



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

TRABAJO FINAL DE GRADO

ELABORACIÓN DE MATERIAL PARA LA WIKIPEDIA: INSTRUMENTACIÓN DE MEDIDA Y OBSERVACIÓN DE LA CÓRNEA

SERGI SOTO RONDAN

DIRECTOR/A
TUTOR/A (NURIA TOMAS COROMINAS)

FECHA DE LECTURA



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

ELABORACIÓN DE MATERIAL PARA LA WIKIPEDIA: INSTRUMENTACIÓN DE MEDIDA Y OBSERVACIÓN DE LA CÓRNEA

RESUMEN

La córnea es una de las estructuras más conocida e importante del globo ocular, se caracteriza por otorgar protección y gran parte del poder dióptrico del sistema óptico, debido a esto se fabricaron diversos instrumentos para su valoración clínica.

En el trabajo se explican tres de los instrumentos más importantes para la medida y observación de la córnea (Biomicroscopio ocular, Topógrafo corneal y Tomografía de coherencia óptica) dividiéndolos en diferentes apartados (historia, funcionalidad y aplicaciones). Este contenido va más enfocado a nivel corneal, a pesar de que también estos instrumentos sean utilizados para medir y observar otras estructuras ópticas.

Se utilizará una plataforma llamada Wikipedia para difundir todo el contenido del trabajo y así todas las personas tenerlo al abasto. La Wikipedia es una enciclopedia online multilingüe donde cualquier persona puede consultar, subir o editar artículos.



ÍNDICE

1. Introducción	5
2. Objetivos	6
3. Biomicroscopio ocular	6
3.1 <i>¿Qué es un biomicroscopio ocular?</i>	6
3.2 <i>Historia del biomicroscopio ocular</i>	7
3.2 <i>Partes del biomicroscopio ocular</i>	8
3.2.1 Sistema de observación	8
3.2.2 Sistema de iluminación	11
3.3 <i>Técnicas de exploración</i>	13
3.3.1 Iluminación difusa	14
3.3.2 Iluminación directa: paralelepípedo	14
3.3.3 Iluminación directa: sección óptica	15
3.3.4 Iluminación directa: reflexión especular	16
3.3.5 Iluminación indirecta: iluminación indirecta proximal	17
3.3.6 Iluminación indirecta: dispersión escleral	17
3.3.7 Retroiluminación directa: retroiluminación directa de retina	18
3.3.8 Retroiluminación directa: retroiluminación directa de iris.....	19
3.3.9 Retroiluminación indirecta	20
3.3.10 Retroiluminación marginal.....	21
4. Topógrafo corneal	22
4.1 <i>¿Qué es un topógrafo corneal?</i>	22
4.2 <i>Historia del topógrafo corneal</i>	23
4.3 <i>Tipos de topógrafos corneales</i>	24
4.3.1 De reflexión especular o de elevación	24



4.3.2 De cono ancho o de cono estrecho	25
4.4 Convenio de colores en los mapas topográficos	25
4.5 Tipos de mapas topográficos	26
4.6 Aplicaciones del topógrafo corneal	27
5. Tomografía de coherencia óptica (OCT)	28
5.1 ¿Qué es una tomografía de coherencia óptica?	28
5.2 Historia del OCT	29
5.3 Funcionamiento básico del OCT	29
5.4 Tipos de OCT	31
5.4.1 Dominio en el tiempo (TDOCT)	31
5.4.2 Dominio espectral (SDOCT)	31
5.5 Aplicaciones del OCT	32
6. Bibliografía	33



1. Introducció

En este trabajo de fin de grado se explican tres instrumentos de gran importancia para la medida y observación de la córnea: Biomicroscopio ocular, Topógrafo corneal y Tomografía de coherencia óptica (OCT).

Para que el contenido esté al alcance de muchas personas, se utilizara como medio de difusión la plataforma web Wikipedia, una enciclopedia multilingüe con la capacidad de crear artículos de una manera libre, editar dichos artículos de manera abierta y consultarlos de forma rápida y sencilla. Como es de edición abierta todos los artículos pueden verse modificados a lo largo del tiempo, al igual que pueden diferir de la versión original del trabajo.

Toda la información ha sido extraída de artículos y autores profesionales relacionados con la instrumentación óptica.

- Enlaces de los diferentes instrumentos de medida y observación de la córnea:

Biomicroscopio ocular: https://es.wikipedia.org/wiki/Biomicroscopio_Ocular

Topógrafo corneal: https://es.wikipedia.org/wiki/Topografo_corneal

Tomografía de coherencia óptica (OCT):

[https://es.wikipedia.org/wiki/Tomograf%C3%ADa_de_Coherencia_%C3%93ptica_\(OCT\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Tomograf%C3%ADa_de_Coherencia_%C3%93ptica_(OCT))

2. Objectivos

- Realizar una búsqueda de información de los instrumentos de medida y observación de la córnea no presentes en la Wikipedia y que presenten un gran peso en el ámbito óptico.
- Exponer, de forma específica, cada instrumento en el formato indicado por la Wikipedia y siguiendo los criterios estructurales de dicha plataforma. Evidenciar la importancia del marco histórico, la funcionalidad y sus aplicaciones.
- Subir la información a la plataforma Wikipedia bien estructurada de los diferentes instrumentos. Comprobar que cada artículo ha sido aprobado por los administradores de la plataforma.

3. Biomicroscopio ocular

3.1 *¿Qué es un biomicroscopio ocular?*

El biomicroscopio ocular es un instrumento óptico utilizado para la observación del ojo, permitiéndonos ver los detalles a nivel externo e interno del globo ocular y sus anexos. Se compone de un sistema de observación y un sistema de iluminación. El sistema de observación consta de un microscopio binocular de pocos aumentos (entre 5x y 40x). El sistema de iluminación consta de una lámpara de hendidura, esta lámpara se basa en una fuente de iluminación de intensidad variable proyectada a través de una ranura ajustable otorgándonos la posibilidad de ver el ojo paciente en tres dimensiones. Las estructuras que podemos visualizar se dividen en tres secciones: la sección anterior (párpados, conjuntiva, córnea e iris), la sección media (cristalino y humor vítreo) y la sección posterior (retina, nervio óptico, arterias y venas) (Instituto Oftalmológico Amigó, 2013) (1).



Fig. 1. Biomicroscopio ocular

3.2 Historia del biomicroscopio ocular

En el año 1820 aproximadamente, Purkinje (anatomista y fisiólogo) fue una de las primeras personas en utilizar la microscopia en el ojo, usó una fuente de iluminación para iluminar el iris.

En el año 1855, el alemán Richard Liebreich (1830 – 1917; oftalmólogo y fisiólogo) comenzó estudios para un nuevo instrumento juntando un sistema de observación con una fuente de iluminación sobre el punto de examen, su objetivo era observar los cambios patológicos del ojo.

Entre el 1864 – 1870, el francés Luis de Wecker (1832 – 1906; oftalmólogo y médico) combinó un ocular, un objetivo y una lente condensadora dentro de un tubo, así nació el primer biomicroscopio monocular. Alrededor de 1890, el alemán Siegfried Czapski (1861 – 1907; físico y óptico) agregó la binocularidad a este biomicroscopio. Pero la iluminación utilizada era demasiado pobre como para poder observar el ojo con detalle.

