la casa Carl Zeiss. Extret de (25)

4.4.1 Bases del funcionament

El funcionament de la OCT és similar a la dels sistemes ecogràfics. La diferència es troba en el tipus d'ona emprada. En l'ecografia s'utilitzen els ultrasons per poder visualitzar les estructures intraoculars i mesurar les distàncies entre elles. Pel contrari, les tècniques òptiques d'imatge com la OCT es basen en la utilització de la llum, el que permet obtenir una resolució de les imatges 10 vegades superior a les ecogràfiques. La desavantatge principal d'aquesta tècnica és que la llum es reflecteix o és absorbida gairebé en tota la seva totalitat per la majoria de teixits biològics. Conseqüentment la OCT es limita als òrgans accessibles òpticament, per això representa un mètode ideal en l'oftalmologia.

L'OCT es basa en la interferometria. La interferometria és la superposició de dos fronts d'ona monocromàtics i coherents. Per tal d'utilitzar la superposició d'ones utilitzant una única font d'ona, s'utilitza un sistema òptic duplicador per crear dos ones.

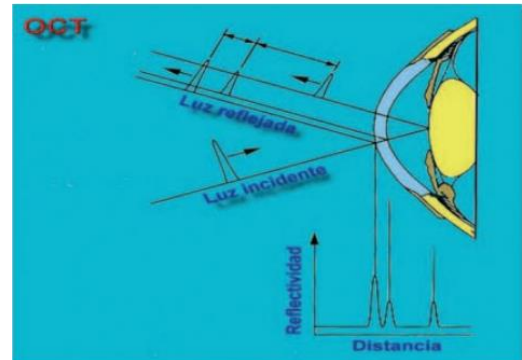
Normalment en un interferòmetre una ona és partida en dos parts, les quals viatgen per camins diferents i finalment convergeixen a un punt on es crea la interferència. Quan la interferència entre els dos fronts d'ona té lloc, la intensitat en la regió on es superposen varia en cada punt, des



Il·lustració: 18 Interferometria, partició d'una mateixa ona en dos i interferència final (constructiva en aquest cas). Extret de (18)

de un valor màxim fins a un mínim depenent de la fase. La còrnia actua com a un mirall convex.

En la OCT, un raig de llum és dirigit al teixit del qual es vol obtenir la imatge i la estructura interna és mesurada de forma no invasiva, mesurant el retard en l'eco de la llum al ser reflectida en les microestructures (1). S'aconsegueix realitzant mesures axials successives en diferents posicions transverses entre elles. La informació final és mostrada com una imatge topogràfica bidimensional.

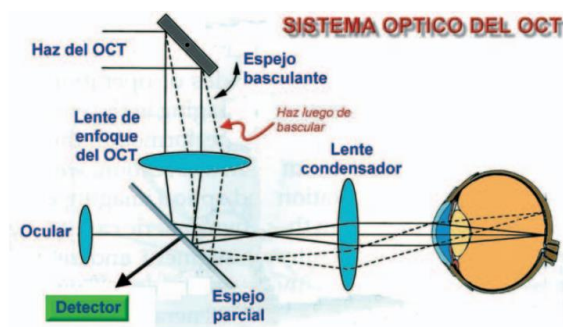


Il·lustració 19. (1) Traçat de raigs del OCT i relació amb la reflectivitat i distància entre estructures. Extret de (13).

El principi de la interferometria de baixa coherència en la que es basa és un mètode que pot ser emprat per mesurar distàncies amb una alta precisió, mesurant la llum reflectida des dels teixits. La llum esta composta per un camp elèctric i magnètic que oscil·la i varia periòdicament en un temps i espai.

La llum es propaga a una velocitat que varia en funció del medi en el que es troba. Quan combinem dos raigs de llum es pot observar el fenomen de la interferència: els camps de ambdós raigs es podran addicionar constructiva o destructivament en funció de la fase relativa de les seves oscil·lacions (adició en fase o fora de fase, respectivament).

L'interferòmetre òptic suma dues ones electromagnètiques en dos raigs de llum: el de referència i el de senyal. Els raigs es recombinen i el resultat arriba al detector, que mesurarà la seva potència. Si es varia la posició del mirall de referència, podrem mesurar els reflexes de la llum que viene de les diferents estructures oculars que estiguem estudiant (2).

