

I N F O R M A C I Ó N

I N F O R M A C I Ó N

I N F O R M A C I Ó N

I N F O R M A C I Ó N

I N F O R M A C I Ó N

LÁSER DE FEMTOSEGUNDO

El futuro de la cirugía corneal

Dra. Isabel Mayo Pampín

Dra. Soledad Peña

Servicio de Oftalmología.

Hospital Universitario La Fé. Valencia

I N F O R M A C I Ó N

I N F O R M A C I Ó N

I N F O R M A C I Ó N

I N F O R M A C I Ó N

I N F O R M A C I Ó N



Edita: **Domènec Pujades**

ISSN: 84-1887-4096

© Artículo: **Dra. Isabel Mayo Pampín,**
Dra. Soledad Peña

© Revista: **Laboratorios Thea**

Todos los derechos reservados. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etc.), sin el permiso previo de los titulares de los derechos de la propiedad intelectual.

Impresión: **Eurográfica Sant Vicenç**

Depósito legal: B-9565/2007

Laboratorios Thea publica íntegramente los manuscritos recibidos de sus legítimos autores sin introducir modificaciones en éstos y, por ello, no se hace responsable de las opiniones e informaciones contenidas en los artículos.

 **Thea**
INNOVACIÓN

Número 59. Mayo 2010

ÍNDICE

La córnea: anatomía y función	4
Epitelio	4
Capa de Bowman	5
Estroma	5
Membrana de Descemet	5
Endotelio	6
Exploraciones de la córnea	6
La cirugía refractiva. ¿En qué consiste?	9
¿Qué es el láser de femtosegundo?	11
¿Qué ventajas tiene el láser de femtosegundo?	15
¿Qué posibilidades ofrece el láser de femtosegundo?	16
Creación de flaps	16
Túneles corneales	17
Incisiones para corregir astigmatismos	18
Bibliografía	20

LA CÓRNEA: ANATOMÍA Y FUNCIÓN

La córnea es la primera estructura del segmento anterior. Se trata de un tejido altamente diferenciado que permite la refracción y la transmisión de luz a su través. Su aspecto externo es elíptico, con un eje vertical de 11.7 en los varones y 10.7 en las mujeres; el eje horizontal es 1.1 mm mayor que el vertical. El cambio progresivo de la córnea transparente a la esclera opaca crea cierta imprecisión y explica que algunos sistemas de medición automatizada como el Orbscan den valores de “blanco a blanco” algo mayores que los anatómicos antes citados¹.

La córnea tiene un grosor medio de 550 micras. Durante la cirugía refractiva no es aconsejable eliminar más de 150 micras puesto que un espesor final inferior a 400 micras predispone a la aparición de ectasias corneales².

Desde el punto de vista refractivo, la córnea se compone de dos dioptrios aproximadamente esféricos. El dioptrio anterior (índice del aire= 1/córnea= 0.377) corresponde a una potencia convergente de 48.33 dioptrías, esto es, más de $\frac{3}{4}$ de la refracción total del ojo, unas 60 dioptrías. El dioptrio posterior (córnea= 0.377/acuoso= 0.337) es divergente, de unas - 6.15 dioptrías. Los topógrafos corneales suelen ajustar el índice de refracción, de forma que al convertir a dioptrías las mediciones de la cara anterior nos den el poder total de la córnea (unas 42 dioptrías) suponiendo que el dioptrio posterior no varíe^{3,4}.

Histológicamente, la córnea se compone de cinco capas: el epitelio con su membrana basal, la capa de Bowman, el estroma, la membrana de Descemet y el endotelio. Se relaciona por delante con la película lagrimal, por detrás con la cámara anterior (humor acuoso) y en su perímetro con el limbo esclerocorneal, esclerótica y conjuntiva bulbar. De forma dinámica, la córnea entra en contacto con la conjuntiva tarsal durante el sueño y el parpadeo.

A continuación repasaremos brevemente la histología corneal^{1,3-7}:

EPITELIO

Constituye aproximadamente la décima parte del grosor total de la córnea.

Es estratificado, escamoso y no queratinizado. Comprende varias capas:

- Una capa única de células columnares basales que se unen mediante hemidesmosomas a la membrana basal epitelial.
- Dos o tres filas de células en forma de alas.
- Dos capas de células de superficie escamosa.
- La superficie de las células más externas está aumentada por micropliegues y microvellosidades que facilitan la absorción de mucina, esencial para la humectación corneal. Después

de un tiempo de vida de algunos días las células superficiales se desprenden a la película de lágrimas. Debido a su excelente capacidad de regeneración, el epitelio no se escarifica tras ser lesionado.

Las células madre epiteliales están localizadas principalmente en el limbo superior e inferior, y son indispensables para el mantenimiento del epitelio corneal sano. También actúan como barrera de la unión, evitando que el tejido conectivo crezca en el interior de la córnea. La disfunción o deficiencia de las células madre límbicas puede dar lugar a defectos epiteliales crónicos, sobrecrecimiento del epitelio conjuntival en la superficie corneal y vascularización. Algunos de estos problemas pueden evitarse mediante trasplante de células límbicas.

CAPA DE BOWMAN

Esta estructura aparece en los primates pero no en la rata ni en el conejo. Se trata de una capa superficial acelular y avascular de la estroma que cicatriza cuando se daña. Posee un espesor de 30 a 60 micras, siendo más delgada en la infancia y ganando grosor con la edad.

Bajo microscopía óptica la capa de Bowman parece homogénea. Sin embargo, la microscopía electrónica muestra que está formada por fibras de colágeno dispuestas de manera desordenada (principalmente colágeno I y colágeno III), lo que le confiere gran resistencia al traumatismo. Aunque tradicionalmente se le ha otorgado gran importancia en el mantenimiento de la transparencia corneal, la experiencia muestra que tras su ablación mediante láser excimer en la queratectomía fotorrefractiva, ésta no se regenera y los pacientes continúan teniendo un epitelio corneal normal. Además, carece de capacidad regeneradora. Su verdadera función permanece todavía por determinar.

ESTROMA

Ocupa aproximadamente el 90% del grosor de la córnea. Está compuesta principalmente por capas de fibrillas de colágeno orientadas de forma regular cuya separación es mantenida por una sustancia fundamental de proteoglicanos (condroitín sulfato y queratán sulfato) con fibroblastos modificados (queratocitos) intercalados entre sus capas. En el estroma también están presentes algunas células transeúntes como leucocitos y macrófagos.