Allvar Gullstrand (1862 – 1930; oftalmólogo y médico), creó el primer biomicroscopio ocular con la iluminación adecuada para poder examinar el ojo de manera clínica. Los biomicroscopios actuales son muy parecidos a los primeros diseños, entre los elementos básicos que los componen encontramos un sistema de observación binocular con diversos aumentos, un sistema de iluminación basado en una proyección Kohler y un sistema mecánico facilitando la realización del examen.

Hace falta mencionar la variedad de nombres que recibe este instrumento: biomicroscopio ocular, lámpara de hendidura o lámpara de Gullstrand (Murat V. Kalayoglu, 2005) (2).

3.2 Partes del biomicroscopio ocular

El biomicroscopio está compuesto de diferentes sistemas, donde cada sistema tiene diferentes componentes que en conjunto lo hacen funcionar correctamente.

Se divide en dos sistemas: sistema de observación y sistema de iluminación.

3.2.1 Sistema de observación

En el biomicroscopio ocular, su composición de la óptica básica en el sistema de observación es muy similar a la del microscopio. Ambos se componen de objetivos y oculares, pero a diferencia del microscopio, el biomicroscopio tiene un sistema inversor compuesto por prismas de Porro proporcionando una imagen derecha. Esta diferencia es muy necesaria para la observación clínica del ojo paciente (Montserrat Arjona, Núria Tomás, Josep Arasa, 2007) (3).

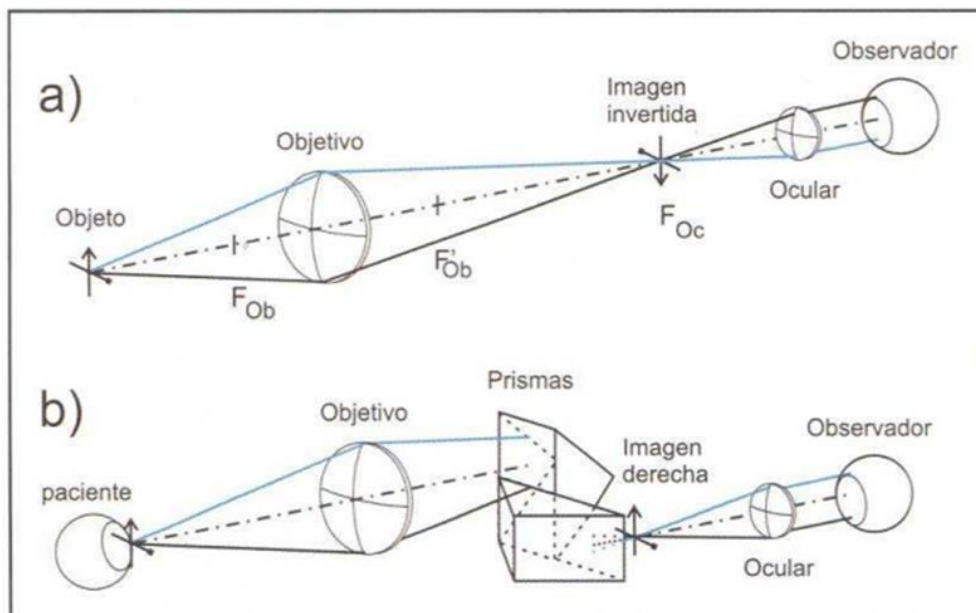


Fig. 2. a) Esquema del sistema de observación del microscopio. b) Esquema del sistema de observación del biomicroscopio ocular con sistema inversor (Montserrat Arjona, Núria Tomás, Josep Arasa, 2007) (3).

Esteromicroscopio: Gracias al sistema de observación duplicado (compuesto por objetivo, anteojo de galileo, sistema inversor y ocular) nos proporciona una imagen fusionada de manera binocular teniendo así visión estereoscópica. Son dos sistemas acoplados (uno para cada ojo). La distancia binocular se puede regular (Rosa María Ramos Marín, 2018) (4).

Sistema de aumentos: El valor del aumento (M) se puede calcular como en un microscopio tradicional, multiplicando el aumento del objetivo (m_{ob}) por el aumento del ocular (M_{oc}).

$$M = m_{ob} \times M_{oc}$$

Cambiando tanto el objetivo como el ocular, podemos cambiar el valor del aumento total. El rango de aumentos puede variar entre 5x y 40x. Como en todo sistema óptico, a mayores aumentos, menores serán su campo visual y su profundidad de foco.

Hay dos tipos de sistemas de observación:

Basados en un microscopio clásico: Su composición óptica es muy similar, la diferencia es el sistema inversor que presenta el biomicroscopio. Presentan dos aumentos que se intercambian accionando una palanca cerca del ocular, el valor de estos dos aumentos viene dado por dos objetivos intercambiables. Si se quiere aumentar el rango disponible de aumentos, se puede cambiar los oculares por unos de mayor aumento.

Basados en un sistema intercambiador de aumentos con anteojo de Galileo: Con la incorporación de un anteojo de Galileo cambia el funcionamiento óptico anteriormente mencionado, como el anteojo de galileo necesita que la luz le llegue de manera paralela, el ojo paciente se debe situar en la focal objeto del objetivo para que así los rayos de luz salgan paralelos del objetivo hacia el anteojo. Consecuentemente, los rayos salen de forma paralela del anteojo, entonces se necesitará una lente

focalizadora para formar una imagen intermedia sobre la focal objeto del ocular y así evitar que el observador acomode.

Se puede acoplar más de un anteojo de Galileo con un sistema intercambiador de aumentos para así aumentar el número de aumentos disponibles (5 aumentos). Los aumentos se cambiarían con una rueda.

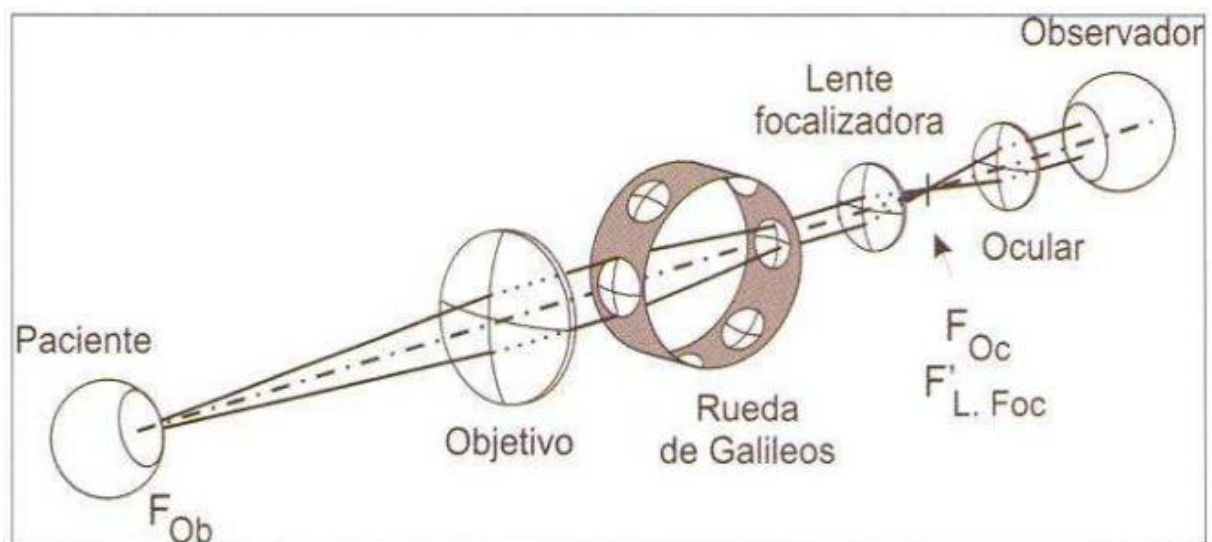


Fig. 3. Esquema del sistema de observación de un biomicroscopio ocular con un sistema intercambiador de aumentos con anteojo de Galileo, se ha omitido el sistema inversor (Montserrat Arjona, Núria Tomás, Josep Arasa, 2007) (3).