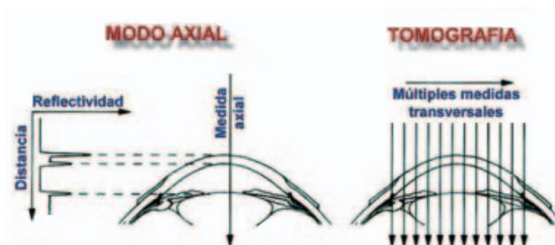


Il·lustració 6 (2) Sistema òptic en el que esta basat la OCT. Extret de (13)

L'Interferòmetre de Michelson esta format per una font de llum, un divisor de feixos, un mirall de referència i un detector. El primer és un làser de díode que emet un feix lluminós de banda ampla en l'espectre de l'infraroig (820 a 830 nm, segons la generació de l'equip). Aquest feix es divideix en dos en el divisor, un dels feixos anirà al mirall de referència que es troba a una distància coneguda, i l'altre a la retina. A continuació es compara la llum reflectada de la retina amb la llum reflectada pel mirall

de referència, i quan ambdós reflexes coincideixen en el temps, es produeix el fenomen de la interferència que és captat pel detector.

Com es coneix la distància a la que es troba el mirall de referència, es pot determinar la distància a la que està l'estructura que estiguem estudiant (Pol anterior en el nostre cas), ja que l'estructura ha generat un reflexe que coincideix o no amb el reflexe que prové del mirall de referència. Es realitza una gràfica amb les diferents distàncies rebudes pel fenomen de la interferència i s'obté una imatge en sentit axial (A-scan). El registre repetit de múltiples A-scan contigus i la seva alineació apropiada permet contruir una imatge bidimensional (la tomografia) (3).

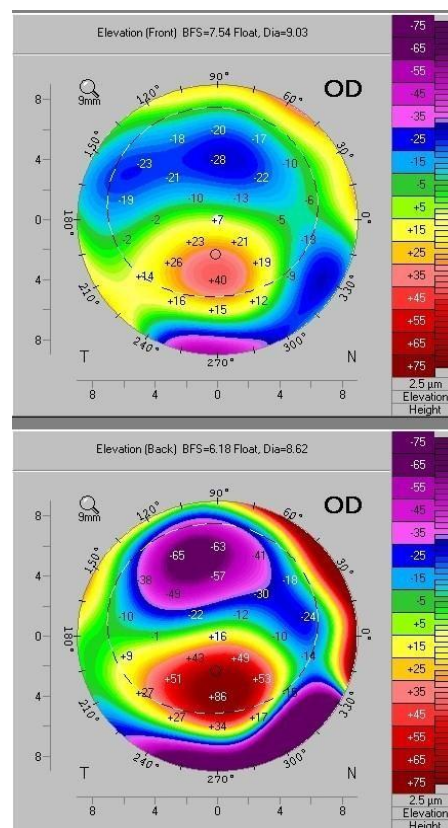


Il·lustració 217 (3) Esquema de la forma en que el tomògraf realitza les diferents mesures transversals i la diferència amb la ecografia. Extret de: Extret de (13)

Aquesta tècnica està limitada per opacitats dels medis oculars, com la hemorràgia de vitri, cataracta o turbidesa vítria. Però en canvi no està afectat per aberracions oculars o pupil·la poc dilatada.

Gràcies a que la OCT ens permet observar estructures amb molt bona qualitat i exactitud podem mesurar la elevació de les cares de la còrnia, tant anterior com posterior. La OCT representa la elevació de les cares de la còrnia amb mapes de colors, d'una manera semblant als topògrafs. Els mapes de elevació que s'extreuen amb la OCT s'anomenen "float maps" o mapes flotants(4) . S'anomenen d'aquesta manera perquè es compara la còrnia amb l'esfera que més s'ajusta a la mitjana de curvatura de tota la còrnia, encara que a diferència dels topògrafs aquesta esfera no té un centre fixe sinó que "flota". La distància entre la còrnia i l'esfera de referència és optimitzada perquè sigui la més petita possible. A part del "float map" la OCT també ens permet extreure la mesura del gruix corneal o paquimetria, a partir de les mesures de ambdós cares de la còrnia.

Una altra valoració que ens permet fer la OCT del pol anterior és l'estudi de l'angle camerular. L'estudi d'aquest angle és de vital importància per a pacients amb glaucoma o risc de glaucoma.



