

CAPÍTULO 5.2

CREACIÓN DE LAS INCISIONES CORNEALES CON EL LÁSER DE FEMTOSEGUNDO EN FLACS

*Humberto Carreras Díaz, Angel García García, Javier Jesús Márquez Romero,
Marta Jerez Peña, María del Rosario Carreras Díaz*

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la cirugía de cataratas ha experimentado una transformación que ha ido desde la simple extracción del cristalino hacia su conversión en una cirugía con fines refractivos, generando mayores expectativas al paciente e incrementando nuestro afán de excelencia (1,2).

Las incisiones en córnea transparente en este tipo de cirugía son actualmente las más utilizadas ya que ofrecen una serie de ventajas como: obviar la necesidad de sutura, inducción de menos astigmatismo, aceleración del proceso de curación al minimizar el sangrado y la hemorragia subconjuntival, disminuir o eliminar el daño en la conjuntiva y proporcionar una rápida recuperación de la agudeza visual (3).

Su construcción arquitectónica adecuada es crucial para prevenir complicaciones en el postoperatorio tales como fuga de la herida, hipotonía e incluso endoftalmitis, demostrándose también que las incisiones multiplanares son más resistentes al flujo de entrada que aquellas uni o biplanares, las cuales podrían permitir el ingreso de partículas del tamaño de bacterias en presencia de fluctuaciones de la presión intraocular (PIO).

Las incisiones en la córnea clara se pueden construir manualmente o con ayuda de un láser de femtosegundo (LFS). Con la técnica manual, a menudo es difícil controlar con precisión la longitud y la arquitectura de la incisión, mientras que con el LFS contamos con el potencial de **augmentar la exactitud, la estabilidad y la reproducibilidad en nuestras incisiones quirúrgicas**, ya que todos los parámetros (ancho, largo, localización y arquitectura de la incisión) pueden controlarse y ejecutarse con una precisión de décima de milímetro (1,2).

El LFS puede generar incisiones en tejidos ópticamente transparentes. Esto es posible ya que la energía absorbida por el tejido donde se enfoca dará como resultado la formación de plasma que se expande rápidamente y crea burbujas de cavitación que separan el tejido. Este proceso de convertir la energía láser en energía mecánica se conoce como fotodisrupción. Durante su ejecución se aplica una energía ultracorta (10^{-15} seg) que permite una mayor eficiencia y la minimización de cualquier efecto térmico o disruptivo en los tejidos adyacentes. Esto permite crear de manera predecible y reproducible uno o más planos de fotodisrupción que dan como resultado la escisión del tejido (4).

En la literatura se han comparado las características morfológicas de las incisiones en córnea clara creadas con el LFS frente a las creadas con un queratomo, encontrándose resultados favorables al láser. Se ha descrito una menor variabilidad del astigmatismo inducido quirúrgicamente con el LFS (5,6), una menor inflamación y menor daño a nivel de las células endoteliales (7), menor separación endotelial en los bordes de la herida, menor incidencia de desprendimientos de la membrana de Descemet objetivado por tomografía de coherencia óptica (OCT) del segmento anterior (8), sin encontrarse diferencias significativas en cuanto a la capacidad de sellado entre las incisiones manuales y las creadas con el LFS (4).

A su vez, al poder programar las incisiones con diferentes tamaños y arquitecturas, conseguimos obtener una mejor respuesta biomecánica que, posteriormente, se correlaciona con cambios favorables en la topografía corneal (9).

Como ventajas del uso del LFS en la cirugía de cataratas (FLACS, acrónimo del inglés *Femtosecond Laser-Assisted Cataract Surgery*) respecto a la técni-

ca manual ha sido descrito una reducción del tiempo de facoemulsificación, mejor arquitectura de la incisión principal, mayor precisión y exactitud de la capsulotomía anterior, y un posicionamiento más estable y predecible de la lente intraocular (10,11).

ARQUITECTURA DE LAS INCISIONES

Los requisitos que debemos exigir a una incisión en cirugía de cataratas deben ser básicamente: 1. Permitir una cirugía cómoda y segura. 2. Evitar complicaciones postoperatorias. 3. Minimizar su impacto en la visión del paciente.

Para cumplir estos requisitos es capital manejar correctamente la arquitectura en la creación de las incisiones. El tamaño y diseño adecuado de la incisión va a lograr que el cirujano pueda realizar la intervención sin gestos quirúrgicos forzados que puedan comprometer la visibilidad o la integridad de la propia incisión o de las estructuras adyacentes, evitando además un reflujo excesivo de líquido de irrigación que pudiera interferir con la dinámica de fluidos prevista en la cirugía. De igual manera va a favorecer la estanqueidad postoperatoria, lo que se va a traducir en menor riesgo de hipotonías, atalámias y endoftalmitis. Un exquisito diseño y programación de la incisión también va a aportar una mayor predictibilidad refractiva logrando una pronta estabilidad en la graduación postoperatoria con el menor astigmatismo inducido posible.

El LFS permite no solo localizar la incisión en el sitio que el cirujano considere más apropiado sino que también permite individualizar su tamaño o anchura, morfología, longitud, el número de planos y su angulación, según preferencia del cirujano o según necesidades de cada paciente (12).