Cuando utilizamos un sistema intercambiador con anteojo de Galileo, la fórmula mencionada anteriormente para el cálculo del valor total de aumentos se ve afectada.

$$M = M_{ob+Galileo} \times M_{oc}$$

(Montserrat Arjona, Núria Tomás, Josep Arasa, 2007) (3)

3.2.2 Sistema de iluminación

El sistema de iluminación está formado por un sistema de proyección con una rendija y un sistema de iluminación Köhler. Gracias a esta configuración se consigue una iluminación uniforme y regular en el ojo paciente a observar.

Lámpara de hendidura: Dispone de una fuente de luz cuya intensidad, altura y anchura se puede modificar según las necesidades, adquiere este nombre debido a la posibilidad de hacer una hendidura para así poder realizar las diferentes técnicas de exploración y observar las diferentes capas que componen el globo ocular (Rosa María Ramos Marín, 2018) (4).

Iluminación Köhler: La fuente de luz se combina con la lente condensadora y se forma la imagen de la fuente de luz sobre el objetivo de proyección, evitando así, la formación de la imagen en el ojo paciente. Esta configuración proporciona una iluminación de intensidad uniforme (sin sombras) y regular sobre el ojo paciente (Alba González Díaz, 2021) (5).

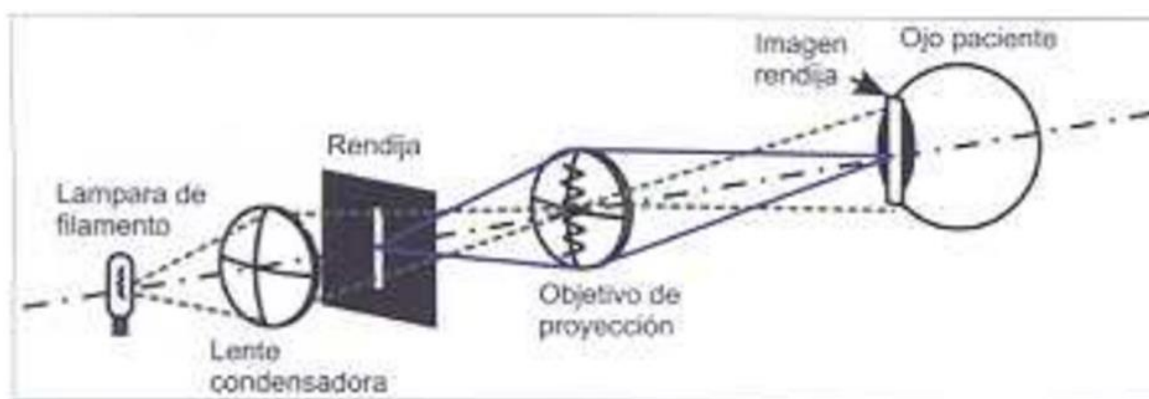


Fig. 4. Esquema del sistema de iluminación de un biomicroscopio ocular.
(Montserrat Arjona, Núria Tomás, Josep Arasa, 2007) (6).

Filtros:

- Lente colimadora: Desenfoca la imagen de la rendija y difunde la luz de manera más extensa para una observación más general.
- Filtro verde: Mejora el contraste de la vascularización.
- Filtro azul cobalto: Utilizado para evaluar la lágrima con fluoresceína.
- Filtro polarizado: Evita reflejos especulares.
- Filtro neutro: Disminuye el brillo para evitar molestias al paciente.

(Montserrat Arjona, Núria Tomás, Josep Arasa, 2007) (6).

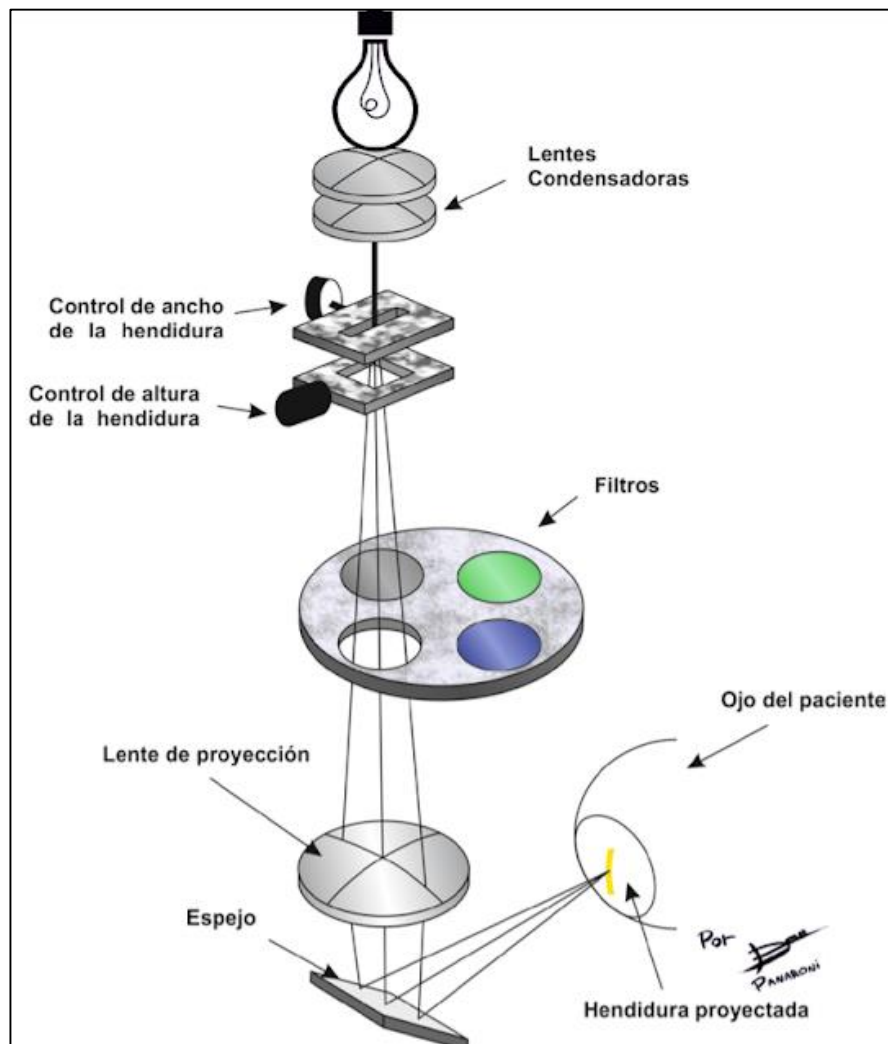


Fig. 5. Esquema real del sistema de iluminación del biomicroscopio ocular (Paulo Guzmán Reyes, 2018) (7).

Desplazamiento coaxial: El foco del sistema de observación coincide con el foco del haz de luz, y ambos sistemas se desplazan girando en torno a este foco común. Así, aunque rotemos cualquiera de los dos sistemas, solo varía el ángulo de observación o de incidencia de la luz, pero no el punto de observación ni su enfoque.