Il·lustració 23: "float map" de la OCT. Extret de (27)

5. Comparació i fiabilitat de les mesures

Paquimetria

Segons un estudi fet per la Universitat de Tokio on es comparava el gruix central corneal mesurat a 64 pacients amb tècniques de Scheimpflug, paquimetria ultrasònica i topògrafs d'escaneig de fenedura (20). Les mitjanes de les paquimetries mesurades amb la càmera de Scheimpflug, paquimetria ultrasònica i topògrafs d'escaneig de fenedura eren comparables amb un petit factor de correcció. Els tres instruments van resultar tenir una correlació lineal molt significant i tots els mètodes van tenir una molt bona reproductibilitat.

Curvatura de la còrnia

Segons un estudi fet per la Universitat de Kitasato al Japó on es comparava la repetibilitat, reproductibilitat i la mesura corneal entre un topògraf amb fotografia de Scheimpflug i un topògraf d'escaneig de (16). Els resultats suggereixen que la repetibilitat i la reproductibilitat són més altes en la fotografia de Scheimpflug. En aquest estudi es comparava el Pentacam com a topògraf amb fotografia de Scheimpflug i l'Orbscan com a topògraf de escaneig de fenedura. L'estudi conclou que les mesures corneals entre els dos diferents mètodes donen resultats molt semblants, encara que la concordança és moderada a l'hora de determinar el poder diòptric corneal total. Aquest fet inevitablement ens fa qüestionar quin dels dos mètodes és més vàlid, encara que sense el valor d'una mesura estàndard totalment acurada no es pot donar cap resposta. El que si podem assegurar és que la fotografia de Scheimpflug presenta una repetibilitat i reproductibilitat lleugerament més alta.

Un altre estudi de la Universitat de Roma compara les mesures fetes per 3 topògrafs, un amb fotografia de Scheimpflug (Pentacam) i dos que combinaven el disc de Plácido i fotografia de Scheimpflug (Sirius i TMS-5), i un topògraf de disc de Plácido (21). Entre els valors mitjans corneals de potència diòptrica total corneal mesurat per els 3 topògrafs amb fotografia de Scheimpflug tenien un 95% de concordança entre ells. L'estudi també compara les diferents mesures de l'asfericitat corneal amb els 4 mètodes i conclou que no hi ha diferències estadísticament significants sobre aquestes mesures, tot i que adverteix de tenir precaució alhora d'intercanviar mesures amb els diferents mètodes.



Existeixen diversos estudis que comparen diferents mètodes computeritzats per a obtenir mesures de la curvatura de la còrnia, sobretot per a mesures pre i post-operatòries. Tot i haver diferents estudis que comparen els diferents mètodes per obtenir les mesures és important tenir present que quan comparem els resultats, a part de la tècnica que s'utilitza per obtenir-los, també hi ha diferents fabricants de topògrafs que utilitzen la mateixa tècnica i hi poden existir diferències entre aquests topògrafs que comparteixen metodologia de mesura.



6. Conclusions

L'objectiu d'aquest treball era conèixer els instruments de mesura de la còrnia, els seus principis òptics, l'aplicació clínica de cada instrument i l'evolució d'aquests instruments fins a l'actualitat. A la vista de les diferents tècniques i sistemes per tal d'obtenir les mesures corneals es pot concloure que tots els instruments estudiats en el treball són vàlids per a la mesura dels paràmetres corneals. Tot i aconseguir resultats vàlids amb els diferents instruments i tècniques, aquests resultats no són intercanviables ja que s'obtenen mesures lleugerament diferents, és per això que sempre s'ha d'especificar el mètode emprat per agafar la mesura. Per una altra banda també es pot concloure que depenent de l'objectiu de l'examen (preoperatori, revisió, adaptació de lents de contacte...), l'estat del globus ocular i del pacient, ja sigui per la falta de transparència dels medis o per altres factors, el professional sanitari es pot decantar per una tècnica de mesura o bé una altra.