MEMBRANA DE DESCOMET

Tiene un espesor de aproximadamente 8-12 micras en los adultos. Forma la lámina basal del endotelio de la córnea manteniéndose débilmente unido al estroma. Está compuesta por un fino enrejado de fibrillas de colágeno. Consta de una zona estriada anterior que se desarrolla en el útero y otra zona no estriada posterior que se establece a lo largo de la vida sobre el endotelio.

Cuando se corta, como ocurre durante algunas intervenciones quirúrgicas, tiende a enrollarse hacia la cámara anterior. Periféricamente aparecen en el ojo normal engrosamientos localizados de esta membrana que reciben el nombre de cuerpos de Hassall-Henle.

ENDOTELIO

Consta de una única capa de células hexagonales no regenerables ligadas entre sí por uniones estrechas. Con la edad el número de células endoteliales descende gradualmente, por lo que las células endoteliales han de aumentar de tamaño para llenar el espacio. Sin embargo, puede existir una capacidad de regeneración y multiplicación limitada ante el daño endotelial en los niños, pero esta capacidad se pierde en la edad adulta. Este envejecimiento puede darse de manera exagerada en las distrofias y tras cirugías oculares. En el adulto joven existen entre 3.000 y 3.500 células/mm², considerándose como críticas las cifras entre 500 y 700 células/mm². La pérdida endotelial se manifiesta además por el polimegatismo (diversidad de tamaño entre las células), pleomorfismo (diversidad de formas) y aumento de la poligonalidad asociado a un incremento de la permeabilidad.

Presenta un gran número de mitocondrias y una intensa actividad metabólica. Además, desempeña un papel vital en el mantenimiento hídrico de la córnea y en su transparencia ya que bombea agua desde la córnea impidiendo su acumulación en el estroma.

Las diferentes capas corneales reciben los metabolitos a través de los vasos límbicos y del humor acuoso.

Una gran cantidad de terminaciones nerviosas confieren a la superficie corneal su exquisita sensibilidad, siendo el tejido corporal con más terminaciones nerviosas por centímetro cuadrado.

EXPLORACIONES DE LA CÓRNEA

Para poder entender mejor el funcionamiento y las bondades del láser de femtosegundo, repasaremos someramente algunos de los métodos exploratorios que se realizan antes de decidir el uso de este láser^{1,8}.

Las principales técnicas en las que nos apoyamos son: paquimetría, microscopía especular, queratometría y topografía corneal.

La paquimetría mide el espesor corneal, que es un índice indirecto de la integridad del endotelio corneal. El espesor de la córnea aumenta hacia el limbo, donde oscila entre 0.7 y 0.9 mm. El espesor corneal central normal está entre 0.49 y 0.56 mm; valores de 0.6 mm o más son sugestivos de enfermedad endotelial.

La microscopía especular fotografía el endotelio corneal y analiza posteriormente características celulares como tamaño, forma, densidad y distribución. La célula endotelial normal es un hexágono regular. La densidad celular normal es aproximadamente de 3.000 células por mm^2 ; recuentos por debajo de 1.000 mm^2 se asocian con un riesgo importante de descompensación endotelial.

La queratometría mide la curvatura corneal de los 2-3 mm axiales de la superficie corneal anterior. Esta prueba se basa en el hecho de que la córnea actúa como un espejo convexo con curvaturas fijas en cada meridiano. Esto permite las posiciones de dos puntos verticales y dos puntos horizontales proyectados por el instrumento para su reflexión fuera de la superficie corneal. Se mide el radio en milímetros y se convierte en dioptrías. Ahora bien, esta prueba tiene una serie de limitaciones entre las que destacamos:

- La asunción de que la córnea es una superficie esféricilíndrica con un radio de curvatura único en cada meridiano y con ejes mayores y menores de 90 grados en cada uno.
- La queratometría mide sólo cuatro puntos separados aproximadamente por 3 mm y no proporciona información acerca de la córnea central o periférica a los puntos analizados.

Las irregularidades leves de la superficie corneal pueden causar distorsión que comprometa la exactitud de la visión. Por lo tanto, la queratometría tiene un uso limitado para medir córneas que no son esféricilíndricas, como ocurre con frecuencia en la cirugía refractiva, el queratocono y otras anomalías corneales.

La topografía corneal con videoqueratoscopia asistida por ordenador (fig. 1) proporciona un mapa con colores codificados de la superficie corneal. Las potencias dióptricas de los meridianos más escarpados y más aplanados y sus ejes también se calculan y muestran.

La topografía nos permite:

- Cuantificar el astigmatismo irregular y la distorsión corneal asociada al porte de lentes de contacto.
- Diagnosticar el queratocono precoz. Mientras que el queratocono avanzado es fácil de diagnosticar, los casos precoces o subclínicos suponen un desafío diagnóstico.
- Evaluar el preoperatorio y los cambios postoperatorios en los contornos corneales después de la cirugía refractiva o tras un implante de córnea.

La topografía muestra sus resultados (fig. 2) con dos tipos de escalas:

- *Escalas absolutas*: estas escalas tienen puntos extremos fijos y cada color en particular representa un intervalo específico de la potencia dióptrica. La mayoría de las córneas normales se encuentran dentro del espectro amarillo-verde. Debe emplearse siempre una escala absoluta para facilitar la comparación en el tiempo y entre los pacientes.

- *Escalas relativas (normalizadas)*: no son fijas y varían según el rango dióptrico de cada córnea individual. Es muy importante mirar cuidadosamente la escala antes de interpretar el mapa.

Figura 1. Topógrafo corneal.