Click-off: Permite que el sistema de observación y el de iluminación no coincidan en el mismo punto focal, se utiliza para técnicas de iluminación indirecta.

La mayoría de instrumentos presentan un sistema mecánico para poder realizar las medidas correctamente. En el biomicroscopio es importante este sistema para hacer coincidir el sistema de observación y el de iluminación, pasando de un ojo al otro sin molestar al paciente. Como en todos los instrumentos de observación ocular, se requiere que el paciente este quieto para facilitar el examen al observador, con la ayuda de una mentonera y un apoya frentes conseguiremos estabilizar al paciente.

Antes de empezar con la exploración se debe ajustar el sistema completo:

Primero se pondrán en estación los oculares moviéndolos de fuera a dentro para así evitar acomodar durante la observación. Como el doble sistema de observación puede rotar sobre un eje, esto permitirá ajustar la distancia entre los dos oculares, por último, se colocará al paciente ajustando la altura de los ojos justo donde está el sistema de observación (Rosa María Ramos Marín, 2018) (4).

3.3 Técnicas de exploración

Con el biomicroscopio se pueden realizar varias técnicas de iluminación para la exploración de diferentes estructuras oculares. En este apartado se explicarán todas las técnicas que se pueden realizar para visualizar estructuras corneales.

Hay que tener en cuenta que no se hablarán de dos técnicas ya que no son utilizadas para la exploración de estructuras corneales, estas dos técnicas son: Iluminación directa: haz cónico e Iluminación directa: iluminación tangencial.

Toda la información de este apartado ha sido extraída directamente del TFG de un alumno de la Facultad de Óptica y Optometría – UPC (Felix Beniamin Moraru).

3.3.1 Iluminación difusa

Una buena técnica para comenzar el examen ocular con lámpara de hendidura es la iluminación difusa, que nos proporciona una visión general del segmento anterior del ojo.

PROCEDIMIENTO

La mejor forma de realizar la técnica de la iluminación difusa es utilizando un haz de luz difusa. En vez de utilizar una hendidura, se utilizará una abertura circular amplia, también hay otra manera y es utilizando un filtro difusor. La intensidad es variable y es controlada por la anchura o altura de la hendidura, y por el reóstato.

Ángulo de iluminación: Entre 30° y 45°, ángulo de referencia 45°.

Aumentos: Pocos para tener una mayor profundidad de campo.

Córnea: Mediante la iluminación difusa se obtiene una visión general del estado de la córnea, y resulta útil para detectar grandes opacidades corneales.

3.3.2 Iluminación directa: paralelepípedo

La iluminación directa abarca todas aquellas técnicas en las que el área iluminada y el área enfocada coinciden en el punto de observación.

La iluminación directa con paralelepípedo es la forma de iluminación directa más usada, y permite detectar cualquier condición que altere la transparencia corneal.

PROCEDIMIENTO

Se sitúa el brazo de iluminación en el lado de la parte a observar de la córnea, es decir, lado temporal si se desea observar la parte temporal de la córnea y lado nasal si se desea observar la parte nasal de la córnea, y se ajusta la rendija para obtener una anchura del haz de entre 1 y 3 mm. A simple vista a través del microscopio, la anchura del haz debe ser aproximadamente igual a la profundidad aparente de la córnea. La altura del haz será variable, siempre mayor que la anchura.



Àngulo de il·luminació: Entre 30° y 60° y, de manera específica, entre 10° y 45° para el examen del cristalino.

Aumentos: Pueden variar entre 10x y 40x.

Córnea: A nivel corneal, el paralelepípedo permite observar alteraciones tanto en el epitelio como en el endotelio, según si se enfoca su superficie anterior o posterior. Enfocando la cara anterior se pueden observar alteraciones en el epitelio corneal, como la queratitis punteada superficial, o abrasiones epiteliales.

3.3.3 Iluminación directa: sección óptica

Ampliamente utilizada en los exámenes de salud ocular con biomicroscopio, la sección óptica es otra técnica de iluminación directa, por lo cual, el haz luminoso es enfocado en el área a observar.

PROCEDIMIENTO

El procedimiento es similar al del paralelepípedo. Se coloca el brazo de iluminación en el lado de la parte a observar de la córnea, es decir, lado temporal si se desea observar la parte temporal, y se estrecha el haz luminoso tanto como sea posible, hasta lograr un corte histológico transversal de la córnea.

Àngulo de il·luminació: Entre 30° y 60°.

Aumentos: Rango medio-alto para la observación, y la intensidad luminosa debe de estar al máximo.

Córnea: Con la iluminación directa por sección óptica se pueden identificar y examinar las cinco capas corneales. Útil para determinar la profundidad de condiciones, espesor corneal y grado de adelgazamiento estromal.

3.3.4 Iluminación directa: reflexión especular

La reflexión especular es una técnica de iluminación directa para examinar la calidad de la superficie de un tejido que refleja la luz. No obstante, permite examinar también la superficie anterior de las lentes de contacto, y la película lagrimal. Se obtiene cuando el ángulo de incidencia de la luz es igual al ángulo de reflexión; de tal manera que el haz reflejado de la córnea pase a través de uno solo de los oculares del microscopio

PROCEDIMIENTO

Para obtener reflexión especular sobre la córnea, se deberá observar la reflexión de la fuente de luz que emite el sistema de iluminación. Partiendo de un paralelepípedo enfocado en córnea y observado con pocos aumentos, se gira el sistema de iluminación hasta observar el reflejo brillante de la fuente de luz que se refleja sobre la superficie corneal en el mismo lado que el sistema de iluminación. Este reflejo corneal brillante, conocido también como imagen de Purkinje, será visible a través de uno solo de los oculares, puesto que se trata de una técnica monocular. Una vez conseguido esto, se desplaza el paralelepípedo sobre la imagen de Purkinje, de modo que brillarán tanto el lado epitelial (externo) como el lado endotelial (interno) del paralelepípedo. Por último, se suben los aumentos y se acaba de ajustar el enfoque.

Ángulo de iluminación: Entre ambos brazos será de unos 60°

Aumentos: Se empieza con bajos y acabamos con altos.

Endotelio corneal: La reflexión especular es la única técnica que permite observar el mosaico endotelial in vivo y la técnica de elección para ver guttata, ampollas y pliegues endoteliales. Es frecuente observar en usuarios de lentes de contacto un endotelio alterado e irregular, a medio y a largo plazo.

3.3.5 Iluminación indirecta: iluminación indirecta proximal

La iluminación indirecta se refiere a cualquier técnica en la que el foco del haz de luz no coincide con el punto focal del sistema de observación.

La iluminación indirecta proximal consiste básicamente en enfocar el haz de luz en una zona próxima al objeto de observación, lo cual permitirá iluminar el objeto y el área que lo rodea con luz dispersada a través de la córnea o del cristalino.

PROCEDIMIENTO

Se usa un paralelepípedo con una intensidad luminosa de baja a media, que se hace incidir en la zona adyacente a la zona a observar (zona lesionada o alterada).

Ángulo de iluminación: Entre 30° y 45°

Aumentos: Rango medio-alto

Córnea: Útil sobre todo para observar alteraciones o lesiones de bajo contraste. Permite determinar la presencia vacuolas epiteliales, así como detectar erosiones epiteliales y cicatrices corneales.