7. Bibliografia

1. Anderson BD. Understanding Corneal Topography. 9000.
2. Asbell P, Brocks D. Cornea Overview. In: Encyclopedia of the Eye [Internet]. 2010. p. 522–31. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123742032000580>
3. Axis L. The Scheimpflug Principle — Part I.
4. Belin MW, Khachikian SS. Review An introduction to understanding elevation-based topography : how elevation data are displayed – a review. 2008;(January).
5. Barkana Y, Gerber Y, Elbaz U, Schwartz S. Central corneal thickness measurement with the Pentacam Scheimpflug system , optical low-coherence reflectometry pachymeter , and ultrasound pachymetry. 2005;31(September):1729–35.
6. Brandt JD, Beiser JA, Kass MA, Gordon MO. Central Corneal Thickness in the Ocular Hypertension Treatment Study (OHTS). 2001;1779–89.
7. Contact E, Practice L, Points K. Assessment of Corneal Contour. :1–10.
8. Cavada G, Benavides JG, Garciaecheverría ÍDJ. Adaptaciones y complicaciones de lentes RPG. :60.
9. Foster CS, Azar DT DCS and T. The Cornea: Scientific Foundations and Clinical Practice. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2005.
10. Gandhi S, Jain S. The anatomy and physiology of cornea. In: Keratoprotheses and Artificial Corneas: Fundamentals and Surgical Applications. Springer Berlin Heidelberg; 2015. p. 19–25.
11. Garner LF, Owens H, Yap MK, Frith MJ, Kinnear RF. Radius of curvature of the posterior surface of the cornea [Internet]. Vol. 74, Optom Vis Sci. 1997. p. 496–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9293516>
12. Gutmark R, Guyton DL, Gutmark R, Guyton DL. Origins of the Keratometer and its Evolving Role in Ophthalmology Origins of the Keratometer and its Evolving Role in Ophthalmology. 2010;(September).
13. Griñó C, Francisco GOD, Quintás L, León M. Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) Funcionamiento y utilidad en patología macular (I). (I):12–4.
14. I LP. La córnea. Parte I Estructura, función y anatomía microscópica. 2003;
15. Jain R, Grewal SPS. Pentacam : Principle and Clinical Applications. 2009;(C):20–32.
16. Kawamorita T, Uozato H, Kamiya K, Bax L. Repeatability , reproducibility , and agreement characteristics of rotating Scheimpflug photography and scanning-

- slit corneal topography for corneal power measurement. *J Cart Refract Surg* [Internet]. 2008;35(1):127–33. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrs.2008.10.019>
17. Marsich M, Marsich MM, Bullimore MA, Optom MC, Ph D. The Repeatability of Corneal Thickness Measures The Repeatability of Corneal Thickness Measures. 2016;(December).
 18. Measurement AN, Guide GP. A NATIONAL MEASUREMENT GOOD PRACTICE GUIDE No.108. Guide to the Measurement of Smooth Surface Topography using Coherence Scanning Interferometry (108).
 19. Mehravaran S, Asgari S. Keratometry with five different techniques : a study of device repeatability and inter-device agreement. 2014;869–75.
 20. Pachymetry U. Comparison of Central Corneal Thickness Measurements by Rotating Scheimpflug Comparison of Central Corneal Thickness Measurements by Rotating Scheimpflug Camera , Ultrasonic Pachymetry , and Scanning-Slit Corneal Topography. 2006;(December 2016):3–8.
 21. Savini G, Carbonelli M, Sbreghia A, Barboni P, Deluigi G, Hoffer KJ. Comparison of anterior segment measurements by 3 Scheimpflug tomographers and 1 Placido corneal topographer. 2011;1679–85.
 22. Shamma HJ, Hoffer KJ, Shamma MC. Scheimpflug photography keratometry readings for routine intraocular lens power calculation. 2009;330–4.
 23. Surgery R. Anterior segment biometry with 2 imaging technologies : Very-high-frequency ultrasound scanning versus optical ... MINISECTION : ANTERIOR SEGMENT IMAGING Anterior segment biometry with 2 imaging technologies : Very-high-frequency ultrasound scanning versu. 2016;(January 2008).
 24. Thomas D, Duguid G. Optical coherence tomography F a review of the principles and contemporary uses in retinal investigation. 2004;561–70.
 25. Version I. CIRRUS HD-OCT 5000/500 Advancing Smart OCT.
 26. The Corneal Atlas, review of optometry January 2010. 2010;(January).
 27. Comparison of Elevation, Curvature, and Power Descriptors for Corneal Topographic Mapping. School of Optometry, Indiana University, Bloomington, indiana: American Academy of Optometry;
- (1–27)