Tamaño-Anchura

Si bien en décadas pasadas se llevó a cabo un laborioso proceso de disminución progresiva del tamaño de la incisión en cirugía de catarata buscando un perfil más anastigmático, parece claramente demostrado que no existen diferencias significativas entre incisiones de 2,2 mm y más pequeñas (13), por lo que son incisiones en torno a 2,2 mm las que se han ido estandarizando en la mayoría de centros. En cualquier caso, el tamaño de la incisión debe ir

acorde al diámetro del instrumental que posteriormente el cirujano vaya a utilizar, debiendo ser ligeramente superior a este para no dañar el tejido adyacente. En cirugía manual, el hecho de usar un bisturí o cuchillete implica que el tamaño final de la incisión corneal es levemente superior al calibre del cuchillete, ya que a esta medida hay que sumarle el propio grosor de la hoja del cuchillete por lo que, al usar el LFS se recomienda **programar un tamaño de incisión 0,1 o 0,2 mm superior al cuchillete de uso habitual.**

Morfología

Con el objetivo de lograr una mejor maniobrabilidad del instrumental y una menor distorsión corneal por manipulación, se recomienda realizar una **incisión con forma trapecial programando una apertura externa, epitelial, 0,1 mm superior a la apertura interna**, aunque existen cirujanos que prefieren programar el trapecio invertido configurando mayor la apertura interna que la externa.

Longitud

Entendiendo longitud como la distancia entre la apertura externa y la interna, debemos considerarla como la suma de todos los trayectos individuales de la incisión (14). Más interesante que la longitud en sí misma es la relación entre longitud y anchura de la incisión, el factor *squareness* que podríamos traducir como «grado de cuadratura» o relación longitud/anchura. Se ha establecido una **squareness de 0,66 como óptima**. Por encima de 0,72 la incisión sería demasiado cuadrada y habría mayor tendencia a la separación de bordes de la herida, y con valores demasiado bajos la incisión sería demasiado rectangular. Según este razonamiento, **una incisión de tamaño-anchura 2,2 mm debería acompañarse de un trayecto intraestromal no superior a 1,58 mm** (15).

Número de planos y angulación

La angulación de la incisión también ha demostrado ser un factor importante a la hora de asegurar la seguridad y estabilidad de una incisión. Una incisión demasiado perpendicular a la córnea implica un me-

nor trayecto intraestromal con déficit de coaptación de los bordes epiteliales de la herida mientras que en una incisión demasiado paralela al plano corneal existirá un déficit de coaptación en los bordes endoteliales. Existen estudios que proponen una **angulación de entre 36° y 49°** como la ideal para favorecer el óptimo funcionamiento de la incisión (16,17).

Las ventajas e inconvenientes de realizar la incisión corneal en uno, dos o tres planos fueron descritas con detalle en la Ponencia Oficial de la Sociedad Española de Oftalmología de 2008 a cargo de los Dres. Lorente y Mendicuti (18). La incisión en un solo plano exige una ejecución perfecta para no padecer los contratiempos derivados de una incisión incompetente mientras que la incisión en múltiples planos tolera mejor las imperfecciones en su ejecución.

El LFS permite programar con máximo detalle la arquitectura de la incisión corneal, estandarizando su creación en todos nuestros pacientes, y minimizando la variabilidad inherente a los procedimientos manuales. **Es posible definir con total precisión el tamaño, morfología, longitud, angulación y número de planos**, creando la incisión que el cirujano considera ideal para su paciente. La imagen frontal del monitor va a mostrar la posición de la incisión así como su tamaño, morfología y longitud, mientras que la imagen del corte transversal de la OCT corneal va a permitir la visualización, y modificación si se requiere, de la longitud, angulación y número de planos de la misma (fig. 1). Factores que pueden interferir en la calidad de la creación de la incisión de manera manual tales como la pericia del cirujano, la calidad del cuchillito, la PIO... no son relevantes con el LFS.

La reproducibilidad respecto a lo planeado es muy elevada en las incisiones creadas mediante LFS.

Se ha descrito un 94,9% de concordancia entre la longitud de la incisión planeada y la finalmente conseguida, así como un 93,3% en la profundidad del segundo plano de la incisión triplanar y un 91,7% en la angulación del plano perforante (4,19).

Al igual que ocurre con la incisión principal las plataformas de LFS permiten crear una o varias incisiones accesorias o paracentesis, pudiendo configurar al detalle su arquitectura aunque en este caso, como es lógico, sin opción de hacerla multiplanar.

OPTIMIZANDO EL POSICIONAMIENTO DE LAS INCISIONES EN FLACS

Localizar adecuadamente las incisiones representa uno de los retos más difíciles en cirugía FLACS. La posición de las incisiones corneales tiene un claro efecto sobre la práctica quirúrgica: incisiones que resultan demasiado periféricas pueden involucrar a la conjuntiva y dificultar la apertura de la misma, y por el contrario, en ocasiones el cirujano descubre incisiones más corneales de lo planificado, que pueden afectar a la visibilidad, a las medidas aberrométricas intraoperatorias, y al astigmatismo inducido (20).

Adicionalmente a la dificultad en posicionar adecuadamente las incisiones, se añade el **mayor tiempo que se necesita para localizar y realizar el tratamiento incisional**, por lo que muchos cirujanos descartan la realización de incisiones en su procedimiento FLACS (21,22). El estudio del EUREQUO (*European Registry of Quality Outcomes for Cataract and Refractive Surgery*) de 2016 con un total de 2.814 procedimientos FLACS analizados, las in-