3.3.6 Iluminación indirecta: dispersión escleral

La dispersión escleral es una técnica basada en el principio óptico de la dispersión, y se utiliza principalmente para observar pequeños cambios de transparencia sobre áreas relativamente grandes.

PROCEDIMIENTO

Es fundamental enfocar, primeramente, el sistema de observación con precisión en la córnea. Para ello, se forma una sección óptica corneal nítida, afinando el enfoque con muchos aumentos, si es necesario. Después, se bloquea la posición del instrumento para que el sistema de observación no se mueva, se reducen los aumentos, y se abre la anchura de la hendidura hasta conseguir un paralelepípedo. A continuación, se desacopla la lámpara de hendidura y, girando el sistema de iluminación sobre su mismo eje, se dirige hacia el limbo esclerocorneal. Cuando la posición del sistema de iluminación es la correcta, se forma un halo de dispersión de luz que rodea el limbo corneal.

Ángulo de iluminación: Entre 30° y 45°, y que la intensidad luminosa utilizada sea alta.

Aumentos: Pocos

Córnea: La dispersión escleral es una técnica acertada para determinar si la córnea tiene alguna opacidad, ya que cualquier condición que altere su transparencia interrumpe las reflexiones de luz entre el epitelio y el endotelio y provoca un fenómeno de dispersión de luz, revelándose con un aspecto blanquecino sobre el fondo pupilar oscuro.

3.3.7 Retroiluminación directa: retroiluminación directa de retina

La retroiluminación engloba todos aquellos métodos de iluminación en los cuales se utiliza la luz reflejada del iris o de la retina para iluminar la zona de interés desde atrás. El objeto de interés, por tanto, es transiluminado por una fuente de luz posterior a éste.

En el caso de la retroiluminación directa, la luz reflejada por la retina incide directamente en la parte posterior del objeto de observación, transiluminándolo. La retroiluminación directa de retina es una técnica útil para iluminar desde atrás diversas condiciones corneales o del cristalino, sobre todo aquellas de bajo contraste.

PROCEDIMIENTO

Se empieza formando una sección óptica en el eje geométrico del ojo, igualando su altura al diámetro pupilar para evitar la luz reflejada por el iris. El brazo de iluminación se situará en una posición prácticamente coaxial con el microscopio, pudiendo variar el ángulo que forman ambos brazos entre 0° y 10° . A continuación, se enfoca la zona a examinar, y se desacopla el sistema de iluminación para que pase justamente por el borde pupilar. La luz reflejada de la retina transiluminará el objeto de observación con un fondo rojizo luminoso. Por último, se incrementan los aumentos según convenga.

Ángulo de iluminación: Entre ambos brazos de 0° a 10° . Intensidad luminosa alta.

Aumentos: Se empieza con bajos y acabamos con altos.

Córnea: Se utiliza sobre todo para alteraciones situadas en la zona central de la córnea. Permite detectar condiciones como leucomas, cicatrices, cuerpos extraños, etc.

3.3.8 Retroiluminación directa: retroiluminación directa de iris

Es la técnica de elección para valorar la neovascularización corneal. La técnica con retroiluminación directa de iris permite estudiar la córnea, así como las lentes de contacto, con transiluminación con luz reflejada del iris.

PROCEDIMIENTO

Para obtener retroiluminación directa de iris se forma, primeramente, un paralelepípedo bien enfocado sobre el área corneal que se desea observar, con sistema de iluminación situado inicialmente frente al paciente. A continuación, se gira el brazo de iluminación hacia el lado contrario al área corneal a observar hasta formar un ángulo de 60° con el sistema de observación. Por último, se acaba de ajustar la posición hasta hacer coincidir el retrohaz con el área corneal de interés.

Ángulo de iluminación: 60° . Intensidad luminosa media-alta

Aumentos: Rango medio-alto

Córnea: La retroiluminación directa de iris permite valorar con precisión la neovascularización corneal, pudiéndose determinar tanto el grado de neovascularización como el segmento de la circunferencia corneal afectado. También resulta apropiada para la observación de cuerpos extraños incrustados en córnea.

3.3.9 Retroiluminación indirecta

La retroiluminación indirecta tiene un procedimiento muy similar al de la retroiluminación directa. Se utiliza principalmente para la observación de condiciones corneales.

PROCEDIMIENTO

El procedimiento para obtener retroiluminación indirecta es igual que para la retroiluminación directa, excepto que la luz que se refleja del iris o retina no incide directamente sobre la zona corneal a observar, sino que se hace incidir en un área adyacente. La zona de iris iluminada no coincidirá detrás del objeto de interés. De esta manera, el objeto es iluminado desde atrás, pero es observado sobre fondo oscuro.

Ángulo de iluminación: Variable, según convenga. Intensidad luminosa media-alta

Aumentos: Rango medio-alto.

Córnea: Se pueden observar condiciones como microquistes epiteliales, vacuolas epiteliales, distrofias corneales, pigmento endotelial, así como la extensión de cicatrices en córnea, traumatismos, etc.

3.3.10 Retroiluminación marginal

La ventaja principal de la técnica de la retroiluminación marginal es que permite observar de forma definida los bordes de partículas o condiciones corneales transparentes.

PROCEDIMIENTO

Para obtener retroiluminación marginal se seguirá un procedimiento muy similar al de la retroiluminación indirecta. La única diferencia está en la posición del haz reflejado del iris o retina; cuando el objeto a observar esté situado justamente sobre el límite entre un fondo oscuro y otro luminoso, se obtendrá la retroiluminación marginal. Por tanto, el ángulo será variable, puesto que se trata de hacer coincidir el punto de interés de la córnea con el borde entre el fondo claro y oscuro. Los aumentos serán de rango medio a alto, y la intensidad luminosa de media a elevada

Ángulo de iluminación: Variable, según convenga. Intensidad luminosa media/alta

Aumentos: Rango medio-alto.

Córnea: Técnica de elección para detectar y observar formaciones quísticas epiteliales. Permite distinguir entre vacuolas y microquistes epiteliales por la presencia, o no, de inversión de campo.

(Felix Beniamin Moraru, 2019) (8).

4. Topógrafo corneal

4.1 ¿Qué es un topógrafo corneal?

El topógrafo corneal es un instrumento óptico no invasivo que permite obtener un mapa detallado de la forma de la córnea, gracias a este mapa podemos detectar alteraciones y patologías que afectan a la visión. Se compone de un ordenador, donde se interpretan y almacenan los mapas topográficos, y de un sistema de medida electrónico donde este proyecta unos discos concéntricos de luz (discos de Placido) sobre la cara anterior de la córnea. El software del ordenador analiza los puntos de estos discos sobre la córnea del paciente para así conseguir una copia digitalizada topográfica de la forma de la córnea, utilizando diferentes colores para representar elevaciones y curvaturas. El paciente debe estar sentado y apoyar la barbilla en una mentonera mientras se centran y proyectan estos discos para así realizar una medida correctamente (Equipo médico Bogotá Láser, 2020) (9).



Fig. 6. Topógrafo Corneal

4.2 Historia del topógrafo corneal

A comienzos del siglo XVII, Christoph Scheiner (1575 – 1650; matemático y astrónomo) usó el reflejo en piezas de mármol para hacer una primera y primitiva topografía corneal. En 1880 el portugués Antonio Plácido (1848 – 1915) vio un disco pintado (disco de Plácido) de anillos blancos y negros alternados reflejados en la córnea.