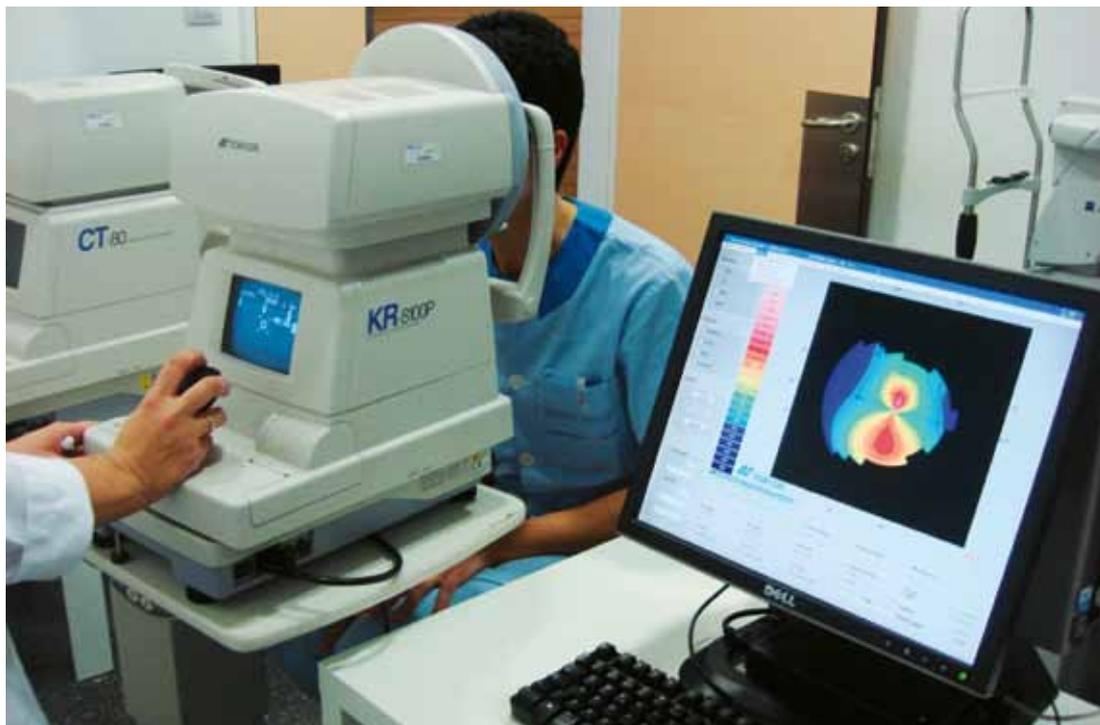
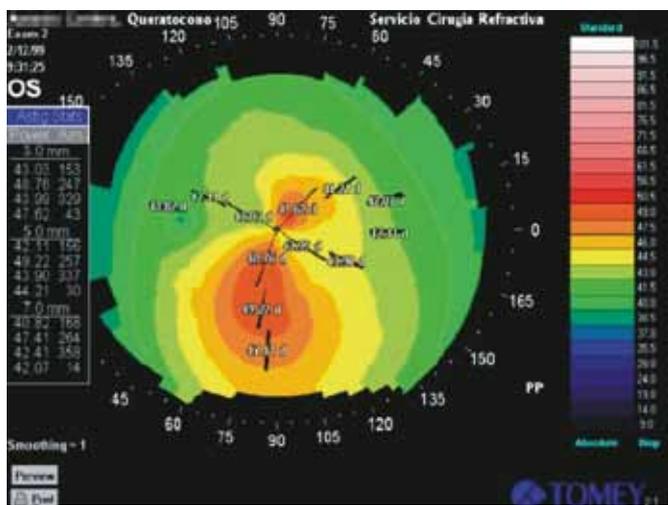


Figura 2. Topografía que muestra astigmatismo.

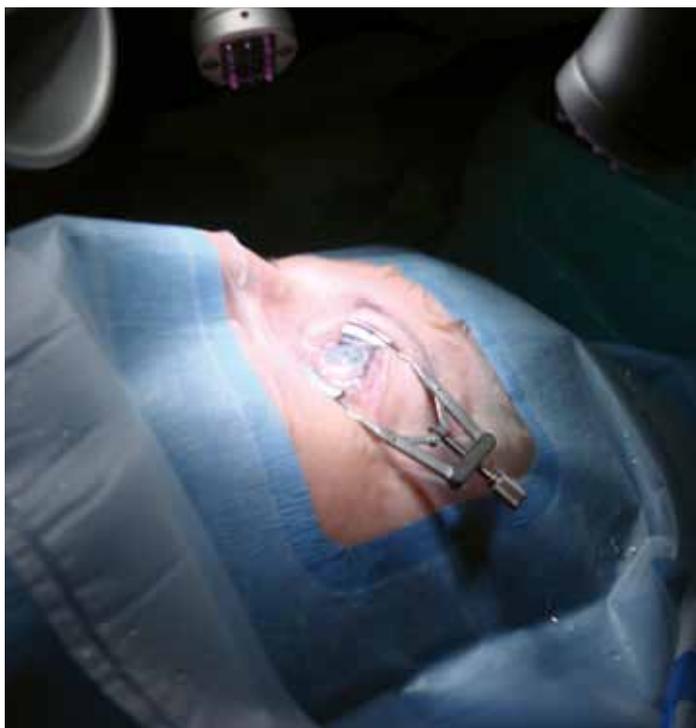


LA CIRUGÍA REFRACTIVA. ¿EN QUÉ CONSISTE?

La cirugía refractiva (fig. 3) comprende un amplio abanico de procedimientos dirigidos a modificar la refracción del ojo alterando la córnea y/o el cristalino, que son los principales componentes del dioptrio ocular. De esta manera, es posible corregir la miopía, la hipermetropía, el astigmatismo y la presbicia^{1,2,9,10}.

Actualmente, el procedimiento refractivo más empleado es la queratomileusis in situ con láser (LASIK) (figs. 4 y 5). Permite corregir una hipermetropía de hasta 4 dioptrías, un astigmatismo de hasta 5 dioptrías y una miopía de hasta 10 dioptrías. Para evitar el riesgo de ectasia corneal, debe procurarse un lecho corneal residual de 250 micras de espesor tras el corte del colgajo y la abrasión tisular. Por tanto, la paquimetría limita la realización de la cirugía y la cantidad de tejido a extirpar. El espesor del colgajo es variable pero hay que tener en consideración que cuanto más delgado sea, mayor será su tendencia a romperse y a arrugarse.

Figura 3. Preparación del paciente antes de la cirugía refractiva.



La intervención quirúrgica consta de varios pasos:

- Se aplica un anillo de succión sobre el globo ocular que eleva la presión intraocular por encima de 65 mmHg. Esta elevación brusca de la presión intraocular puede ocluir temporalmente la arteria central de la retina aboliendo la visión (fig. 6).
- El anillo se centra sobre la córnea proporcionando una guía sobre la que se inserta un microqueratomo automatizado (fig. 7).
- El microqueratomo avanza mecánicamente sobre la córnea tallando el colgajo (fig. 8).
- La succión se libera y se levanta el colgajo. Sobre el lecho corneal es aplicado el láser excimer (fig. 9).
- Se recoloca el colgajo nuevamente y se le deja sin manipular 30 segundos.

Figura 4. Preparación del quirófano antes de la cirugía.



Figura 5. Preparación del campo quirúrgico.