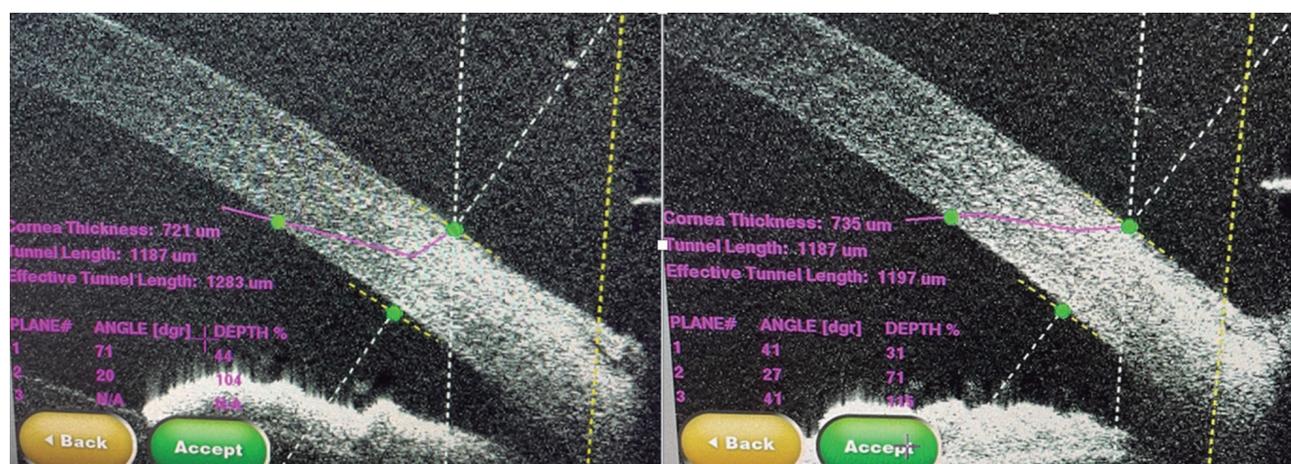


Figura 1. Configuración biplanar (izquierda) y triplanar (derecha) de incisiones corneales creadas con el láser de femtosegundo.

cisiones corneales fueron realizadas con el LFS en un 34,7% de los casos (23).

El uso del LFS para tratamientos en córnea (cirugía refractiva, realización de canales para implante de anillos intraestromales, trasplante de córnea...) tiene un grado de predictibilidad y eficacia muy altos. En cambio, la aplicación del LFS para las incisiones corneales durante el procedimiento FLACS encierra mucha más dificultad. En parte esa dificultad en el adecuado posicionamiento de las incisiones viene dado porque, durante el procedimiento FLACS, el enfoque de estructuras y posteriormente la ejecución de todo el tratamiento tienen un amplio rango de profundidades y diámetros, para abarcar desde la cara posterior del cristalino hasta el plano corneal (aproximadamente 8 mm), lo que lo diferencia del uso de LFS para cirugía refractiva corneal, donde el láser tiene menos exigencia pues ha de realizar el tratamiento en un rango de profundidades de unas 120 micras (24).

De manera general, la optimización en la localización de las incisiones depende de muchos factores y su perfeccionamiento requiere de una curva de aprendizaje probablemente más larga que para otros pasos de FLACS, debiendo el cirujano implicarse en el entendimiento y la programación de las mismas.

Las cuestiones a considerar para la optimización en la localización de las incisiones se detallan en la tabla 1.

Obviamente la primera cuestión tiene que ver con las **preferencias del cirujano**: aquellos que realicen habitualmente sus cirugías por vía escleral, no encontrarán en el LFS una alternativa eficaz.

Otro de los aspectos a considerar para un correcto posicionamiento es el **abordaje**: en general se recomienda **evitar el abordaje superior** puesto que está más afecto de *pannus* y neovascularización, el reflejo de mirada hacia arriba por el fenómeno

de Bell dificulta más el centrado, y el hecho de que las incisiones en córnea superior tardan más tiempo en cerrar por el efecto del parpadeo. Se obtiene una **mayor predictibilidad en el abordaje temporal**, dado que la periferia corneal es más transparente en cuadrantes temporales, aparte del efecto de menor astigmatismo inducido que tiene ese cuadrante (14,18).

La optimización en la localización de las incisiones tiene mucho que ver también con el **anillo de succión** y el *docking*. El anillo debe mantener una estabilidad del ojo durante todo el procedimiento, máxime cuando las incisiones son la última parte del tratamiento FLACS. El diámetro del cono de succión debe ser lo suficientemente amplio para abarcar toda la extensión de la córnea (al menos 12 mm), y permitir una buena visualización de la misma, del limbo corneo-escleral e incluso de parte de la esclera. Además, la curvatura del cono debe tener una adecuada concordancia con los radios de curvatura corneales pudiendo ser deseable la existencia de conos con distintas curvaturas para adaptarse a singularidades anatómicas (14,24).

En el momento del **docking**, debemos conseguir un buen centrado del ojo durante la succión, de tal manera que observemos limbo corneo-escleral de manera homogénea en los 360°. En un *docking* ideal, el centro de la interfaz y el centro de la córnea deberían superponerse. En la OCT, veremos que la cápsula anterior se encuentra ortogonalmente comprendida entre los deltas del láser.

Un globo ocular «tiltado» o un *docking* excéntrico (fig. 2) van a afectar especialmente a la incisión principal, por lo que algunos autores reclaman que habría que mejorar los algoritmos que ajustan las incisiones al limbo (20,24).

Por otro lado, en aquellos equipos que usan una interfaz líquida es posible que la misma permita una ligera relajación de la posición del ojo, lo que permite que éste se desplace lateralmente. Esto haría que las incisiones se colocaran más anteriormente de lo planeado y explicaría la falta de correlación entre incisiones pareadas en el mismo ojo (25).

Una vez realizada la succión, algunos equipos cuentan con sistemas de guiado digital, que centran el tratamiento y corrigen la **ciclotorsión** en función de una planificación quirúrgica previa. En nuestra experiencia la conectividad de la plataforma LenSx® con el sistema de guiado por imagen Verion® (Alcon Laboratories, Inc. Fortworth Texas) nos proporciona

Tabla 1. Factores a considerar en la optimización en la localización de las incisiones en FLACS

Preferencias del cirujano
Vía de abordaje
Anillo de succión e interfaz
Docking adecuado
Control ciclotorsión
Visualización del ángulo en OCT

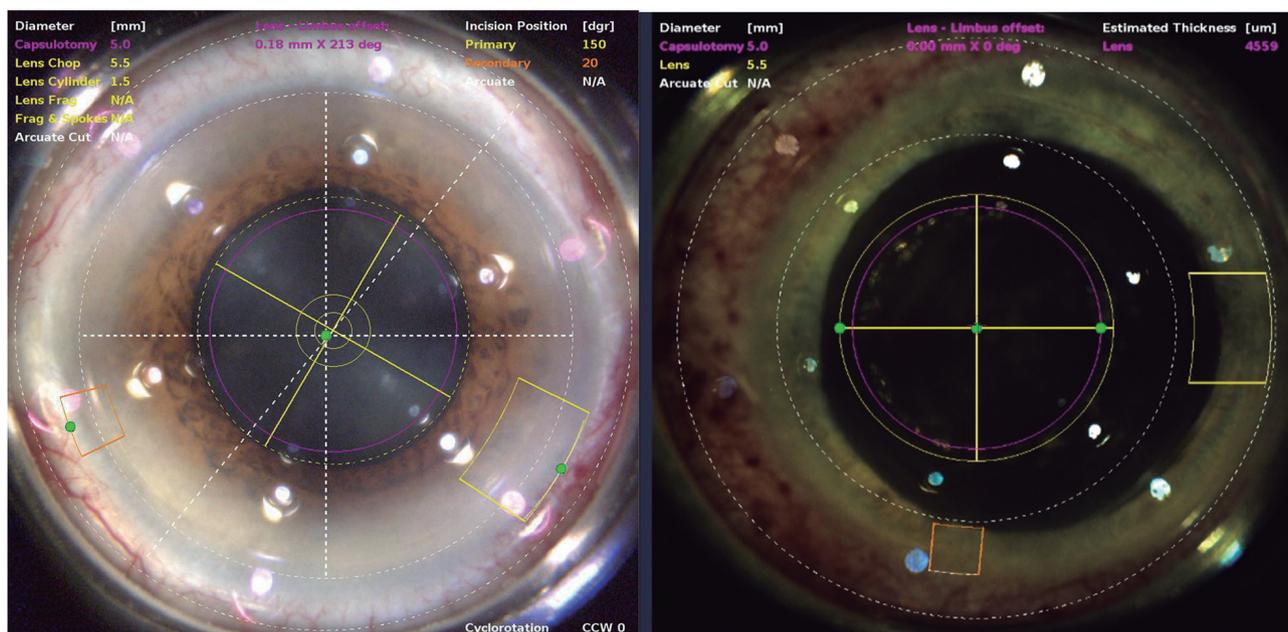


Figura 2. Docking centrado versus docking excéntrico. Imágenes cortésia de Alcon Laboratories Inc.

eficacia a la hora de localizar la incisión principal en el eje correcto. Este mismo sistema también ha demostrado su eficacia a la hora de ubicar incisiones relajantes y arcuatas (26,27).

Una vez realizado el *docking* y corregida la ciclotorsión, debemos proceder a un **enfoque fino** de los vasos sanguíneos a nivel del limbo, con una adecuada **iluminación**, personalizada para cada ojo (derecho o izquierdo) y en función de las características anatómicas del paciente.

Finalmente comprobaremos en la OCT la idoneidad del posicionamiento usando como referencia el **ángulo iridocorneal** de tal manera que el ángulo **se encuentre justo por detrás de la incisión programada**. De esa manera estaremos seguros de que el plano de corte no será escleral ni demasiado corneal. Este análisis de la imagen observada en OCT permitiría una mayor exactitud en la ubicación de las incisiones si el equipo proporciona OCT a tiempo real durante la aplicación del tratamiento (4).

Con todas estas medidas podemos ir optimizando la ubicación de las incisiones en FLACS, de tal manera que podamos beneficiarnos de crear geometrías incisionales de elevadísima precisión. Podemos esperar que el avance en las tecnologías de femtosegundo para cirugía de catarata aporte mejoras como la que puede representar la aplicación de tratamientos diseñados y medidos directamente en OCT en tiempo real (4).

APERTURA Y CIERRE DE LAS INCISIONES

Apertura de las incisiones

Las incisiones corneales con LFS son configuradas, como ya ha sido descrito, en un monitor y ejecutada por una máquina. Una vez creada, ya bajo el microscopio quirúrgico, es la mano del cirujano la que tiene que abrirla.

El primer objetivo es localizarlas, lo que en ocasiones será sencillo (buena visualización directa, muesca visible en limbo o incluso vasos sangrantes si hay un *pannus*...) y otras veces será más complicado (gerontoxon, irregularidad epitelial en la zona, mala visibilidad general...). Para ayudar a localizar una incisión que no vemos a primera vista **es muy útil «peinar» la zona con una hemosteta** que regularice la zona y así hacer más evidente el defecto epitelial causado por el LFS.

Al igual que realizamos habitualmente en cirugía convencional, es recomendable localizar y abrir primeramente la incisión accesoria o paracentesis para, una vez rellenada la cámara con viscoelástico, proceder a la apertura de la incisión principal.

Existen espátulas más o menos romas especialmente diseñadas para abrir incisiones corneales creadas por LFS que son muy útiles para llevar a cabo este paso. En nuestras manos, experimentamos una mejora importante en la facilidad con que abrimos las incisiones cuando cambiamos de espátula.



Figura 3. Diferentes diseños de espátula para abrir las incisiones corneales creadas con el láser de femtosegundo.

Inicialmente usábamos una espátula más delgada y roma con la que era frecuente encontrar algunas dificultades para lograr canalizar la incisión, pero tras el cambio a una espátula más fuerte y menos roma esas dificultades desaparecieron casi por completo (fig. 3). Es por tanto importante escoger adecuadamente la espátula a usar.

Debemos tener en mente la configuración de la incisión que creamos –multiplanar, anchura, longitud, angulación– para reproducir esa misma configuración con nuestra espátula. Si encontramos una resistencia, es más apropiado cambiar el ángulo de ataque que aplicar una mayor fuerza de presión.

Es muy importante, una vez canalizada la incisión principal hasta cámara anterior, **abrir muy bien la herida de lado a lado, en toda su anchura**, forzando ligeramente con la espátula para asegurarnos que queda completamente abierta y no tener posteriormente dificultades al pasar por ella la punta del facoemulsificador o el inyector de la lente. Para ello puede ser de gran ayuda mantener el ojo firme con un instrumento, por ejemplo, con la propia cánula del viscoelástico que aún no hemos retirado de la paracentesis.

Si existen resistencias importantes a la apertura de la incisión, puede ser necesario un ajuste de energía en el LFS por parte del técnico competente. Generalmente la mayor calidad en el corte se consigue bajando energía y disminuyendo la separación entre los spots.

Cierre de las incisiones

La técnica de edematización de bordes para el cierre de la incisión es esencialmente igual a la utilizada en cirugía convencional. Se recomienda hidratar en ambos lados de la incisión, izquierda y derecha, y también hacerlo suavemente en el techo de la misma. Una correcta configuración de la incisión, así como evitar su excesiva manipulación intra-

quirúrgica y prescindir de ampliarla con cuchillete ayudará a su correcto sellado.

ASTIGMATISMO E INCISIONES EN FLACS

De todos es conocida la alta prevalencia de astigmatismo en la población. Algunos autores cifran en un 87% de astigmatismo preoperatorio en la cirugía de catarata (28), la mayoría de los cuales son astigmatismos menores de 1,50 dioptrías (29). Es conocido también el impacto del astigmatismo en la visión tras la cirugía de catarata, incluso con valores bajos de astigmatismo (30).

Una de las estrategias en la corrección del astigmatismo es la cirugía incisional. En este capítulo corresponde analizar ese factor cuando la cirugía es realizada con FLACS.

Hemos comentado, en los apartados correspondientes, que el tamaño de la incisión principal más habitual en FLACS es de 2,2 mm (13) y por otro lado que la recomendación en cuanto a la ubicación es en cuadrantes temporales, donde la córnea tiene mayores niveles de transparencia (14). Por tanto, con incisiones de 2,2 mm en abordaje temporal, lo previsible sería que el comportamiento de la incisión con FLACS fuera similar al obtenido en cirugía convencional en cuanto a incisiones anastigmáticas o con una inducción máxima de 0,1 dioptrías. Pero entre uno y otro grupo hay otras variables que también pueden afectar al resultado astigmático de la incisión. Por un lado posibles desplazamientos del tratamiento hacia localizaciones más corneales que limbares pueden afectar al SIA (acrónimo del inglés, *Surgically Induced Astigmatism*). También, el hecho de que la reducción en la cantidad de ultrasonidos observada en FLACS provoque un menor daño incisional por menor energía térmica y mecánica. Así, en la literatura se encuentran artículos contradictorios.

Para unos autores las incisiones corneales manuales y las de FLACS no parecieron alterar significativamente el astigmatismo corneal, y muestran un SIA comparable (1).

Otros, por el contrario, reflejan que las incisiones corneales con FLACS producen de manera estadísticamente significativa más SIA que las incisiones manuales. Los autores sugieren como causa la inexacta ubicación del limbo esclero-corneal por parte de la plataforma de LFS, llegando a proponer una incisión

manual en la cirugía FLACS hasta que se actualice el sistema de localización de incisiones (24).

Por otro lado, Mastropasqua et al. no encuentran diferencias en SIA ni en aberraciones corneales (31).

Nagy et al. (32) evidencian en su estudio que no hubo diferencias significativas en SIA entre los grupos, aunque la desviación del eje SIA del eje planificado previamente fue significativamente menor en el grupo de LFS en comparación con el grupo manual. Las aberraciones de alto orden (HOA, *high-order aberrations*) corneales aumentaron significativamente y de manera similar en ambos grupos mientras los valores de aberración corneal total y de orden inferior se mantuvieron estables en ambos grupos (32). El meta-análisis de Chen et al., con un total de 4.903 ojos evaluados, no encuentra diferencias estadísticamente significativas en el SIA entre FLACS y cirugía convencional (33).

Un estudio reciente contempla que el cambio astigmático fue más predecible en el grupo de FLACS. Las aberraciones internas, incluidos el RMS total, la inclinación y las HOA de RMS, fueron menores en el grupo de femtosegundo, y los pacientes de ese grupo estaban más satisfechos (34).

Otros estudios analizan más detalladamente ese astigmatismo inducido mediante análisis vectorial. Así, el estudio de Diakonis evidencia que el grupo FLACS tuvo una mayor dispersión que el grupo manual. Esto puede atribuirse a que la ubicación real de las incisiones con LFS se localiza en córnea clara y, por lo tanto, pueden estar más proximales al eje visual (lo que induce más aplanamiento en el meridiano de la incisión). Por el contrario, las incisiones manuales suelen mostrar una entrada más periférica y próxima al limbo y, por lo tanto, son más distales al eje visual lo que induce menos aplanamiento en el meridiano de la incisión (1).

Kohnen et al. estudian también la influencia de las incisiones FLACS en el astigmatismo posterior. Para ello estudian pacientes operados con incisión temporal efectuada con FLACS, y miden con Pentacam® al mes y a los 3 meses de la cirugía, realizando un análisis vectorial para determinar cambios en el astigmatismo de cara anterior, de cara posterior y TCRP (Poder Refractivo Total de la Córnea). Concluyen que las incisiones temporales de 2,2 mm con LFS inducen mínimos cambios en el astigmatismo corneal anterior, posterior y TCRP, de tal manera que pueden considerarse astigmáticamente como neutras (35).

En otro orden de cosas, podemos tratar el astigmatismo mediante incisiones siguiendo las mismas estrategias que habitualmente usamos en cirugía convencional. La realización de incisiones pareadas requiere un replanteamiento en la programación del láser. En el equipo que usamos en nuestra práctica clínica (LenSx®, Alcon Laboratories, Inc.), las incisiones programables son 3: la incisión principal y hasta 2 paracentesis en caso de usar cirugía bimanual. Para realizar incisiones enfrentadas, podemos «simular» que una de las paracentesis corresponde a esa incisión opuesta a la incisión principal.

Por otro lado mencionar la utilidad de un marcador digital asociado al tratamiento FLACS, de manera que se posicione la incisión en el meridiano preestablecido, corrigiendo así la ciclorsión que se pueda haber producido.

El LFS se puede utilizar también para realizar marcas de alineación de lentes intraoculares tóricas, en aquellos casos en que carecemos de sistema de guiado por imagen, y queremos evitar las marcas manuales con tinta.

COMPLICACIONES DE LAS INCISIONES CON LÁSER DE FEMTOSEGUNDO EN FLACS

Aunque la creación de las incisiones no es la fase más exigente en la cirugía de cataratas convencional, los errores que podemos cometer al realizar la incisión principal aumentan el riesgo de complicaciones intraoperatorias, tales como dehiscencia del iris, cámara anterior estrecha o distorsión corneal (6). Emplear una buena técnica nos ayuda a prevenir errores en la construcción de las mismas (36).

Podemos encontrarnos **incisiones incompletas** debido a la penetración vertical de burbujas de gas producidas por la disrupción tisular del LFS, aunque no conllevan complicaciones mayores, como objetivo Grewal et al. (37).

Otro de los aspectos a tener en cuenta es el **sellado** de la incisión. Las incisiones realizadas con LFS podrían no requerir hidratación, algo fundamental en el cierre de las incisiones manuales. Esto tiene relación con la geometría y arquitectura más estable, de 3 planos, así como por su menor variabilidad en comparación con la técnica manual (38). Masket et al. encontraron que una incisión de un solo plano, angulada, de 3,00 mm x 2,00 mm es más estable que incisiones más estrechas (de >1,00 mm a

<2,00 mm) (39) con menos fugas a varios niveles de presión de indentación realizada con un oftalmodinamómetro.

Benard-Seguin et al. concluyeron que las incisiones realizadas con LFS filtraron más que las manuales. Sin embargo, con perfiles optimizados alcanzaron un riesgo de fuga equivalente a las realizadas manualmente. Por tanto, la personalización de los parámetros de la incisión es una herramienta que nos permite optimizar la capacidad de sellado en las incisiones realizadas con LFS (40). Las incisiones realizadas con LFS con parámetros no optimizados tenían el doble de riesgo de fuga en comparación con las manuales [Odds Ratio (OR) 2,0; Intervalo de confianza (IC) del 95%, 1,1-3,8], mientras que el riesgo de fuga para las creadas con láser optimizadas y las creadas manualmente no difirió (OR, 1,1; IC 95%, 0,5-2,3). Las incisiones con láser optimizadas tenían la mitad del riesgo de fuga que las no optimizadas (OR, 0,46; IC del 95%, 0,27-0,75) (40). Los parámetros optimizados empleados fueron una profundidad del plano anterior (APD) del 60%, una profundidad del plano posterior (PPD) del 70% y un ángulo de corte anterior (ASCA) de 120°, alcanzando un riesgo de fuga equivalente al de las incisiones manuales (40).

Los estudios sobre el sellado de las mismas han demostrado que las heridas corneales multiplanares y de morfología cuadrangular son estructuralmente más estables y resistentes a las fluctuaciones de la PIO (39,41-43).

Sin embargo, aunque esta morfología cuadrada se pueda reproducir con mayor facilidad, una configuración triplanar se logra solo en un 19% al 32% de las incisiones corneales creadas manualmente (16,19,44,45). Este fracaso para lograr la arquitectura deseada de forma manual se ha atribuido a un mal control tanto del ángulo como de la profundidad en el primer paso de la incisión (3).

En lo que respecta al riesgo de **endofalmitis** en relación al Seidel, se están realizando estudios para determinar si el LFS reduce el riesgo de infecciones postoperatorias, que también podría estar asociado con la geometría incisional (46,47). Cabe destacar que dadas las bajísimas tasas actuales de endofalmitis postoperatoria, se necesitarían tamaños muestrales mayores para poder sacar conclusiones sobre este aspecto (48-50). Las conclusiones divergentes de los estudios que comparan ambos tipos de incisiones (LFS versus manuales) probablemente se deban a varios factores: los tamaños de muestra

pequeños y la posible falta de poder estadístico de los estudios, el uso de diferentes plataformas LFS, la configuración del láser, los parámetros de evaluación de resultados, así como la experiencia variable de los cirujanos. Además, los valores de los parámetros del láser específicos empleados en cada estudio podrían no ser generalizables a otras plataformas láser distintas o a cirujanos menos experimentados.

También se ha encontrado un aumento de la **muerte celular por apoptosis** relacionada con la energía liberada por el LFS, que al parecer carece de repercusión clínica. En el estudio de Mayer et al. (51) realizaron una observación morfológica e inmunohistoquímica *in vitro* de las incisiones corneales penetrantes creadas con LFS en córneas humanas. Éstas no mostraron diferencias en la respuesta celular inflamatoria, pero sí una tasa de muerte celular significativamente más alta que las incisiones realizadas manualmente, lo que indica un aumento en la respuesta de cicatrización postoperatoria. Los autores plantean la hipótesis de que estos niveles más altos de muerte celular podrían ser atribuibles a un efecto apoptótico directo relacionado con la energía térmica liberada por el LFS.

CONCLUSIONES

La creación de incisiones con el láser de femtosegundo permite una configuración al máximo detalle de éstas, minimizando la variabilidad y permitiendo el diseño de la incisión óptima para cada cirujano. La bibliografía es contradictoria y, por tanto, no concluyente sobre los beneficios ópticos y de seguridad de las incisiones con láser de femtosegundo respecto a las manuales. La mejora en el *software* de las plataformas de láser, principalmente en lo referente a la localización de las incisiones, supondrá una mejora en el desempeño de estas y un incremento en el número de cirujanos que las utilicen.

BIBLIOGRAFÍA

1. Diakonis VF, Yesilirmak N, Cabot F, et al. Comparison of surgically induced astigmatism between femtosecond laser and manual clear corneal incisions for cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2015; 41: 2075-2080.
2. Masket S, Sarayba M, Ignacio T, et al. Femtosecond laser-assisted cataract incisions: Architectural stability and reproducibility. *J Cataract Refract Surg* 2010; 36: 1048-1049.

3. Donnenfeld E, Rosenberg E, Boozan H, et al. Randomized prospective evaluation of the wound integrity of primary clear corneal incisions made with a femtosecond laser versus a manual keratome. *J Cataract Refract Surg* 2018; 44: 329-335.
4. Grewal DS, Schultz T, Basti S, et al. Femtosecond laser-assisted cataract surgery-current status and future directions. *Surv Ophthalmol* 2016; 61: 103-131.
5. Lundström M, Dickman M, Henry Y, et al. Femtosecond laser-assisted cataract surgeries reported to the European Registry of Quality Outcomes for Cataract and Refractive Surgery: Baseline characteristics, surgical procedure, and outcomes. *J Cataract Refract Surg* 2017; 43: 1549-1556.
6. Serrao S, Giannini D, Schiano-Lomoriello D, et al. New technique for femtosecond laser creation of clear corneal incisions for cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2017; 43: 80-86.
7. Takács AI, Kovács I, Miháltz K, et al. Central corneal volume and endothelial cell count following femtosecond laser-assisted refractive cataract surgery compared to conventional phacoemulsification. *J Refract Surg* 2012; 28: 387-391.
8. Kohnen T. Corneal incisions with femtosecond lasers. *J Cataract Refract Surg* 2014; 40: 513.
9. Serrao S, Lombardo G, Schiano-Lomoriello D, et al. Effect of femtosecond laser-created clear corneal incision on corneal topography. *J Cataract Refract Surg* 2014; 40: 531-537.
10. Lopes D, Loureiro T, Carreira R, et al. Transepithelial or intrastromal femtosecond laser arcuate keratotomy to manage corneal astigmatism at the time of cataract surgery. *Arch Soc Esp Ophthalmol* 2021; 96: 408-414.
11. Roberts T, Lawless M, Bali SJ, et al. Surgical outcomes and safety of femtosecond laser cataract surgery. *Ophthalmology* 2013; 120: 227-233.
12. Mendicute J, Lorente R, Macías B, et al. Concepto actual y requisitos de la cirugía del cristalino. En: Sociedad Española Oftalmología, editor. *Cirugía del cristalino con láser de femtosegundo. Comunicación solicitada 88º Congreso de la Sociedad Española de Oftalmología*; 2012.
13. Luo L, Lin H, He M, et al. Clinical evaluation of three incision size-dependent phacoemulsification systems. *Am J Ophthalmol* 2012; 153: 831-839.
14. Mendicute J. Láser de femtosegundo en lensectomía refractiva. En: Sociedad Española de Oftalmología, editor. *Cirugía refractiva del cristalino. Ponencia oficial de la Sociedad Española de Oftalmología*; 2020.
15. Chee SP, Ti SE, Lim L, et al. Anterior segment optical coherence tomography evaluation of the integrity of clear corneal incisions: a comparison between 2.2 mm and 2.65 mm main incisions. *Am J Ophthalmol* 2010; 149: 768-776.
16. Calladine D, Packard R. Clear corneal incision architecture in the immediate postoperative period evaluated using optical coherence tomography. *J Cataract Refract Surg* 2007; 33: 1429-1435.
17. Taban M, Rao b, Reznik J, et al. Dynamic morphology of sutureless cataract wounds: effect of incision angle and location. *Surv Ophthalmol* 2004; 49: 62-72.
18. Mendicute J, Lorente R. Incisiones en facoemulsificación. En: Sociedad Española de Oftalmología, editor. *Cirugía del cristalino. Ponencia oficial de la Sociedad Española de Oftalmología*; 2008.
19. Grewal DS, Basti S. Comparison of morphologic features of clear corneal incisions created with a femtosecond laser or a keratome. *J Cataract Refract Surg* 2014; 40: 521-530.
20. Bala C, Chan T, Meades K. Factors affecting corneal incision position during femtosecond laser-assisted cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2017; 43: 1541-1548.
21. Fernández-Vega Sanz L, Alfonso-Bartolozzi B, Parra-Rodríguez T, et al. Láser de Femtosegundo en casos especiales. En: Sociedad Española de Oftalmología, editor. *Cirugía refractiva del cristalino. Ponencia oficial de la Sociedad Española de Oftalmología*; 2020.
22. Pittner AC, Sullivan BR. Resident surgeon efficiency in femtosecond laser-assisted cataract surgery. *Clin Ophthalmol* 2017; 11: 291-297.
23. Manning S, Barry P, Henry Y, et al. Femtosecond laser-assisted cataract surgery versus standard phacoemulsification cataract surgery: Study from the European Registry of Quality Outcomes for Cataract and Refractive Surgery. *J Cataract Refract Surg* 2016; 46: 1779-1790.
24. Zhu S, Qu N, Wang W, et al. Morphologic features and surgically induced astigmatism of femtosecond laser versus manual clear corneal incisions. *J Cataract Refract Surg* 2017; 43: 1430-1435.
25. Wang L, Jiang L, Hallahan K, et al. Evaluation of femtosecond laser intrastromal incision location using optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2017; 124: 1120-1125.
26. Chen M. A pilot study to compare using Verion imaging guided system (Alcon) to manual marking in assisting LRI (limbal relaxation incision) to reduce cylinder power in cataract surgery. *Int J Open Access Ophthalmol* 2016; 1: 1-4.
27. Visco DM, Bedi R, Packer M. Femtosecond laser-assisted arcuate keratotomy at the time of cataract surgery for the management of preexisting astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2019; 45: 1762-1769.
28. Ferrer-Blasco T, Montés-Micó R, Peixoto-de-Matos SC, et al. Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2009; 35: 70-75.
29. Chen W, Zuo C, Chen C, et al. Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery in Chinese patients. *J Cataract Refract Surg* 2013; 39: 188-192.
30. Hayashi K, Manabe SI, Yoshida M, et al. Effect of astigmatism on visual acuity in eyes with a diffractive multifocal intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2010; 36: 1323-1329.
31. Mastropasqua L, Toto L, Mastropasqua A, et al. Femtosecond laser versus manual clear corneal incision in cataract surgery. *J Refract Surg* 2014; 30: 27-33.
32. Nagy ZZ, Dunai A, Kránitz K, et al. Evaluation of femtosecond laser-assisted and manual clear corneal incisions and their effect on surgically induced astigmatism and higher-order aberrations. *J Refract Surg* 2014; 30: 522-525.
33. Chen X, Chen K, He J, et al. Comparing the curative effects between femtosecond laser-assisted cataract surgery and conventional phacoemulsification surgery: A meta-analysis. *PLoS One* 2016; 11: e0152088.
34. Lee JA, Song WK, Kim JY, et al. Femtosecond laser-assisted cataract surgery versus conventional phacoemulsification: Refractive and aberrometric outcomes with a diffractive multifocal intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2019; 45: 21-27.
35. Kohnen T, Löffler F, Herzog M, et al. Tomographic analysis of anterior and posterior surgically induced astigmatism after 2.2 mm temporal clear corneal incisions in femto-

- second laser-assisted cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2019; 45: 1602-1611.
36. Hayashi K, Tsuru T, Yoshida M, et al. Intraocular pressure and wound status in eyes immediately after scleral tunnel incision and clear corneal incision cataract surgery. *Am J Ophthalmol* 2014; 158: 232-241.
 37. Grewal DS, Basti S. Intraoperative vertical gas breakthrough during clear corneal incision creation with the femtosecond cataract laser. *J Cataract Refract Surg* 2014; 40: 666-670.
 38. Hill JE, Binder PS, Huang LC. Leak-free clear corneal incisions in human cadaver tissue: femtosecond laser-created multiplanar incisions. *Eye Contact Lens* 2017; 43: 257-261.
 39. Masket S, Sarayba M, Ignacio T et al. Femtosecond laser-assisted cataract incisions: Architectural stability and reproducibility. *J Cataract Refract Surg* 2010; 36: 1048-1049.
 40. Benard-Seguin É, Bostan C, Fadous R, et al. Optimization of femtosecond laser-constructed clear corneal wound sealability for cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2020; 46: 1611-1617.
 41. Masket S, Belani S. Proper wound construction to prevent short-term ocular hypotony after clear corneal incision cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2007; 33: 383-386.
 42. May W, Castro-Combs J, Camacho W, et al. Analysis of clear corneal incision integrity in an ex vivo model. *J Cataract Refract Surg* 2008; 34: 1013-1018.
 43. May WN, Castro-Combs J, Quinto GG, et al. Standardized Seidel test to evaluate different sutureless cataract incision configurations. *J Cataract Refract Surg* 2010; 36: 1011-1017.
 44. Ferreira TB, Ribeiro FJ, Pinheiro J, et al. Comparison of surgically induced astigmatism and morphologic features resulting from femtosecond laser and manual clear corneal incisions for cataract surgery. *J Refract Surg* 2018; 34: 322-329.
 45. Teuma EV, Bott S, Edelhauser HF. Sealability of ultrashort-pulse laser and manually generated full-thickness clear corneal incisions. *J Cataract Refract Surg* 2014; 40: 460-468.
 46. Chou TY, Abazari A, Barash A, et al. Early-onset methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* keratitis and late-onset infectious keratitis in astigmatic keratotomy incision following femtosecond laser-assisted cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2015; 41: 1772-1777.
 47. Moshirfar M, Churgin DS, Hsu M. Femtosecond laser-assisted cataract surgery: a current review. *Middle East Afr J Ophthalmol* 2011; 18: 285-291.
 48. Au CP, White AJ, Healey PR. Efficacy and cost-effectiveness of intracameral vancomycin in reducing postoperative endophthalmitis incidence in Australia. *Clin Exp Ophthalmol* 2016; 44: 803-811.
 49. Katz G, Blum S, Leeva O, et al. Intracameral cefuroxime and the incidence of post-cataract endophthalmitis: an Israeli experience. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2015; 253: 1729-1733.
 50. Melega MV, Alves M, Cavalcanti-Lira RP, et al. Safety and efficacy of intracameral moxifloxacin for prevention of post-cataract endophthalmitis: randomized controlled clinical trial. *J Cataract Refract Surg* 2019; 45: 343-350.
 51. Mayer WJ, Klaproth OK, Hengerer FH, et al. In vitro immunohistochemical and morphological observations of penetrating corneal incisions created by a femtosecond laser used for assisted intraocular lens surgery. *J Cataract Refract Surg* 2014; 40: 632-638.