Los anillos mostraron como líneas de contorno proyectadas en el filme de lágrima corneal. Javal L., un pionero en ese campo en los 1880s incorporó los anillos en su oftalmómetro y montó un ocular aumentando la imagen del ojo. Propuso que la imagen tendría que ser fotografiada o ser diagramada representando un análisis de la imagen.

En 1896, Allvar Gullstrand (1862 – 1930; oftalmólogo) incorporó el disco en su oftalmoscopio, examinando fotografías de la córnea vía un microscopio y era capaz de calcular manualmente la curvatura mediante un algoritmo numérico. Gullstrand reconoció el potencial de la técnica y comentó que a pesar de su laboriosidad podría "dar una exactitud resultante que anteriormente no podría ser obtenido en cualquier otra manera". El campo plano del disco de Plácido redujo la exactitud de la periferia corneal y en los 1950s la empresa Wesley-Jessen usó un bol curvado para reducir los defectos de campo. La curvatura de la córnea podría ser determinada por comparación de fotografías de los anillos contra imágenes estandarizadas.

En la década de 1980, las fotografías de las imágenes proyectadas se digitalizaban a mano (las cámaras no eran digitales, entonces estas fotografías en papel tenían que escanearse) y luego se analizaban por computadora. La automatización del proceso siguió pronto con la imagen capturada por una cámara digital y pasaba directamente a una computadora (Arriba Salud, 2019) (10).

4.3 Tipos de topógrafos corneales

Existen muchos tipos de topógrafos con muchas diferencias entre ellos, pero todos los modelos tienen, prácticamente, los mismos componentes: unas miras en forma de círculos concéntricos (discos de Placido), una cámara que permite recoger los reflejos de los círculos en la cara anterior de la córnea y un procesador de información con un software que construye diferentes representaciones gráficas.

Los topógrafos corneales se pueden clasificar de dos maneras diferentes: Topógrafos de reflexión especular (menos precisión, pero más económico) o de elevación (más precisos, pero más caros) y de cono ancho (aportan información de una zona más limitada, pero son más sencillos de manejar) o de cono estrecho (aportan información de una zona más extensa, pero su manejo no es tan sencillo).

4.3.1 De reflexión especular o de elevación

Topógrafos de reflexión especular: Actualmente, los topógrafos más utilizados a día de hoy son los basados en la proyección de miras, proporcionan mucha información para el seguimiento de alteraciones y son muy útiles para realizar adaptaciones de contacto, pero hay que tener en cuenta que presentan limitaciones ya no pueden obtener resultados más allá de la cara anterior de la córnea, se producen errores o a menudo da resultados no fiables. Son más utilizados para la adaptación de lentes de contacto. Hay que destacar que son los más económicos del mercado.

Topógrafos de Elevación: Estos topógrafos son los más novedosos, ya que incorporan otros principios de funcionamiento (complementarios o alternativos) permitiendo el análisis de ambas caras corneales (anterior y posterior) y del espesor corneal mediante cálculos de un modelo 3D. Estos topógrafos principalmente se basan en el principio de Scheimpflug, que consiste en una cámara rotatoria (360°) alrededor del globo ocular, sin contacto, creando imágenes en 3D. Proporcionan mucha más información que los de reflexión, y son más precisos. Son más utilizados para evaluar diversas condiciones visuales, como el queratocono, aberraciones corneales o cirugía refractiva.

4.3.2 De cono ancho o de cono estrecho

Tanto el tamaño de los círculos concéntricos, como su distribución, como su número son diferencias que se presentan en los diferentes modelos de topógrafos.

De cono ancho: No se producen tantos errores por enfoque o alineación, pero sufre de errores por elementos anatómicos (cejas o nariz).

De cono estrecho: Los resultados obtenidos son más precisos, evita las sombras que provocan los elementos anatómicos, pero cualquier error de enfoque o alineación se agrava (Natalia Michelle Paniagua De La Paz, 2019) (11).

4.4 Convenio de colores en los mapas topográficos

Universalmente se establece un convenio de colores (código de colores) para representar los mapas topográficos y así poder ser comprendidos. Estos colores son asociados según el poder dióptrico representado, donde los colores cálidos representan las altas potencias (radios más bajos), los menores espesores corneales y las mayores altitudes en escalas de elevación. Los colores fríos indican las potencias más bajas (radios más altos), los mayores espesores corneales y las altitudes más bajas.

Para representar el gradiente de colores en los mapas se pueden utilizar tres diferentes escalas: escala absoluta, escala normalizada y escala ajustable.

Escala absoluta: En cada mapa, la escala es la misma, es decir, muestra la córnea con la misma gradación y con los mismos saltos dióptricos, 35 colores. Esta escala permite comparar directamente 2 mapas. Muy útil en screening ya que como utiliza la misma escala permite familiarizarse con los colores y no crear confusión.

Escala normalizada: En cada mapa, la escala es diferente. Presenta un gradiente de colores de intervalos dióptricos con pasos menores que la escala absoluta, 15 colores. Proporcionan más detalles, pero no pueden compararse con otros mapas porque cada uno tiene su escala.

Escala ajustable: El examinador puede personalizar la escala, asignando cada color a un valor dióptrico. Útil para comparar varios mapas topográficos.

4.5 Tipos de mapas topográficos

A continuación, se explicarán los diferentes mapas de representación que presentan los topógrafos: mapas de curvatura, de elevación y de potencias refractivas.

Mapa axial: Es el mapa más utilizado. Mide la curvatura (mapa de curvatura) en un cierto punto corneal en una dirección axial con relación al centro. Todos los radios de curvatura toman el mismo eje de referencia. Útil para valoraciones centrales.

Mapa tangencial: Mapa de curvatura donde los puntos analizados toman como referencia cada uno un eje de radio de curvatura. La lectura que se realiza será la perpendicular a la tangente en ese punto de lectura. Útil para valoraciones periféricas

Mapa de elevación: En este mapa se compara la superficie corneal con una esfera de referencia conocida. El instrumento calcula la esfera de referencia que mejor se adapta a la superficie corneal. Las elevaciones serán referenciadas con colores cálidos o valores en positivo y las depresiones con colores fríos y valores en negativo. La superficie de referencia es la medida cero (verde).

Mapa refractivo: Es un mapa de potencias donde el programa topográfico realiza un cálculo teórico de la potencia en los diferentes puntos de la córnea a través de la Ley de Snell, asumiendo que el ojo tiene un índice de refracción de 1.3375.

(Natalia Michelle Paniagua De La Paz, 2019) (11) / (Jesús Pizarroso Pulido, 2019) (12).

Resumen mapas topográficos				
Mapa	Descripción	Repetitividad	Comentarios	Aplicación
Axial	Centros de los radios en eje óptico	Alta	Distorsiona la posición de ápex corneal y mala información periferia	Primer análisis conjunto y para contactología
Tangencial	Centros de radios no están en el mismo eje	Baja	Da posición exacta de ápex y buena información periferia	Queratocono, orto-K, LASIK
Elevación	Compara córnea con superficie esférica de referencia	Muy baja	Manera más directa de medir la forma corneal futura	Determinación de elevación o depresión patológica.
Refractivo	Marcha de rayos Ley de Snell	Baja	Potencia óptica del ojo	Control de calidad visual

Fig. 7. Tabla resumen de los diferentes mapas topográficos (Natalia Michelle Paniagua De La Paz, 2019) (11).

4.6 Aplicaciones del topógrafo corneal

En este apartado se comentarán las aplicaciones más comunes que podemos realizar con el topógrafo corneal.