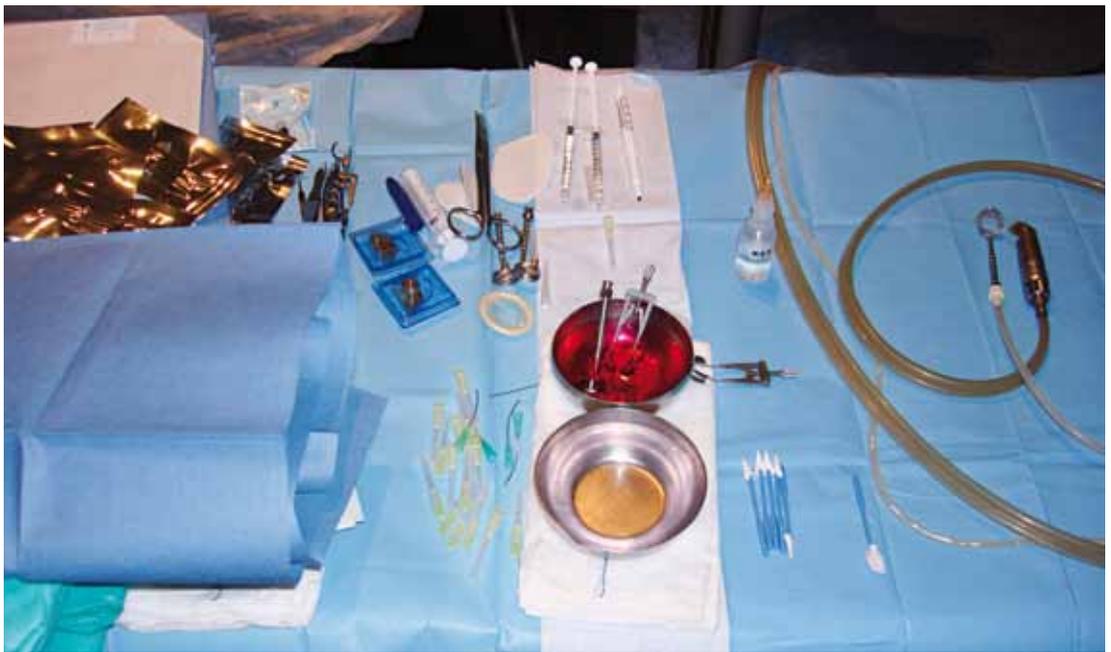


Figura 6. Microqueratomo.



Figura 7. Manejo del microqueratomo.



Son varias las complicaciones asociadas al uso del microqueratomo. Algunas son:

- Orificios en el botón corneal “bottom-hole”.
- Colgajos delgados.
- Amputación del colgajo.
- Colgajos incompletos o irregulares.
- Perforación corneal de forma excepcional.

¿QUÉ ES EL LÁSER DE FEMTOSEGUNDO?

El láser de femtosegundo (fig. 10) está ganando cada vez más popularidad en varios campos de la medicina. No sólo se usa en Oftalmología sino también en Neurocirugía y en Odontología.

Actualmente la FDA tiene aprobados varios láseres en el mercado: Femtec (20/10 Perfect Vision, Heidelberg, Alemania), Femto Leonardo Da Vinci (Femto LDV; Ziemer Ophthalmic Systems, Port, Suiza), IntraLase FS laser (IntraLase Corp., Irvine, California) y VisuMax (Carl Zeiss Meditec AG, Jena, Alemania). Todos estos sistemas se basan en el mismo principio de trabajo. En comparación con el IntraLase y Femto LDV, el láser Femtec y VisuMax usan una interfase que es

Figura 8. Creación del flap.

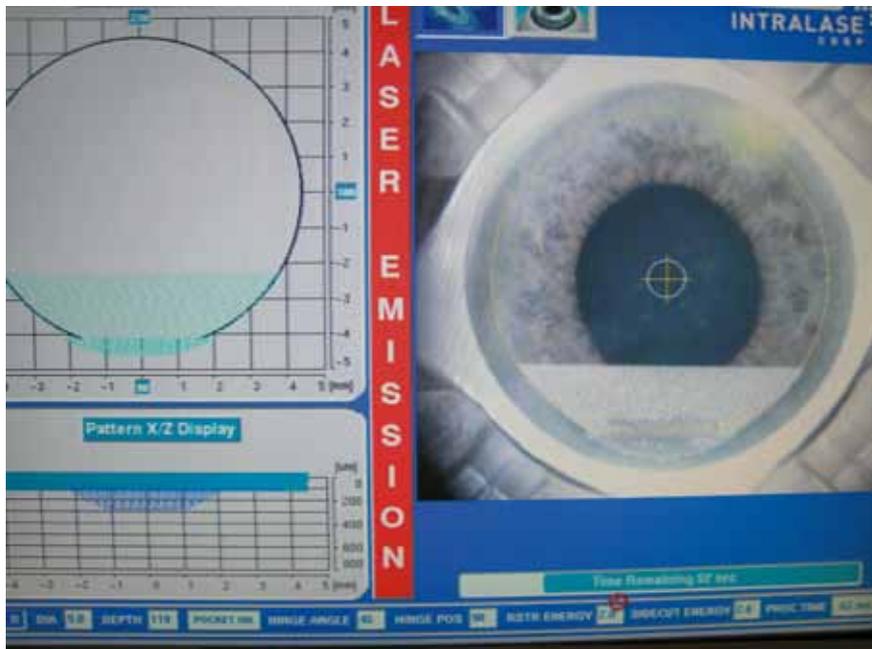


Figura 9. Secado del lecho corneal tras la creación del flap.



similar a la curvatura de la córnea humana. Debido a esta similar curvatura, se necesita muy poca energía de succión cuando el ojo está conectado al láser, además de proteger los tejidos y evitar las pérdidas de visión durante la cirugía.

La principal diferencia entre estos tres sistemas de láser femtosegundo (VisuMax, Femtec y Femto LDV) y el láser Intralase está en la flexibilidad de cada sistema. Con Intralase, el cirujano puede calcular la profundidad del corte, así como una infinidad de variedades de corte. Además, Intralase es el único láser de femtosegundo que tiene la acreditación de la FDA para realizar procedimientos que afecten al espesor total de la córnea.

Por su parte, Femto LDV es el primer láser de femtosegundo que cuenta con una estación de trabajo móvil para crear flaps que serán modelados posteriormente con un microqueratomo mecánico. El Femto LDV es lo suficientemente pequeño como para ser instalado próximo al láser excimer, por lo que el paciente puede permanecer en la misma camilla durante la creación del corte y la ablación. Esta cualidad permite integrar el procedimiento ganando en fluidez y rapidez en la práctica quirúrgica.

Figura 10. Láser de femtosegundo.

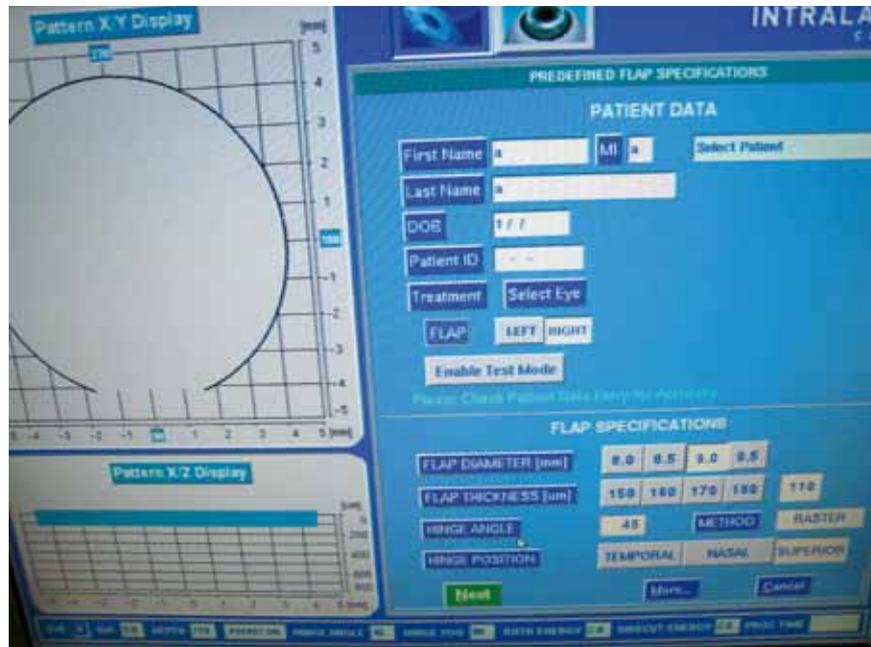


Probablemente, el componente que más espacio ocupa de cualquiera de los sistemas de láser femtosegundo es la estación amplificadora, la cual consume mucha energía, genera gran cantidad de calor y hace que el equipo sea sensible a las condiciones medioambientales. Sin embargo, el Femto LDV no requiere una estación amplificadora separada y su producción de energía se reduce ostensiblemente. Este es un importante aspecto de este láser, ya que supone una seguridad añadida.

El láser de Femto LDV trabaja con ratios de pulsos de varios MHz, aproximadamente 1.000 veces más rápido que otros láseres de femtosegundo convencionales. Esto conlleva pulsos de láser cortos (200 a 300 femtosegundos) de baja densidad de energía con un menor riesgo de efectos colaterales no deseados (coagulación del tejido, cavitación de las burbujas que llevan a una opacificación de las burbujas en el estroma corneal)¹¹. (Fig. 11)

La creación del flap corneal con el microqueratomo es probablemente el paso más importante durante la cirugía con laser in situ keratomileusis (LASIK). Las complicaciones relacionadas con el flap suceden aproximadamente en el 5% de los casos, implicando el retraso en la recuperación de la agudeza visual y en algunas ocasiones la pérdida permanente de visión. Los flap con grosores desiguales limitan la precisión del cálculo del lecho corneal, sobre todo en los casos en los que se pretende corregir grandes defectos refractivos o aquellos sujetos que tienen un espesor corneal límite¹².

Figura 11. Programa informático del láser de femtosegundo.



El láser de femtosegundo lidera la revolución dentro del campo de la cirugía corneal, especialmente en el desarrollo de la nueva cirugía refractiva. El láser Intralase se convirtió en el primer láser de femtosegundo aprobado en EE.UU para realizar incisiones durante las cirugías de trasplante de córnea. Hasta la fecha se han realizado más de 700.000 procedimientos con el láser Intralase. Gracias a la precisión óptica de este láser es posible realizar cortes en la córnea evitando el efecto mecánico del microqueratomo o bisturí¹³. Mediante la emisión de 15.000 pulsos infrarrojos por segundo logra separar el tejido a nivel molecular sin transferencia de calor o impactos al tejido circundante. Este proceso se conoce con el nombre de fotodisrupción. La fotodisrupción provoca un fenómeno llamado “Láser Induce Optical Breakdown” (LIOB). Este fenómeno se produce cuando un haz de pulsos de láser de muy corta duración genera un plasma que se expande a gran velocidad y desplaza el tejido próximo. El plasma extendido continúa a través del tejido como un frente de onda. Cuando el frente de onda pierde energía y velocidad las ondas acústicas desaparecen y el plasma se enfría, tomando la forma de una burbuja. Cuando estas burbujas confluyen se crea un entramado en el interior de la córnea que por efecto presión separa esa porción de tejido. En este proceso se elimina una pequeña cantidad de tejido (menos de 1 micra); la burbuja creada se compone principalmente de dióxido de carbono y agua, la mayoría de los cuales son evacuados cuando se levanta el flap para exponer el lecho corneal¹⁴⁻¹⁸.

El punto en el que se enfría es la profundidad a la que queremos crear la fotodisrupción, es decir, el punto en que focaliza el láser.

¿QUÉ VENTAJAS TIENE EL LÁSER DE FEMTOSEGUNDO?

Se han publicado numerosos artículos que comparan los resultados alcanzados en el LASIK practicado con láser de femtosegundo versus LASIK con microqueratomo mecánico. De todos ellos, el estudio más reciente¹⁹, realizado sobre 200 ojos, revela que:

- El láser de femtosegundo es seguro y efectivo.
- Los resultados visuales son mejores con el láser de femtosegundo porque ocurren pocas aberraciones de alto orden.

El láser de femtosegundo se emplea bajo un programa informático que permite un total dominio sobre las características del flap corneal. Esta computerización permite reducir considerablemente los riesgos asociados al microqueratomo. La creación de flaps meniscados, típica de los microqueratomos mecánicos, induce aberraciones y otros efectos negativos sobre el resultado refractivo de las cirugías, especialmente de las altas ametropías. Intralase crea un flap de caras paralelas con espesor constante y bordes ortogonales que mejora los deslizamientos y disminuye la posibilidad de aparición de microestrías. Así, el corte es óptimamente neutro en la corrección de cualquier ametropía con el Lasik. Con Intralase podemos orientar la creación del flap disminuyendo los problemas de ojo seco frecuentemente asociado a la cirugía LASIK. Además, al tener un control absoluto sobre el espesor del flap, permite operar de una forma más segura a pacientes con queratometrías comprometidas y reduce el riesgo de ectasias postquirúrgicas. Otras de las bondades de este láser son la creación de flaps completos, con bordes regulares, centrados en el eje pupilar, con diámetros prefijados exactos, caras paralelas, ubicación a conveniencia de la bisagra y sin alteraciones epiteliales al no existir fricción. Además, al levantar el flap nos encontramos con una interfase seca, por lo que no requiere que se seque y se elimina el riesgo de dejar una zona más húmeda que otra. Ofrece la libertad de realizar cortes a partir de 90 micras con un error máximo entre lo programado y lo obtenido de 5 micras. Por ejemplo, con el sistema Femtec las desviaciones en el grosor del flap son entre 9 micras y 11 micras dependiendo del grosor del flap intentado. Los microqueratomos mecánicos suelen tener desviaciones entre 20 y 35 micras. Sólo los últimos sistemas disponibles como el Amadeus II (Advanced Medical Optics, Inc., Santa Ana, California) o Carriazo Pendular (Schwind eye-tech-solutions, Kleinostheim, Alemania) con desviaciones estándar entre 12 y 15 micras se aproximan a la seguridad del láser de femtosegundo. Los cortes pueden llevarse a cabo desde todos los ángulos de la córnea, representando toda una ventaja frente a la queratoplastia o arcuatas clásicas. Y lo que es muy importante, la incidencia de perforaciones ha disminuido significativamente por el alto control sobre la profundidad del canal realizado^{17,20,21}.

El empleo de este láser ha redundado en una mayor tranquilidad para el oftalmólogo y una mayor seguridad para el paciente. En cuanto al post-operatorio, la calidad visual y la necesidad de retratamientos, no hay grandes variaciones respecto al microqueratomo mecánico. Sí hay que señalar que el empleo del láser de femtosegundo dificulta el levantamiento del flap en los retratamientos, sobre todo si se ha producido una DLK, debido a la dificultad para encontrar el plano real de disección.

En resumen, la gran ventaja frente al microqueratomo es que permite individualizar cada procedimiento de LASIK: la posición de la bisagra, el grosor y el diámetro del flap.

Sin duda alguna, la tecnología de femtosegundo supone una revolución en la cirugía refractiva y en la excelencia de sus resultados.

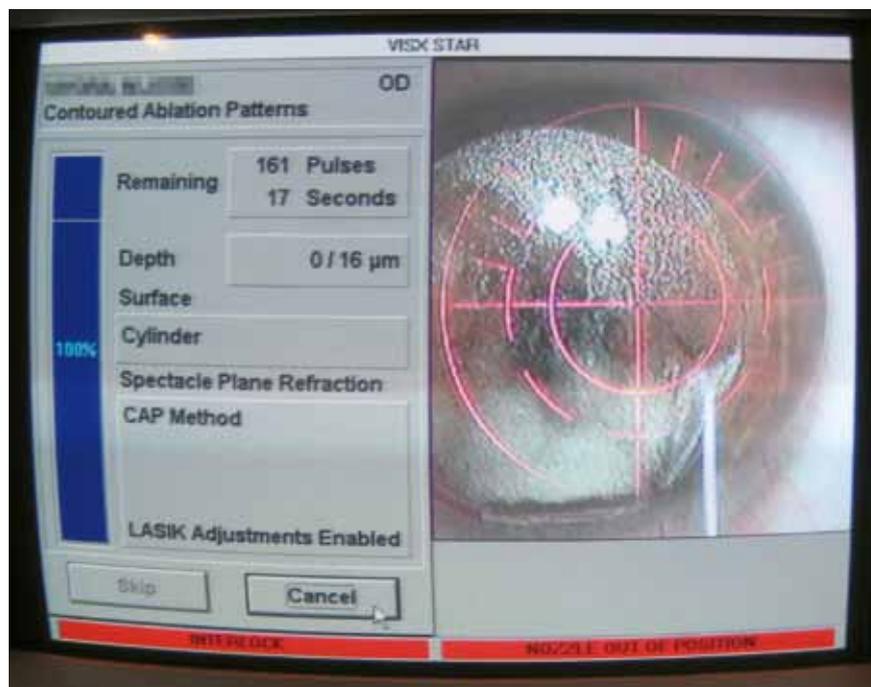
¿QUÉ POSIBILIDADES OFRECE EL LÁSER DE FEMTOSEGUNDO?

La precisión, calidad y seguridad del tallado corneal realizado por el láser de femtosegundo lo convierten en un instrumento de enorme versatilidad. Algunas de sus aplicaciones son²²:

CREACIÓN DE FLAPS (Fig. 12)

La creación de flaps para la práctica de LASIK ha sido la primera aplicación del láser de femtosegundo. Recientes estudios²³ han demostrado mayor predictibilidad en el grosor del flap, un aumento insignificante en la aparición de aberraciones de alto orden, una mejor agudeza visual no corregida, mayor estabilidad postoperatoria, una mejor sensibilidad al contraste (en condiciones fotópicas y

Figura 12. Ablación corneal por láser de femtosegundo.



mesópicas) y una disminución de los defectos epiteliales relacionados con el microqueratomo. Sin embargo, complicaciones relacionadas con el flap como queratitis lamelar difusa o flaps incompletos han sido descritos. Además, las aberraciones esféricas aumentan tras la cirugía con femtosegundo si bien no tanto como con el microqueratomo. Las diferencias geométricas creadas sobre el lecho estromal parecen jugar un papel importante en las diferencias entre ambas técnicas.

TÚNELES CORNEALES

Según los últimos informes y series analizadas, el implante de segmentos intracorneales a través de una incisión realizada en el eje positivo de la córnea, usando un normograma diseñado al efecto, permite mejorar la visión espontánea de los pacientes con queratocono y su agudeza visual. Además, ayuda a disminuir su refracción miópica y astigmática y mejora la adaptación de lentes de contacto al disminuir la prominencia del cono²⁴⁻²⁶.

La colocación de anillos se usa también para la corrección de miopías leves o moderadas, manejo de la degeneración marginal pelúcida y ectasias corneales postoperatorias iatrógenas.

Los anillos corneales se colocan en el interior de túneles labrados en el espesor del estroma. Hay 2 formas de crear estos canales; una de ellas es mecánica y la otra trabaja mediante la fotodisrupción (láser de femtosegundo).

Ratkay-Traub et al²⁷ reportaron los primeros resultados clínicos del uso de láser de femtosegundo para la colocación de anillos intraestromales (Intacts). Tras estudiar 16 ojos en los que se creó el túnel con este láser, se consiguieron los mismos resultados refractivos que con los métodos convencionales. No hubo complicaciones intraoperatorias.

Datos presentados en Alicante Refractiva Internacional 2006 por distintos investigadores han revelado que el empleo de la tecnología de femtosegundo ha reducido prácticamente a cero la existencia de complicaciones como la perforación o la rotación o la extrusión del anillo. Esto se explica por el hecho de que el láser de femtosegundo permite crear en menos de un minuto un canal de tamaño, ubicación y profundidad predeterminados con lo que los resultados se optimizan²². La profundidad del canal debe hacerse entre 100 y 400 micras y colocar el anillo en el 70% de profundidad. El diámetro interno y el diámetro externo del canal debe estar situado entre 4 mm y 9.4 mm y 4.1 mm y 9.5 mm, respectivamente.

Pero, el láser de femtosegundo alcanza sólo una profundidad máxima de 400 micras. Otra desventaja añadida es que algunas veces es difícil empujar los segmentos porque siguen existiendo algunos puentes de colágeno en los canales, lo que hace que haya que empujar más. Además, en el caso de que se usen altos niveles de energía, es posible una fibrosis postoperatoria en el lugar de la incisión.

Otro contratiempo es que cuando el Intralase se usa para la creación de túneles en ojos con queratocono, existe el riesgo de descentramiento del canal respecto a la pupila.

Recientemente, se ha publicado un estudio de 118 ojos (69 pacientes)²⁸ a los que se les han implantado Intacts usando el láser de femtosegundo. Tras un año de seguimiento, tanto la agudeza visual no corregida (UCVA) como la mejor agudeza visual corregida (BCVA) han aumentado significativamente en el 81 % y el 73.7% de los pacientes, respectivamente. Durante el último Congreso de la Sociedad Americana de Oftalmología (AAO) del 2006²⁹, Ertan y Colin mostraron en un estudio de 205 ojos (150 pacientes) que el láser de femtosegundo comparado con la creación mecánica del canal proporcionaba una mejora en los resultados refractivos. Los cambios en los valores queratométricos fueron similares.

En conclusión, el láser de femtosegundo para la implantación de anillos ofrece seguridad, menos trauma corneal que el microqueratomo, esterilización de los tejidos y alta reproductibilidad. Sin embargo, debemos tener presentes sus limitaciones.

INCISIONES PARA CORREGIR ASTIGMATISMOS

Queratoplastia lamelar endotelial

La queratoplastia lamelar implica la resección de espesor parcial del epitelio corneal y la estroma conservando la estroma profunda y el endotelio. La técnica es similar a la que se realiza para la queratoplastia penetrante, si bien sólo se implanta una zona de espesor parcial. La queratoplastia lamelar profunda es una variante en la que se extrae todo el tejido corneal hasta la altura de la membrana de Descemet. La queratoplastia lamelar tiene la ventaja de que preserva el endotelio de la córnea receptora, lo que permite reducir complicaciones como la infección y el rechazo. Sin embargo, tiene inconvenientes de carácter técnico. La disección manual con líquido y aire es difícil y deja un lecho irregular, con un resultado visual que no es el mejor. La disección con el microqueratomo no es fácil en una córnea con una estructura irregular, como la que se da, por ejemplo, en el queratocono, y llegar a un nivel predescemético tiene riesgos de microperforación.

Además, el láser de femtosegundo se ha usado para desarrollar un modelo de conejo para la queratoplastia lamelar posterior. Se ha logrado conseguir buenos cortes de trepanación y lamelar posterior con relativa facilidad y fiabilidad³⁰.

Intralase permite fotodisrupciones de hasta 400 micras, si bien no se recomienda sobrepasar las 250 micras debido a la calidad del lecho restante. A este hecho se unen dos mejoras significativas que incrementan la estabilidad del trasplante y el resultado visual final: 1) La posibilidad de realizar una doble fotodisrupción en el mismo plano (doble raster) que mejora la uniformidad del lecho corneal. 2) El perfil del corte puede ser angulado o vertical³¹⁻³³.

Recientemente, Tomalla et al³⁴ han diseñado una nueva técnica llamada queratoplastia lamelar endotelial asistida por láser de femtosegundo (FLEK). Según sus autores esta técnica, realizada por primera vez con láser de femtosegundo Femtec, es segura, precisa y efectiva. Además, permite al cirujano aplicar el láser intraestromalmente con una profundidad, ángulo de corte y diámetro predeterminados. Gracias a la creación de estos ángulos de corte tan precisos los riesgos de descen-tración se minimizan.

Queratoplastias penetrantes

También se denomina trasplante de córnea. Consiste en reemplazar el tejido anormal del huésped por tejido corneal de espesor completo de un donante sano.

El desarrollo del láser de femtosegundo para realizar las incisiones en el trasplante de córnea comenzó en el año 2003, en la Universidad de California, donde se practicaban estudios con ojos de cadáveres³⁵.

Clínicamente, el procedimiento es conocido como queratoplastia asistida por Intralase (IEK). Según la patología subyacente, el láser de femtosegundo permite personalizar las condiciones del trasplante. Es posible tallar un perfil que aumente la superficie de contacto entre la córnea recep-tora y la donante favoreciendo un cierre más o menos hermético (zig-zag). Podemos optar por preservar más endotelio del receptor (mushroom) o bien trasplantar la mayor cantidad de endo-telio (top-hat). Así, la zona de transición donante-receptor es más homogénea, lográndose una recuperación visual más rápida y una reducción del astigmatismo inducido^{36,37}.

Teniendo como punto de inicio estos cimientos, el horizonte de la cirugía corneal refractiva y terapéutica está tomando nuevos rumbos. Tal y como hemos explicado antes, el LASIK primario se beneficia de unos resultados más óptimos, y lo que es más, favorece el LASIK secundario al hacer viable intervenciones sobre córneas con queratometrías comprometidas. Lentes intraoculares bifocales, multifocales y acomodativas se implantan a diario persiguiendo la emetropía. El láser de femtosegundo permite dar un paso más en el desarrollo de las lentes multifocales al permitir corregir defectos refractivos residuales.

Sin duda, con el tiempo se descubrirán nuevas aplicaciones de este láser.

El tiempo demostrará si se confirman las predicciones del Dr. Steinert durante el XXIV Congreso de la ESCRS en Londres: “ en los próximos años el 80 % de la cirugía corneal refractiva y terapéu-tica se realizará con un láser de femtosegundo”.

BIBLIOGRAFÍA

1. Kanski. *Oftalmología clínica*. Edición Elsevier 2004; 97-103.
2. Andreu Coret, Lluís Caveró. *Algoritmos de decisión en cirugía refractiva*. Ed. Ergon 2003; 19-27.
3. Cristina Peris, José Luis Menezo. *Membrana amniótica y superficie ocular*. Ed. Mac Line 2004; 9-11.
4. Rafael Barraquer, Marcia de Toledo, Eneth Torrea. *Distrofias y degeneraciones corneales*. Ed. Espaxs 2004; 29-42.
5. American Academy of Ophthalmology 2005. External disease and cornea; 8-12.
6. Juan J. Pérez-Santoja, José M. Hervás-Hernandis. *Queratitis infecciosas*. Ed. Ergon 2006; 1-3.
7. David BenEzra. *Inflamación de la superficie ocular*. Ed. Glosa 2003; 36-37.
8. American Academy of Ophthalmology 2005. External disease and cornea; 34-43.
9. Barraquer JJ. *Queratoplastia refractiva, estudios e informaciones oftalmológicas*. 1949; 2:10-30.
10. Barraquer JJ. *Cirugía refractiva de la córnea*. Instituto Barraquer de América-Bogotá, Tomo I, 1989.
11. Anton C. Wirthlin. *The ultrastable and compact femto LDV*. Cataract and refractive surgery today Europe 2007; 65-66.
12. Wilson SE. *LASIK: Management of common complications*. Cornea 1998;17:459-467.
13. Lee T. Nordan; Stephen G. Slade; Richard N. Baker; Carlos Suarez; Tibor Juhasz; Ron Kurtz. *Femtosecond Laser Flap Creation for Laser in situ Keratomileusis: Six-month Follow-up of initial U.S. Clinical series*. Journal of Refractive Surgery 2003; 19:8-14.
14. Imola Ratkay-Traub; Istvan E. Ferincz; Tibor Juhasz; Ron M. Kurtz; Ronald R. Krueger. *First Clinical results with the femtosecond Neodymium-glass laser in refractive surgery*. Journal of Refractive Surgery 2003; 19:94-103.
15. Juhasz T, Djotyán G, Loesel FH, Kurtz RM, Horvath C, Bille JF, Mourou G. *Applications of femtosecond lasers in corneal surgery*. Laser Physics 2000; 10:1-6.
16. Juhasz T, Loesel F, Kurtz RM, Horvath C, Mourou G. *Femtosecond laser refractive corneal surgery*. IEEE Journal of Special Topics in Quantum Electronics 1999; 5:902-910.
17. Ratkay-Traub I, Juhasz T, Horvath C, Suarez C, Kiss K, Ferincz I, Kurtz R. *Ultra-short pulse (femtosecond) laser surgery: Initial use in LASIK flap creation*. Ophthalmol Clin N Am 2001; 14:347-355.

18. www.intralase.com
19. Montez-Micó R, Rodríguez-Galiero A, Alió JL. *Femtosecond laser versus mechanical keratome LASIK for myopia*. *Ophthalmology*, 2007;114:62-68.
20. Pallikaris IG, Siganos DS. *Laser in situ keratomileusis to treat myopia:early experience*. *J Cataract Refract Surgery* 1997; 23:39-49.
21. Binder PS, Moore M, Lambert RW, Seagrist DM. *Comparison of two microkeratome systems*. *J Refract Surg* 1997;13:142-153.
22. Meltendorf C, Schroeter J, Bug R, et al. *Corneal trephination with the femtosecond laser*. *Cornea*. 2006; 25:1090-1092.
23. Kezirian GM, Stonecipher KG. *Comparison of the intralase femtosecond laser and mechanical microkeratomes for laser in situ keratomileusis*. *J Cataract Refract Surg*.2004;30:804-811.
24. Yaron S.Rabinowitz; Xiaohui Li; Teresa S. Ignacio; Ezra Maguen. *INTACTS Inserts using the femtosecond laser compared to the mechanical spreader in the treatment of keratoconus*. *Journal of Refractive Surgery* 2006;22:764-771.
25. Alió AJ, Artola A, Hassanein A, et al. *One or two intacts segments for the correction of keratoconus*. *J Cataract Refract Surg* 2005; 31:943-953.
26. Aylin Ertan; Mehmet Bahadir. *Topography-guided vertical implantation of Intacts using a femtosecond laser for the treatment of keratoconus*. *J Cataract Refract Sur* 2007; 33:148-151.
27. Ratkay-Traub I, Ferincz IE, Juhasz T, et al. *First clinical results with the femtosecond neodymium-glass laser in refractive surgery*. *J Refract Surg*. 2003; 19:94-103.
28. Ertan A, Kamburoglu G, Bahadir M. *Intacts insertion with the femtosecond laser for the management of keratoconus.One year results*. *J Cataract Refract Surg*. 2006; 32:2039-2042.
29. Ertan A. *Intacts for keratoconus: comparison of mechanical versus femtolase cannal dissection*. Paper presented at: American Academy of Ophthalmology Annual Meeting; October 10-14, 2007; Las Vegas.
30. Shahzad I. Mian, MD. *In vivo femtosecond laser-assisted posterior lamellar keratoplasty in rabbits*. *Cornea* 2006; 25 (10):1205-1209.
31. Yanny Y.Y. Cheng; Elisabeth Pels; Rudy M.M.A. Nuijts. *J Cataract Refract Surg* 2007; 33:152-155.
32. Soong HK, Mian S, Abbasi O, Juhasz T. *Femtosecond laser-assisted posterior lamellar keratoplasty; initial studies of surgical technique in eye bank eyes*. *Ophthalmology* 2005; 112:44-49.
33. Sarayba MA, Juhasz T, Chuck RS, et al. *Femtosecond laser posterior lamellar keratoplasty; a laboratory model*. *Cornea* 2005;24:328-333.

34. Tomalla. *Femtosecond laser assisted lamellar endothelial keratoplasty*. Cataract and refractive surgery today Europe. April 2007; 61-62.
35. Meltendorf C, Schroeter J, Bug R, et al. *Corneal trephination with the femtosecondlaser*. Cornea. 2006; 25:1090-1092
36. William KA; Muehlberg SM; Lewis RF; Coster DJ. *How successful is corneal transplantation? A report from the Australian Corneal Graft Register*. Eye 1995, 9: 219-227.
37. Nagra PK, Hammersmith KM, Rapuano CJ, et al. *Wound dehiscence after penetrating keratoplasty*. Cornea 2006; 25:132-135.