- Diagnóstico de enfermedades que afectan a la córnea como el queratocono.
- Diagnóstico de astigmatismos irregulares.
- Evaluación de un candidato a cirugía refractiva para corregir miopía, astigmatismo e hipermetropía.
- Evaluación de un candidato a la cirugía de cataratas o presbicia.
- Evaluación para las queratoplastias o trasplantes de córnea.
- Adaptación de lentes de contacto (Orto-K).

(Instituto Oftalmológico Fernández-Vega, 2019) (13).

5. Tomografía de coherencia óptica (OCT)

5.1 ¿Qué es una tomografía de coherencia óptica?

La tomografía de coherencia óptica es una técnica no invasiva utilizada para la exploración, control y seguimiento de los segmentos anterior y posterior del globo ocular, aunque en la actualidad se utiliza mayormente para la obtención de imágenes de la retina. Esta técnica es muy similar a la ecografía, con la diferencia de que se utilizan haces de luz en lugar de ondas de sonido, son haces de luz infrarroja (820 – 830 nm) que mediante su reflexión se consiguen imágenes de partes o secciones muy precisas y de alta resolución de la estructura ocular a observar. Utiliza un tomógrafo óptico informatizado basado en la interferometría (Caridad Griño, Francisco Lugo, Margarita León, Sara Ligeró, Jose María Ruiz, Javier Montero) (14).



Fig. 8. Tomografía de coherencia óptica (OCT)

5.2 Historia del OCT

El OCT surge de la idea de la interferometría. Esta idea se desarrolló en el 1887 por el judío Albert Michelson (1852 – 1931; físico), sus estudios los realizó en el mismo laboratorio que el alemán Hermann Von Helmholtz (1821 – 1894; médico y físico), inventor del oftalmoscopio.

En el siglo XX se utilizó inicialmente el método de interferometría para medir distancias. Albert Michelson utilizó este método para calcular de manera precisa el ángulo de inclinación de una estrella.

En 1991, en el instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), el japonés James G. Fujimoto le encargó a un alumno de su equipo de investigación, David Huang, que fabricara un interferómetro de baja coherencia para medir el espesor corneal.

En 1993 Eric Swanson fabricó el primer prototipo de OCT en el MIT. El instrumento se basaba en una lámpara de hendidura modificada.

Años más tarde, en 1996 la empresa Carl Zeiss introdujo la tomografía de coherencia óptica dentro del mercado con un tomógrafo de alta resolución. Gracias a esta empresa, el OCT se convirtió en una de las técnicas más importantes para la exploración del segmento anterior y posterior del globo ocular (Herbert Stern Diaz, 2019) (15).

5.3 Funcionamiento básico del OCT

Como se comentó anteriormente, el funcionamiento del OCT es muy similar al de la ecografía, la diferencia es el tipo de onda empleada. Gracias a la utilización de la luz (OCT) se pueden obtener imágenes con una resolución 10 veces superior que al emplear ondas sonoras (ecografía), pero hay una desventaja muy notoria, al utilizar esta técnica, la luz se puede ver reflejada o absorbida en su totalidad por muchos tejidos. Esta desventaja, limita las aplicaciones del OCT para los diferentes órganos. El OCT es un instrumento perfecto para el ámbito oftalmológico, gracias al fácil acceso que tiene la luz en el globo ocular.

El OCT se basa en el interferómetro de Michelson (patrón de interferencia producido por la división de un haz de luz monocromático, donde un rayo se refleja en un espejo fijo y otro rayo en un espejo móvil, ambos acaban en un detector) y la interferometría

donde se sustituyen las ondas sonoras por haces de luz. Como la velocidad de la luz es mayor que la del sonido, se puede obtener un aumento de la resolución de hasta 10 micras (100 micras en el ultrasonido)

El principio de interferometría de baja coherencia se basa en un método para medir distancias, midiendo los haces de luz reflejados en los tejidos. Cuando se combinan dos haces de luz se produce el fenómeno de la interferencia: se pueden combinar de una manera constructiva o destructiva.

El interferómetro de Michelson está compuesto por una fuente de luz, un divisor, un espejo patrón y un detector. La fuente de luz se compone de un láser de diodo de espectro infrarrojo (820 a 830 nm). La luz se divide en dos gracias al divisor, un haz de luz se dirige al espejo patrón, y el otro al ojo. Ambos haces son reflejados y captados por el detector, produciéndose el fenómeno de interferencia. Como la distancia a la que se encuentra el espejo patrón es conocida, se puede saber la distancia de la estructura que ha generado un reflejo coincidente con el reflejo del espejo. Se consigue una gráfica con las distancias obtenidas y se construye una imagen en sentido axial (A-scan). Con un registro repetitivo de varios A-scan se obtiene una imagen bidimensional (Caridad Griñó, Francisco Lugo, Margarita León, Sara Ligeró, Jose María Ruiz, Javier Montero) (14).

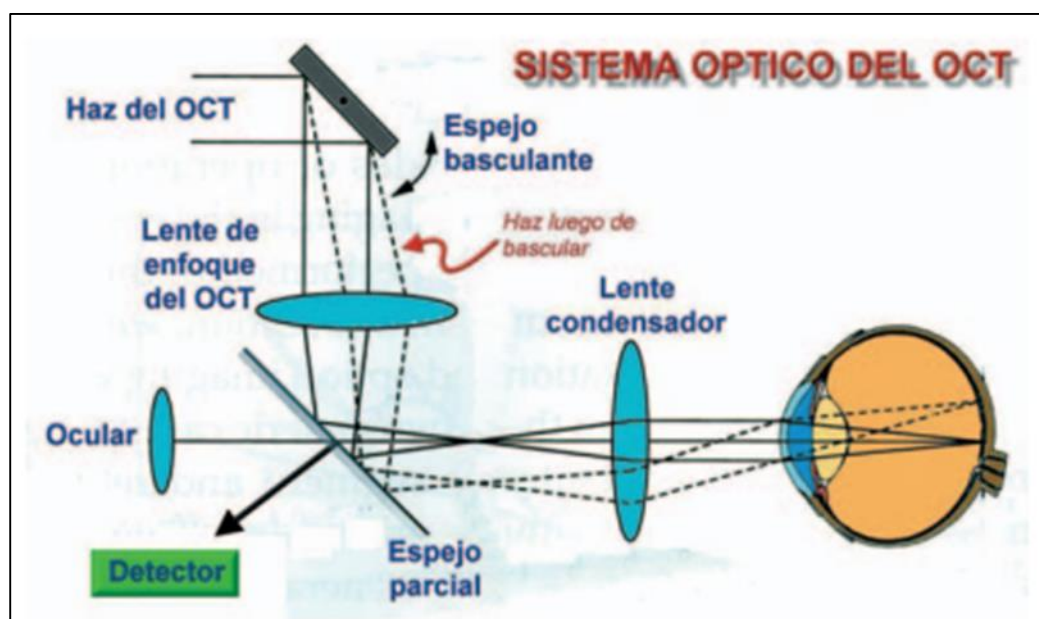


Fig. 9. Esquema del sistema óptico del OCT (Caridad Griñó, Francisco Lugo, Margarita León, Sara Ligeró, Jose María Ruiz, Javier Montero) (14).

5.4 Tipos de OCT

En este apartado se hablará de los dos tipos de OCT principales que se encuentran hoy en día: el de dominio en el tiempo (TDOCT) y el de dominio espectral (SDOCT). El TDOCT es más antigua con lo cual es más fácil de manejar y entender, pero actualmente el SDOCT está sustituyendo al TDOCT ya que ofrece una mejora significativa en la sensibilidad y velocidad de imagen.

5.4.1 Dominio en el tiempo (TDOCT)

Su funcionamiento es igual al comentado en el apartado 5.3, se basa en el interferómetro de Michelson y el principio de interferometría de baja coherencia. La velocidad de la obtención de imágenes viene limitada por la velocidad de movimiento que presenta el espejo patrón, este espejo por cada barrido tiene que moverse un ciclo completo. La necesidad de este movimiento limita la velocidad del sistema de 100 a 512 A-scan por cada barrido, en equipos de última generación pueden aumentar a los 768 A-scan.

5.4.2 Dominio espectral (SDOCT)

En este OCT el espejo patrón se mantiene fijo aumentando así la velocidad de obtención de las imágenes por la ausencia de elementos mecánicos. Para conseguir las medidas de profundidad utiliza un espectrómetro que analiza el haz de luz saliente del interferómetro. La información se obtiene a partir del espectro de salida gracias al principio de Fourier.

Debido a estas características la presencia de artefactos por movimientos involuntarios del ojo disminuye, permitiendo así obtener de 18.000 a 40.000 A-scan por segundo.

(Marina Márquez Tamurejo, 2019) (16) / (M^a Encarnación Correa Pérez, 2013) (17).



5.5 Aplicaciones del OCT

A nivel ocular, hay muchas estructuras que pueden ser observadas gracias al OCT, pero, este trabajo, se centra en el segmento anterior, concretamente, en la córnea.

Aplicaciones a nivel corneal:

- Estudio del grosor corneal (mapas paquimétricos).
- Evaluar interfase tras la cirugía Lasik refractiva.
- Analizar la correcta colocación de anillos intracorneales.
- Afecciones corneales y su evolución.

(Herbert Stern Diaz, 2019) (15).



6. Bibliografía

- 1) Instituto Oftalmológico Amigó. www.ioamigo.com (2013). Disponible en: <https://www.ioamigo.com/galleryitem/biomicroscopia/?reload=668289?reload=552861>
- 2) Murat V. Kalayoglu. The Evolution of Slit Lamp Biomicroscopy. Publicado el 30 noviembre, 2005. Disponible en: <https://www.opthalmologyweb.com/Tech-Spotlights/26450-The-Evolution-of-Slit-Lamp-Biomicroscopy/>
- 3) Montserrat Arjona, Núria Tomás, Josep Arasa. Biomicroscopio ocular con lámpara de hendidura: Sistema de observación. Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas. Publicado en Mayo, 2007. Disponible en: https://nuriatomas.files.wordpress.com/2010/04/biomicroscopio_sist_observacion.pdf
- 4) Rosa María Ramos Marín. Biomicroscopía: Técnicas de iluminación para la observación del cristalino. SAERA. Publicado el 16 Abril, 2018. Disponible en: <https://www.saera.eu/biomicroscopia/>
- 5) Alba González Díaz. Correlación entre los hallazgos Biomicroscópicos y Tomografía de Coherencia Óptica en las distrofias corneales. Facultad de Ciencias/ Grado en Óptica y Optometría – Universidad Zaragoza. Publicado en 2021. p 8. Disponible en: <https://zagan.unizar.es/record/110413/files/TAZ-TFG-2021-1769.pdf>
- 6) Montserrat Arjona, Núria Tomás, Josep Arasa. Biomicroscopio ocular con lámpara de hendidura: Sistema de iluminación. Centro de Desarrollo de Sensores, Instrumentación y Sistemas. Publicado en Mayo, 2007. Disponible en: https://nuriatomas.files.wordpress.com/2010/04/biomicroscopio_sist_iluminacion.pdf



- 7) Paulo Guzmán Reyes. Biomicroscopía. Tecnología Médica en Oftalmología. Publicado el 7 Mayo, 2018. Disponible en: <http://tecnologiamedicaoftalmo.blogspot.com/2018/05/biomicroscopia.html>
- 8) Felix Beniamin Moraru. Recopilación de Técnicas de Medida y Observación utilizando un Biomicroscopio. Facultad de Óptica y Optometría – UPC. Publicado 12 Junio, 2019. p 11 – 23. Disponible en: <file:///C:/Users/Sergi/Desktop/QT8/TFG/Nueva%20carpeta/felix.beniamin.moraru%20-%20TFG%20-%20Felix%20Morar%20fitxer%20de%20consulta.pdf>
- 9) Equipo médico Bogotá Láser. Topografía corneal: Qué es, función, tipos y procedimiento. BogotáLáser. Publicado el 12 Noviembre, 2020. Disponible en: <https://www.bogotalaser.com/topografia-corneal>
- 10) Arriba Salud. Topografía Corneal: ¿Qué es?, Historia. Procedimiento y Usos de Esta Técnica. www.arribasalud.com (2019). Disponible en: <https://arribasalud.com/topografia-corneal/>
- 11) Natalia Michelle Paniagua De La Paz. Caracterización de patrones topográficos. Facultad de Óptica y Optometría – UPC. Publicado el 12 Junio, 2019. p 10 – 16. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/189253/natalia.michell.paniagua%20-%20TFG%20word%203..pdf>
- 12) Jesús Pizarroso Pulido. Topografía Corneal, «manual de uso y disfrute» Elaboración de Exámenes e Interpretación de Topografías Corneales. Optoclínicos. Publicado el 18 Marzo, 2019. Disponible en: <https://optoclinicos.com/2019/03/18/topografia-corneal-manual-de-uso-y-disfrute-2/>



- 13) Instituto Oftalmológico Fernández-Vega. Pruebas diagnósticas: topografía corneal, ¿qué es y para qué sirve?. Publicado el 7 Octubre, 2019. Disponible en: <https://fernandez-vega.com/blog/pruebas-diagnosticas-topografia-corneal-sirve/>

- 14) Caridad Griñó García-Pardo, Francisco Lugo Quintás, Margarita León, Sara Ligeró, Jose María Ruiz Moreno, Javier Montero Moreno. Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) Funcionamiento y utilidad en patología macular (I). Artículos Científicos. Disponible en: <http://www.cgcoo.es/download.asp?file=media/gaceta/gaceta427/cientifico1.pdf>

- 15) Herbert Stern Diaz. La tomografía de coherencia óptica en oftalmología - Optical coherence tomography on ophthalmology. Revista Anales Ranm. Publicado el 30 Noviembre, 2019. Disponible en: https://analesranm.es/revista/2019/136_03/13603rev06

- 16) Marina Márquez Tamurejo. Manual para el registro e interpretació de capturas con tomografía de coherencia óptica. Facultad de Óptica y Optometría – UPC. Publicado el 25 Enero, 2019. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/330899/marina.marquez.tamurejo%20-%20TFG18+6MARINAMARQUEZ.pdf>

- 17) M^a Encarnación Correa Pérez. Fiabilidad de la Tomografía de Coherencia Óptica de Dominio Espectral para la Medición del Espesor Corneal Central. Universidad de Valladolid - Instituto de Oftalmobiología aplicada (IOBA). Publicado el 4 Julio, 2013. Disponible en: <https://1library.co/article/tipos-oct-fiabilidad-tomograf%C3%ADa-coherencia-%C3%B3ptica-dominio-espectral.wq2w0drq>



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa