

Como evitar la sorpresa refractiva (2a. Parte) Cálculo del poder dióptrico de lentes intraoculares en casos especiales

Dr. Ariel Prado-Serrano, Dra. Jiny Tatiana Camas-Benitez , Dra. Sonia Patricia Sosa-López,
Dra. Nayat Guadalupe Nava-Hernández

RESUMEN

La cirugía de catarata ha evolucionado enormemente con el tiempo, considerándose actualmente como un procedimiento refractivo como se mencionó en la primera parte de esta serie, siendo el éxito influido en forma importante por el correcto poder del cálculo del lente intraocular, además de la técnica de facoemulsificación, la microincisión y otros avances. Los factores más importantes para un cálculo exacto son la biometría mediante técnica de inmersión o interferometría de coherencia óptica, la queratometría y la utilización de las fórmulas de 3ª generación (SRK-T, Holladay y Hoffer Q) cuya capacidad de predicción depende de la aplicación correcta de las constantes A, SF y ACD y que difieren en cada fórmula. Conocer toda esta gama de variables y saber aplicarlas es indispensable para lograr un buen resultado quirúrgico y la satisfacción en el resultado visual del paciente, siendo fundamental calcular adecuadamente el poder dióptrico del lente en las diferentes circunstancias refractivas, tema de este trabajo, a saber, hipermetropía, miopía, operados de queratoplastia y cirugía refractiva, para la que se han ideado una gran variedad de métodos para mejorar la estimación de poder corneal central posterior a dicha cirugía, ninguno de los cuales son suficientemente exactos y pueden resultar en valores muy diferentes .

Palabras clave: Cálculo de LÍO, hipermetropía, miopía, queratoplastia, cirugía refractiva, longitud axial, velocidad del sonido, fórmulas de tercera generación, queratometría.

SUMMARY

As discussed in the first part of this series, cataract surgery has greatly evolved over time and it is now considered to be a refractive procedure. Its success is largely determined by the accurate calculation of the intraocular lens as well as the use of emulsification technique, micro incision and other advances. The most important factors for an accurate calculation are: immersion biometry, optical coherence interferometry, keratometry and third generation formulas (SRK-T, Holladay, and Hoffer Q), which prediction capacity depend on the correct application of A, SF and ACD constants which vary for every formula. It is necessary to be aware of the whole range of variables and their correct application is indispensable for successful interventions and visual satisfaction of the patient. It is fundamental to accurately determine the dioptric power of the lens in the different refractive circumstances discussed in this paper such as hyperopia, myopia, keratoplasty and refractive surgery. A great variety of methods have been developed to improve the calculation of central corneal power after refractive surgery, but none of them are sufficiently accurate and they produce very different values.

Key words: IOL calculation hyperopia, myopia, keratoplasty, refractive surgery axial length, sound velocity, triad generation formulas, keratometry.

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de cirugía de catarata han evolucionado en forma importante en las últimas décadas, haciéndose cada vez más rápidas y eficaces en términos de los resultados visuales

posoperatorios y satisfacción del paciente. Sin embargo, por mucho que se domine la facoemulsificación, si no se calcula adecuadamente el poder dióptrico del lente en las diferentes circunstancias refractivas (hipermetropía, miopía, operados de queratoplastia y cirugía refractiva) entre otros, ni el oftal-

mólogo ni el paciente quedarán conformes con los resultados obtenidos, constituyendo una sorpresa refractiva.

La exigencia de los pacientes para obtener una buena agudeza visual con la menor dependencia posible de lentes aéreas representa todo un reto para el oftalmólogo y obliga al cirujano a conocer y saber aplicar las distintas técnicas disponibles para el cálculo de lente intraocular.

En la mayoría de los casos determinar la queratometría o el diámetro anteroposterior no representa un problema especial, aunque en el caso de hipermetropía, los ojos cortos han sido los que, de siempre, han condicionado la modificación de las fórmulas debido a la escasa predicción refractiva que presentan, siendo las fórmulas de 3ª generación las más efectivas. Los ojos con diámetros anteroposteriores largos o miopes, plantean ciertos retos en especial si existe la posibilidad de un estafiloma posterior y especialmente con el incremento de la cirugía de cristalino transparente en miopías altas. En todo caso se han observado mejores resultados con fórmula SRK/T, sin embargo se ha descrito que la Holladay II puede ser discretamente superior en ojos muy miopes.

Cada vez son más frecuentes las situaciones en que se tenga que hacer cirugía de catarata en pacientes con antecedente de queratoplastia, por lo que actualmente se practica con mayor frecuencia el triple procedimiento (queratoplastia, extracción de catarata e implante de lente intraocular). En estas situaciones el oftalmólogo se enfrenta a problemas como la relación de tamaño entre córnea donante y lecho receptor, tipo de suturas, localización y tensión de las suturas, presión intraocular en el momento de la sutura y distorsión de la cámara anterior por el lente o por la presencia de sinequias. Para minimizar al máximo dichos errores, se recomienda usar SRK II, SRK/T y Holladay, sin embargo, es frecuente usar los mismos lineamientos generales que para la cirugía habitual de catarata.

Dentro de las condiciones más frecuentes relacionadas con un procedimiento refractivo previo que ocasionará dificultad para el correcto cálculo están la queratotomía radial (QR), la queratectomía fotorrefractiva (PRK) y la queratomileusis *in situ* con láser excimer (LASIK).

Es ampliamente conocido que el factor más importante que condiciona error en el cálculo post cirugía refractiva es la sobre estimación del poder corneal. La dificultad para determinar el poder corneal verdadero y las inexactitudes de las fórmulas actuales para cálculo de LIO han dado lugar a resultados refractivos postoperatorios sorpresivos o erróneos.

Se han desarrollado gran variedad de métodos para mejorar la estimación del poder corneal central posterior a cirugía refractiva pero ninguno es suficientemente exacto y distintos métodos pueden resultar en valores muy diferentes, siendo el método más exacto el de «Historia clínica» de Holladay debido a que compara queratometrías previas a la intervención.

El objetivo de este trabajo de revisión es analizar los distintos métodos biométricos útiles en el cálculo del poder dióptrico de lentes intraoculares en algunas circunstancias refractivas previas a la cirugía de catarata evitando en la medida de lo posible la sorpresa refractiva.

CÁLCULO BIOMÉTRICO EN HIPERMETROPÍA

Se considera ojo corto al que tiene un diámetro anteroposterior menor a 22 mm (1). El cálculo de la potencia del LIO emetropizante es más complicado en estos ojos por varios motivos, dado que el error en la medida de la longitud axial de 1 mm en el ojo corto tiene más repercusión que en un ojo largo o miope (2, 3) y algunos biómetros emplean velocidades medias para ojos de longitudes axiales normales y no la varían según la estructura que atraviesa el ultrasonido (4). La proporción de la longitud del medio sólido (cristalino) es mayor en relación con los medios líquidos, por lo que la velocidad media es más alta y la longitud axial calculada es más corta que la real (2-5).

Las características que hacen diferente a un ojo hipermetrope de un ojo normal son (6):

- Longitud axial corta.
- Segmento anterior pequeño (cámara anterior estrecha y diámetro corneal pequeño).
- Elevada incidencia de glaucoma de ángulo estrecho (especialmente en ancianos y en relación con el engrosamiento del cristalino) (1).

Longitud axial

La medida de la longitud axial por contacto puede presentar ciertos inconvenientes dado que la cámara anterior puede ser estrecha (7), haciendo difícil la identificación del eco capsular anterior, siendo complicado establecer la correcta perpendicularidad de la medida (8). Además, la presión ejercida sobre la córnea (Figura 1) tendrá una mayor influencia, proporcionalmente en la medida final, dado que el ojo es más corto por lo que la biometría por inmersión es más conveniente, permitiendo una mejor visualización de la amplitud de las espigas en el modo A (9).

Para lograr una mayor precisión en la medida de la longitud axial, es necesario ajustar el biómetro, que puede utili-



Fig. 1. Biometría por contacto en que es evidente la compresión de la superficie ocular y la consecuente disminución del diámetro anteroposterior del globo ocular.

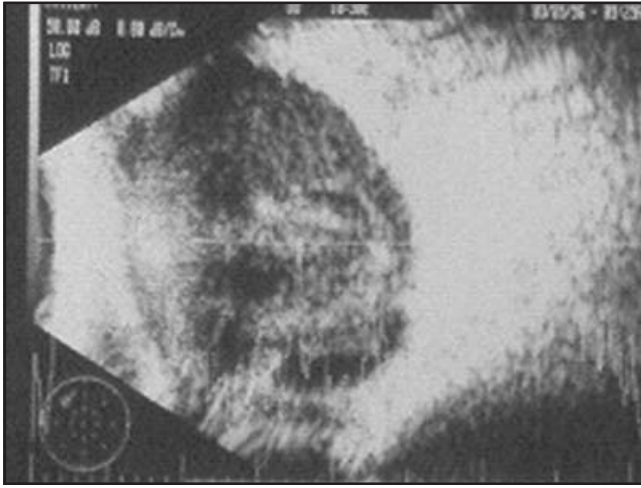


Fig. 2. Hemorragia en vítreo densa, con desprendimiento de vítreo posterior que puede simular la amplitud de la espiga retiniana en el modo A.

zarse de forma automática, aunque en algunos casos puede ser necesario recurrir a la forma manual cuando la fijación es pobre o cuando no se identifica claramente el ecograma, circunstancia que puede deberse a que la cámara anterior sea estrecha haciendo difícil la identificación del eco capsular anterior (10, 11).

Siempre es importante considerar situaciones biométricas en las que pueden determinarse diámetros anteroposteriores erróneamente más cortos por condiciones oculares patológicas no diagnosticadas con anterioridad al estudio ecográfico, como la existencia de hemorragia en vítreo densa (Figura 2), lesiones disciformes (Figura 3) o tumorales en el polo posterior, ojos en ptisis (Figura 4), rupturas o desprendimientos de retina (Figura 5), condicionantes de sorpresas refractivas debido a que se puede confundir la amplitud de la espiga retiniana del modo A con la superficie de estas lesiones por lo que idealmente en todo paciente se deberá realizar un estudio ecográfico modo A/B con el fin de descartarlas.

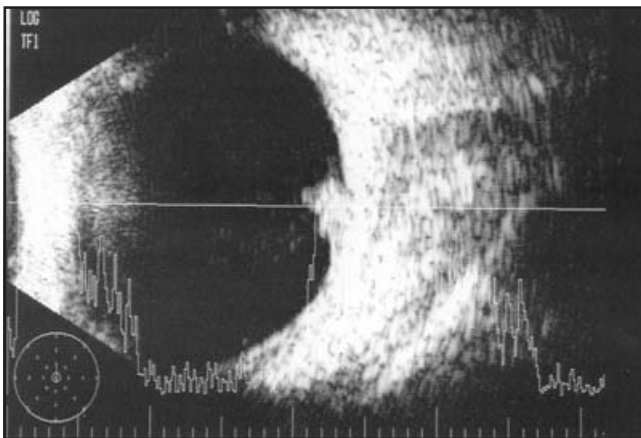


Fig. 3. Lesión disciforme de área macular o lesiones de masa que determinan un menor diámetro anteroposterior.



Fig. 4. Ojo en proceso de atrofia o ptisis, con disminución marcada del diámetro anteroposterior, en especial al compararlo con el ojo contralateral.

Velocidad del sonido

En general, los biómetros están calibrados para ojos de longitud axial normal con una proporción entre medios sólidos y líquidos determinada; sin embargo, en ojos cortos la proporción de longitud del cristalino (medio sólido) es mayor en relación con los medios líquidos (acuoso y vítreo) por lo que la velocidad media global es más alta y la longitud axial calculada más corta que la real (12). Hoffer, en ojos cortos, recomienda utilizar una velocidad media de 1560 m/s cuando se utilice un ecógrafo que únicamente identifique los ecos corneal y retiniano; es decir, cuando se utilice la misma velocidad de ultrasonido para medir todas las estructuras intraoculares (13). Afortunadamente, la mayor parte de los ecógrafos disponen de cursores que identifican las diferen-

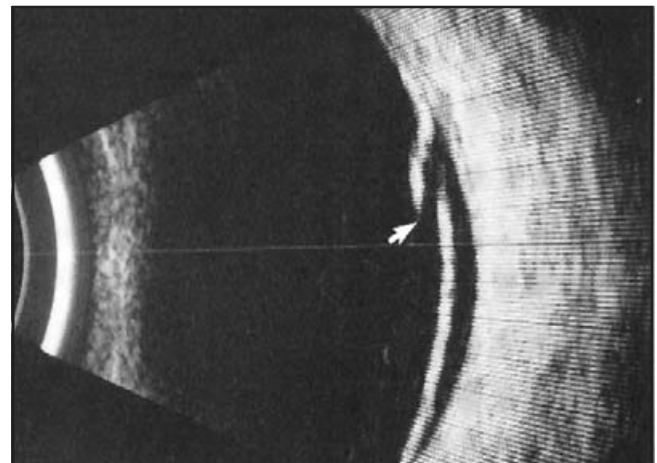


Fig. 5. Ruptura retiniana (flecha).

tes estructuras y miden su longitud con la velocidad de ultrasonido adecuada: cámara anterior (1532 m/seg), cristalino (1641 m/seg) y vítreo (1532 m/seg), combinando de forma automática las medidas y determinando la longitud axial del globo (13-15).

Ganancia

Inicialmente se debe utilizar una ganancia elevada que permita alinear bien el transductor y ver la apariencia del ecograma; posteriormente conviene disminuirla con lo que se mejora la resolución. Modificar la ganancia puede ser especialmente necesario en aquellos ojos nanofálmicos en los que puede existir cierto engrosamiento coroideo (1-4).

Fórmulas biométricas

Los ojos cortos han sido los que, de siempre, han condicionado la modificación de las fórmulas debido a la escasa predicción refractiva que presentaban todas ellas en dichas situaciones (las fórmulas teóricas o de regresión no han sido capaces de asegurar los resultados refractivos en ojos cortos), las fórmulas de 3ª generación (Holladay, SRK-T y Hoffer Q) suelen dejar un error hipermetrópico residual (6, 13, 16) debido a que calculan la posición final del LIO a partir de la longitud axial y la constante determinados empíricamente, en las que se asume que el segmento anterior es proporcionalmente corto en ojos cortos, lo cual no es siempre cierto (6). Dicha circunstancia es debida a que las fórmulas mencionadas utilizan sólo dos parámetros (queratometría y longitud axial) para predecir la posición efectiva del LIO; además, en general, hacen dicha determinación de una forma lineal: a menor longitud axial, calculan dicha posición menor o, lo que es igual, que la lente a implantar ocupará una posición más adelantada que la real (16).

Sin embargo, es evidente, que no todos los ojos cortos tienen un segmento anterior corto. Lo normal es que un ojo corto tenga un segmento anterior normal (hipermetropía axial); y son excepcionales las demás situaciones: longitud axial corta y segmento anterior grande (megalocórnea e hipermetropía axial) o longitud axial corta y segmento anterior pequeño (nanofaltos). Por ello, la fórmula que podría ser más efectiva es la Holladay II, que incluye más variables (17). Según Fenz, la fórmula de Holladay II logra que los pacientes queden con el rango de ± 1 D de la refracción deseada y un 100% en ± 2 D (18).

Hoffer propuso, en 1993, usar su fórmula Hoffer Q en los ojos menores de 22 mm, afirmando que en estos casos era mejor que Holladay y SRK II. Posteriormente afirmó que no hay diferencia entre usar Holladay II o Hoffer Q en este tipo de ojos (13). Aramberri y Mendicute (6), antes de defender la fórmula Holladay II para ojos menores de 22 mm, multiplicaban por 1.15 el resultado de Hoffer Q y el Holladay por 1.17 para calcular la potencia de la LIO en ojos cortos (19, 20).

En general, se acepta que el éxito y la mayor precisión de las nuevas fórmulas teóricas vendrán condicionados por su capacidad para mejorar la predicción de la posición efectiva del LIO (21).

CALCULO BIOMÉTRICO EN MIOPIA

Los ojos con diámetros anteroposteriores largos (longitud axial mayor a 24.5 mm) o miopes, plantean ciertos retos coen base en las dificultades que presenta el cálculo de la potencia del lente en dichas situaciones, especialmente con el incremento de la cirugía de cristalino transparente en miopes altos (22), con las expectativas refractivas así generadas y la duda sobre cuál es el resultado ideal en un miope en función de sus deseos, necesidades y estado macular. Otra cuestión a ser considerada en estos sujetos es que, en ocasiones, la finalidad refractiva no es la emetropía por lo que es necesario extremar precauciones durante la realización de la historia clínica para que el logro de la emetropía o ametropía no constituya una «sorpresa refractiva» para el paciente. En estos casos la historia clínica y el conocimiento de sus expectativas son de vital importancia (22-23).

En general, no existen patrones o "recetas", aunque en miopías elevadas puede ser deseable, como objetivo refractivo en el primer ojo, una miopía mínima (-1, -2) y ajustar el segundo a visión lejana o cercana según la evolución del primero. En miopías leves la emetropía puede ser el resultado refractivo ideal, ajustando el segundo a la emetropía o a la miopía residual para facilitar la visión de cerca según los deseos del paciente (23).

Longitud axial

Modo de medida. Aunque puede utilizarse la forma automática, en algunos casos puede ser necesario recurrir a la forma manual cuando la fijación es pobre o cuando no se identifica un ecograma claramente definido, circunstancia que puede deberse a la pendiente en la que puede localizarse la mácula debido a la existencia de un estafiloma miópico (23-25).

Velocidad del sonido

En ojos largos, la proporción de longitud del cristalino (medio sólido) es menor en relación con los medios líquidos (acuoso y vítreo); por ello, si se utiliza un ecógrafo con velocidad de ultrasonido media única, la velocidad media global será inadecuada para dicha situación (ojo largo) y la longitud axial calculada más larga que la real. Hoffer (13), en ojos largos, recomienda una velocidad media de 1550 m/s cuando se utilice un ecógrafo calibrado con la misma velocidad de ultrasonido para medir todas las estructuras intraoculares.

Existe la posibilidad de un segmento anterior grande (tanto profundidad de cámara anterior como diámetro), además de menor rigidez escleral, por lo que la indentación corneal provocada por el biómetro de contacto es mayor, fenómeno que se elimina con la técnica de inmersión (26). Por otro lado, no siempre es fácil alinear la sonda del biómetro con la fovea, debido a la presencia de estafilomas que determina una mayor dificultad biométrica dado que el diámetro anteroposterior anatómico (vértice corneal al plano de retina) puede diferir del eje refractivo (vértice corneal a fovea), de-



Fig. 6. Esquema que muestra exceso de gel en la superficie de contacto entre la superficie ocular y el transductor, resultando en una falsa miopía

biendo sospecharse cuando se encuentren medidas mayores a 24.5 mm y dificultades para lograr un buen pico retiniano en el ecograma, cuando las diferencias entre medidas sucesivas sean superiores a 0.2 mm o cuando existan diferencias mayores a 0.3 mm con el ojo contralateral, siendo el mayor problema conseguir un ecograma perfectamente alineado y orientado sobre la mácula.

Las dificultades que plantean los estafilomas vienen condicionadas por la pendiente en la que se dispone la mácula en estos casos (3-6, 27). Habitualmente, los estafilomas se disponen en la región peripapilar y la mácula se localiza en una pendiente, circunstancia que condiciona la dificultad para lograr una incidencia perpendicular del ultrasonido en dicha zona por lo que el pico retiniano obtenido será de escasa amplitud. Por lo anterior es frecuente que en el intento de lograr el mejor pico retiniano se obtengan ecogramas de la zona más profunda del estafiloma (la longitud axial obtenida será mayor que la real) o de la zona temporal de la mácula por fuera del estafiloma (la longitud axial obtenida será menor que la real). En estos casos es aconsejable

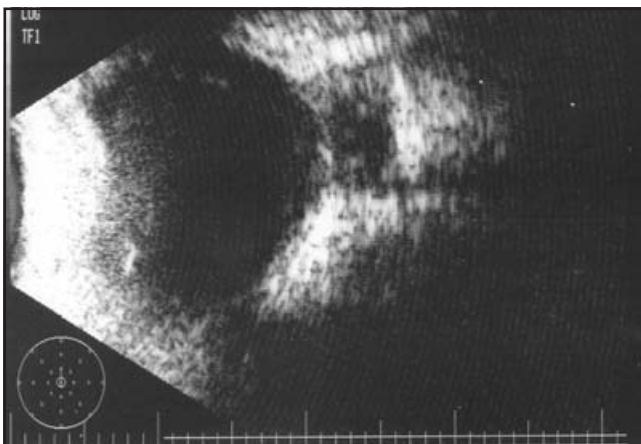


Fig. 7. Coloboma de nervio óptico en síndrome de Morning Glory.

realizar ecografía modo B centrando la córnea, las cápsulas anterior y posterior del cristalino y la sombra del nervio óptico, imágenes que con la utilización de un vector (que está en el software de prácticamente todos los equipos ecográficos actuales) unidimensional sobre las imágenes mencionadas permitirá una alineación con la fovea y la medición correcta de la longitud axial (28-30).

Existen casos en los que se puede determinar un diámetro anteroposterior más largo erróneamente, por la presencia de gel en la superficie ocular de un sujeto recién explorado con algún tipo de lente de contacto o en el transductor (Figura 6), la existencia de colobomas (Figura 7) en el polo posterior que, además del estafiloma ya mencionado (Figura 8), condicionan sorpresas refractivas, por lo que se deberá realizar un estudio ecográfico modo A/B para documentar la normalidad o no del polo posterior.

Ganancia

Inicialmente interesa utilizar una ganancia elevada que permita alinear bien el transductor y ver la apariencia del ecograma, especialmente si existe un estafiloma dado que, al disponerse la mácula en su pendiente, la incidencia del eco no será perpendicular y, por ello, el pico retiniano puede ser de baja intensidad. De existir ecos patológicos producidos por anomalías vítreas (opacidades o membranas), pueden ser confundidos con el eco retiniano (el diagnóstico diferencial puede establecerse apoyándonos en ecografía B o, de forma más sencilla, bajando la ganancia para mejorar la resolución) y así la medida tomada será más corta que la real. Debe, en primer lugar, sospecharse tal posibilidad cuando existan variaciones entre medidas superiores a 0.2 mm en el mismo ojo, la separación anormal entre el eco que identificamos como retiniano y el eco escleral y los ecos móviles entre ecogramas; en segundo lugar, ante tal sospecha, se debe comprobar la perfecta perpendicularidad de la medida tomada y bajar la ganancia para identificar con mayor precisión el eco retiniano (31).

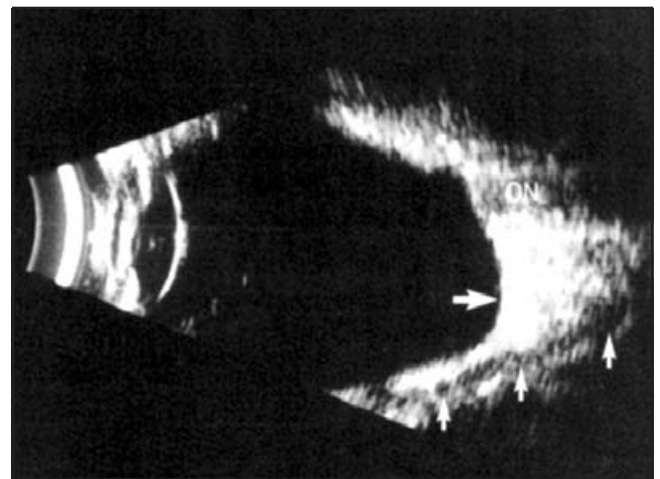


Fig. 8. Estafiloma ocular con marcado aumento del diámetro anteroposterior. Nótase el adelgazamiento de los músculos extraoculares (flechas).

Fórmulas

Ojos largos de 24.5 a 28.4 mm: SRK/T, SRK II, Hoffer Q aunque la SRK/T y la Holladay II parecen ser discretamente superiores en ojos muy miopes (32). Ojos largos mayores de 28 mm: SRKT, Hoffer Q o Holladay II. Para Hoffer (20), la fórmula SRK-T es la que menor error tiene en ojos con diámetros mayores de 24.5 mm. Kora (22) propone usar una modificación de la SRK en estos ojos (SRK L) y concluye que esta fórmula, junto con la SRK-T obtiene los mejores resultados.

Otra opción es que, una vez terminada la facoemulsificación y repuesta la cámara anterior con solución salina balanceada, se realice una autorrefractometría en afaquia y, antes de implantar la LIO, multiplicar los resultados por un factor de refracción, que en los miopes altos varía entre 1.6 y 2, para conocer así la potencia de la LIO a implantar, técnica biométrica en casos difíciles o poco fiables (31).

CÁLCULO DE LIO POSTERIOR A QUERATOPLASTÍA

Son frecuentes las situaciones en las que, a la práctica de una queratoplastia, sea necesario asociar una extracción de catarata. En series recientes, una de cada tres queratoplastias se asocia a cirugía de catarata simultánea (1). Además, 16.8% de los pacientes trasplantados desarrollan catarata en el primer año de seguimiento postoperatorio, bien por la corticoterapia o por la manipulación intraoperatoria (2).

Actualmente la práctica de triples procedimientos (queratoplastia, catarata e implante de lente intraocular) es una cirugía frecuente en hospitales oftalmológicos con la ventaja de realizarse una única intervención y, por consecuencia, una rehabilitación visual precoz, aunque existe un amplio rango de defectos refractivos postquirúrgicos con los que debe enfrentarse cualquier cirujano cuando practica triples procedimientos, como la relación de tamaño entre córnea donante y lecho receptor, tipo de suturas, localización y tensión de las suturas, presión intraocular en el momento de la sutura y distorsión de la cámara anterior por el lente o por la presencia de sinequias (3-5).

¿Qué dificultades plantea el cálculo de la potencia de lente en los triples procedimientos? La medida de la longitud axial y la queratometría son los dos parámetros que más determinan la potencia del lente intraocular a implantar en cirugía de catarata y son utilizadas para predeterminar la posición efectiva del LIO (a partir de los trabajos de Holladay (6).

1. Constancia (pre-post) operatoria de la queratometría y la longitud axial. La relación entre la queratometría pre y postoperatoria, y la longitud axial pre y postoperatoria son evidentes en cirugía de cataratas; pero no es el caso en triples procedimientos, donde la relación de tamaños entre córnea donante y lecho receptor condiciona cambios tanto en la queratometría como en la longitud axial. Otro factor a considerar es la influencia que puede tener también en ambos parámetros la retirada de las suturas (5).

2. Predicción de la posición efectiva del LIO. Esta viene condicionada también por el número de parámetros utilizados para calcularla, Olsen sugirió la utilización de una fórmula con cuatro variables predictivas: longitud axial, queratometría, profundidad preoperatoria de la cámara anterior y grosor cristalino. Finalmente, Holladay desarrolló su fórmula Holladay II (5, 6) que utiliza siete variables (longitud axial, queratometría, diámetro corneal horizontal, profundidad de la cámara anterior, grosor del cristalino; variables predictivas que teóricamente no sufren modificaciones, en triples procedimientos aunque es lógico pensar que tanto la longitud axial, la queratometría, el diámetro corneal horizontal y la profundidad de la cámara anterior pueden variar tras la cirugía (3-8).

La predicción de la posición efectiva del LIO ha sido uno de los factores que más ha mejorado el cálculo de la potencia de los lentes a implantar y es lógico pensar que cuanto más información se obtenga referente a la cámara anterior, mejor será la predicción. Sin embargo, la importancia de todas las variables mencionadas no es la misma. Al considerar su relevancia en la predicción de posición efectiva del LIO, la mayor importancia la tendría la longitud axial, seguida, en orden decreciente, y en relación con la longitud axial, por queratometría media (76%), diámetro corneal horizontal (24%), refracción preoperatoria (18%), profundidad de la cámara anterior (8%), grosor del cristalino (7%) y edad (1%) (8).

Queratometría

Mientras que en cirugía de catarata experimenta pocos cambios postquirúrgicos, en la queratoplastia la queratometría preoperatoria de la córnea receptora poco tiene que ver con la queratometría tras la queratoplastia (10).

En múltiples estudios (7-10) se ha documentado la dificultad que presenta la predicción preoperatoria de los valores queratométricos tras la queratoplastia, de ahí la imprecisión de las diferentes fórmulas para el cálculo de potencia del lente intraocular.

La situación se agrava cuando se retiran las suturas, momento a partir del cual es frecuente apreciar cambios queratométricos. Además, los querátómetros habituales sólo miden la potencia dióptrica corneal en sus 2-4 mm centrales, zona que será trasplantada y que no se correlaciona con la potencia dióptrica corneal central tras la queratoplastia, no siendo útil para calcular la potencia del lente intraocular (33).

En ojos con importante patología corneal la determinación queratométrica preoperatoria puede ser de extrema dificultad y no es raro tener que recurrir a la valoración queratométrica del ojo contralateral.

Se puede aconsejar tomar como valor medio queratométrico de referencia los siguientes valores (34):

- 46 dioptrías, si la disparidad de tamaño donante-receptor es de 0.50 mm.
- 45 dioptrías si la disparidad es de 0.25 mm (12).

La única medida corneal preoperatoria que puede relacionarse con el resultado refractivo postoperatorio parece

ser la obtenida en la córnea periférica del receptor que permanecerá tras la queratoplastia y que será donde se suture el injerto corneal (35).

Longitud axial

Al igual que la relación de tamaños entre córnea donante y lecho receptor puede condicionar la queratometría postoperatoria, también puede tener cierta influencia sobre la longitud axial postquirúrgica. A mayor disparidad donante-receptor, mayor podrá ser la diferencia de la longitud axial postquirúrgica con la prequirúrgica (3-6).

Velocidades del ultrasonido a utilizar para medir la longitud axial:

- <22 mm: velocidad US de 560 m/seg.
- 22-25 mm: velocidad US de 1555 m/seg.
- > 25 mm: velocidad US de 1 550 m/seg.

Fórmulas

Puede ser utilizada cualquiera de ellas con base en los lineamientos generales para la cirugía normal de catarata:

- Ojos menores de 22 mm: Holladay, Hoffer Q o Haigis.
- Ojos de 22 a 25 mm: Todas son útiles.
- Ojos de 26 a 28 mm: SRK-T.
- Ojos mayores de 28 mm: Hoffer Q, Haigis.

Personalización de la constante A

En triples procedimientos se utilizan las fórmulas SRK II, SRK/T y Holladay, pudiendo mejorar el resultado refractivo en dichas situaciones (35). La personalización de una fórmula no sólo tiene en cuenta al cirujano sino también al biómetro y al queratómetro. Así, los motivos para la personalización permiten afinar los resultados en función de los instrumentos, técnicas diagnósticas, quirúrgicas y paciente (37, 38).

CÁLCULO POSTERIOR A CIRUGÍA REFRACTIVA

Se estima que aproximadamente un millón o más de pacientes se realizan cirugía refractiva al año. La mayoría de ellos son miopes y desarrollan cataratas a edades más tempranas que los pacientes emétopes (1).

El cálculo del LIO en pacientes intervenidos de cirugía queratorrefractiva (Queratotomía radial, PRK o LASIK) es mucho más complejo de lo normal, dado que los sujetos operados en general tienen expectativas y exigencias mayores respecto a los resultados refractivos, además de tener longitudes axiales extremas que complican por sí mismo el cálculo especialmente aunado a la dificultad en la obtención de valores queratométricos. La cirugía refractiva cambia la arquitectura de la córnea central, por lo que los métodos convencionales de medición sobreestiman el poder corneal. La literatura actual sugiere que esta sobreestimación es de 14-25% después de la cirugía refractiva (2).

La queratotomía radiada (QR) causa un aplanamiento proporcional de la curvatura anterior y posterior de la córnea, sin alterar el índice de refracción, y la queratotomía fotore-

fractiva (PRK) y el LASIK sólo aplanan la superficie anterior de la córnea, cambiando el índice de refracción, sobreestimando el poder corneal de aproximadamente una dioptría (D) por cada 7D de corrección refractiva obtenida (1). Al realizar cirugía queratorrefractiva ya no son válidos los valores de esta queratometría, debido a tres factores:

- Multifocalidad: aumenta el rango de los radios de curvatura corneal en la zona óptica, y esto implica que el valor queratométrico de los 3 mm ya no sea representativo del poder corneal más central (3).
- Asfericidad negativa: la curvatura corneal es más plana conforme se aproxima al ápex corneal, que es lo contrario que ocurre en una córnea normal (4).
- Irregularidad corneal y astigmatismos asimétricos (por descentramientos de la ablación o por cicatrizaciones asimétricas) (5): aunque son poco frecuentes, provocan aumentos focales de la curvatura corneal que dificultan la realización de una queratometría fiable. (6)

Factores que condicionan el error en el cálculo del LIO

1. Sobreestimación del poder corneal.
2. Medición incorrecta de la longitud axial.
3. Fórmula inadecuada para el cálculo del LIO.

Es de suma importancia considerar que las fórmulas existentes están diseñadas para calcular el poder del LIO según el índice queratométrico estandarizado de 1.3375, por lo que tras aplanamiento por cirugía de miopía (LASIK, PRK o QR), este índice estimará que la posición efectiva de la lente (ELP), será menor y por lo tanto conducirá a cálculo de una potencia de LIO inferior a la real y a una consiguiente hipermetropía. Por otro lado, tras un encurvamiento central por cirugía refractiva hipermetrópica ocurre lo inverso: la fórmula estima que la ELP será mayor y sobreestimará la potencia de la lente, lo que dará lugar a una refracción más hipermetrope.

Métodos para calcular valor queratométrico:

Casos con refracción y queratometría previa a cirugía refractiva y refracción post cirugía refractiva

1. El método más exacto de cálculo de LIO es probablemente el "método de historia clínica" de Holladay: consiste en sustraer a las medidas queratométricas previas a la cirugía refractiva el cambio en equivalente esférico derivado de la intervención (7) si la información refractiva prequirúrgica está disponible por lo que el cambio en equivalente esférico puede ser calculado en el plano corneal.

Casos sin información prequirúrgica

2. Método del lente de contacto: requiere realizar una refracción manifiesta sin corrección y una refracción posterior con una lente de contacto rígida de una curva base conocida (8).

En estos casos se utiliza el método de lente de contacto rígido. Le mejor AV corregida debe de ser por lo menos 20/80. Se realiza primero una refracción, posteriormente se coloca el lente contacto, si no cambia la refracción la córnea tiene el

mismo poder dióptrico. Si la refracción es más miópica, significa que el lente de contacto tiene más poder.

3. Queratometría modificada o ajustada: se resta una dioptría al valor de la queratometría estándar (9).

4. Métodos derivados de la topografía corneal (TC): es el promedio de todos los valores topográficos dentro de los 3 mm cent ales de la topografía corneal (10, 11).

Casos con refracción y queratometría precirugía refractiva
Consiste en calcular el LIO basándose en la refracción precirugía refractiva, asumiendo que el paciente era "plano" antes de la cirugía.

Casos con refracción previa y post cirugía refractiva
Cuando se tiene información pre y postquirúrgica de la refracción, sin queratometría, el método es restar 20% del equivalente esférico a la queratometría postquirúrgica.

Casos con refracción prequirúrgica solamente
Feiz y cols, describieron un nomograma teórico para ajustar el LIO. El cálculo se realiza con las queratometrías actuales y posteriormente se ajusta el nomograma.

El cálculo del poder corneal a partir de la historia refractiva es el que ha mostrado mayor exactitud en la mayoría de los trabajos (12, 13). Sin embargo, este método tiene aplicación limitada ya que requiere conocer la refracción y la queratometría previa a la cirugía refractiva y esto no siempre es posible ya que generalmente transcurren años o incluso décadas entre ambas intervenciones. Además, utiliza la refracción manifiesta y se puede introducir un error debido a la miopía de índice por la catarata.

Lyle (9) propuso utilizar la queratometría «ajustada» y, tras calcular la media de las fórmulas de Holladay y Binkhorst, intentar dejar con una refracción postoperatoria de - 0.75 D.

Celikkol (14) propone utilizar la topografía corneal computarizada junto con la fórmula de Holladay, afirmando que consigue una supuesta refracción de 0 D.

Hoffer (12) utiliza fórmulas de tercera generación, teniendo en cuenta la queratometría previa a la queratotomía radial, la refracción con lente de contacto y la topografía corneal computarizada de los 3 mm centrales.

Es importante saber que, tras la cirugía de la catarata, la córnea sometida a queratotomía radial presenta un aplanamiento significativo (15), de modo que durante la primera semana puede llegar a 5 D de hipermetropía, aunque evolucione hacia la emetropía (7, 9, 14). Este aplanamiento se debe a la reapertura de las incisiones, pero hacia el 4^o-5^o mes de la cirugía la córnea vuelve a tener la queratometría previa a la cirugía de la catarata. Por ello es importante medir la agudeza visual el primer día de la cirugía, así como la refracción y la queratometría para confirmar que la supuesta ametropía se debe al aplanamiento corneal y no a un error de cálculo de la LIO.

En el caso de la cirugía lamelar se recomienda emplear la queratometría previa a la cirugía refractiva, pues las fórmulas habituales tienden a dejar errores hipermetrópicos (16). Kalsky utiliza la fórmula SRK-T en miopes tras PRK (17).

Recientemente, Arraberri afirmó que la hipermetropía residual es secundaria al error en el cálculo de la posición

efectiva de la LIO (PEL) generado por las fórmulas teóricas de tercera generación, en donde se usan los valores queratométricos posteriores a la cirugía refractiva. Por lo anterior propone el método de doble K, el cual utiliza dos valores queratométricos (K): precirugía refractiva (Kpre) para el cálculo de la PEL y postcirugía refractiva (Kpost) para la fórmula de vergencia que finalmente da el poder del LIO. La Kpost se calcula con el método de historia clínica. Para poder usar este método se debe contar con los valores queratométricos previos a la cirugía refractiva, lo cual no siempre es posible (1).

En estudios recientes se ha encontrado que el método de doble K produce mayor resultado miópico y que el método más exacto es combinar los métodos de doble K con un valor de queratometría ajustado derivado de la topografía corneal.

Colin y cols., recomiendan usar los métodos de Doble K combinado con Hoffer Q utilizando los métodos de la historia clínica o el menor valor la queratometría ajustada. La fórmula de Shammas es una alternativa si la falta de datos impide el uso de la Doble K o el método de la historia clínica (2), la cual es obtenida por regresión lineal para convertir la K medida en un equivalente de la K calculada por el método de historia clínica K calculada: $1.14 * K - 68$.

Trazado de rayos

El cálculo mediante trazado de rayos es una alternativa al cálculo mediante fórmulas analíticas de vergencia que promete un cambio significativo en el cálculo del LIO en los próximos años. En ojos operados mediante cirugía queratorrefractiva el cálculo mediante trazado de rayos exacto permite valorar el efecto de la aberración esférica sobre la posición del plano de mejor enfoque, que puede variar algunas dioptrías respecto del plano paraaxial en pupilas de tamaño medio-grande.

Hay que tener en cuenta que en el cálculo por trazado sigue siendo necesario el algoritmo de predicción de la posición física del LIO dentro del ojo y si el radio de curvatura corneal ha participado en dicha predicción, habrá que ajustar nuevamente el algoritmo para emplear precirugía queratorrefractiva en la estimación de profundidad de cámara anterior (ACD) pseudofáquica y postcirugía queratorrefractiva R post en el trazado (18).

CONCLUSIONES

El desarrollo y perfeccionamiento de diseños y materiales de lentes intraoculares ha representado un gran avance en la cirugía de catarata, por permitir una mejor y más rápida recuperación visual del paciente.

Es fundamental el cálculo correcto del poder dióptrico del lente intraocular que será implantado durante el procedimiento quirúrgico para lo que se disponen de equipos biométricos con efectividad ya establecida como lo es la biometría modo A mediante la técnica de inmersión e interferometría, y fórmulas cada vez más precisas de 3^a y 4^a generación que exigen una medición exacta de los distintos parámetros, pues peque-

ñas fallas pueden provocar importantes errores en la refracción postoperatoria.

Si en condiciones habituales es fundamental calcular adecuadamente el poder dióptrico del lente, lo es más en las diferentes circunstancias refractivas a saber, hipermetropía, miopía, posterior a queratoplastia y cirugía refractiva, dado que conocer en qué casos utilizar cada fórmula y constantes y saber interpretar los distintos resultados permitirá al oftalmólogo tomar mejores decisiones respecto al poder y tipo de lente intraocular a ser implantado, inclusive en pacientes con cirugía refractiva previa, quienes cada vez son más exigentes para conseguir una buena agudeza visual sin corrección y en quienes ante la incertidumbre, ya sea por ausencia de datos previos, incongruencia refractiva, historia clínica, o resultados obtenidos de medidas queratométricas (aun con gran variedad de métodos para mejorar la estimación del poder corneal central desarrollados, pero ninguno es suficientemente exacto) será muy conveniente advertir del riesgo de una sorpresa refractiva.

Es importante conocer y saber interpretar los distintos métodos queratométricos, biométricos y fórmulas necesarias para conseguir nuestro objetivo tras la intervención de cataratas: devolver la mejor función visual al paciente dependiendo lo menos posible de una corrección con anteojos.

REFERENCIAS

1. Olsen T. Sources of error in intraocular lens power calculations. *J Cataract Refract Surg* 1992; 18:125-129.
2. Longstaff S. Factors affecting intraocular lens power calculation. *Trans Ophthalmol Soc* 1986; 105:642-646.
3. Drews RC. Results in patients with high and low power intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 1986; 12:154-157.
4. Shamma HJ. *Atlas of Ophthalmic Ultrasonography and Biometry*. St Louis: Mosby, 1984.
5. Holladay J. Biometría con ecografía modo A y cálculo de la potencia refractiva de LIO. *Focal Points* 1997; (5):13-18.
6. Mendicute J, Aramberrí J. *Fórmulas y manejo de la sorpresa refractiva en la cirugía de catarata*. Madrid: Tecnimedia Editorial, 2000.
7. Hoffer J. The effect of axial length on posterior chamber lenses and posterior capsule position. *Curr Concepts Ophthalmic Surg* 1984; 1(1):20-22.
8. Hoffer J. Biometría con ecografía modo A y cálculo de la potencia refractiva de Lb. *Focal Points (cd. Highlights of Ophthalmology mt)* 1997; 1(5):13-18.
9. Binkhorst RD. The accuracy of ultrasonic measurement of the axial length of the eye. *Ophthalmic Surg* 1981; 12:363-365.
10. Schelenz J, Kamman J. Comparison of contact and immersion techniques for axial length measurement and implant power calculations. *J Cataract Refract Surg* 1989; 15(4):425-428.
11. Hoffmann P, Hutz W, Eckhardt H, Heuring A. Intraocular lens calculation and ultrasound biometry: immersion and contact procedures. *Klin Monatsbl Augentrellkd* 1998; 213(3):161-165.
12. Holladay JT. International Intraocular Lens & Implant Registry 2002. *J Cataract Refract Surg* 2002; 28:152-174.
13. Hoffer K. The Hoffer Q formula: a comparison of theoretic and regression formulas. *J Cataract Refract Surg* 1993; 19:700-712.
14. Pontuchova E, Cernak A, Potocky M. Calculation of the assumed postoperative anterior chamber depth as an important factor in the calculation of optic power of the intraocular lens. *Cesk Slov Oftalmol* 1996; 52(4):215-219.
15. Apple DJ, Trivedi RH. Sir Nicholas Harold Ridley, Kt, MD, FRCS, FRS: contributions in addition to the intraocular lens. *Arch Ophthalmol* 2002; 120(9):1198-1202.
16. Hoffer KJ. Clinical results using the Holladay 2 intraocular lens power formula. *J Cataract Refract Surg* 2000; 26(8):1233-1237.
17. Fenzl RE, Gills JP, Cherchio M. Refractive and visual outcome of hyperopic cataract cases operated on before and after implementation of the Holladay II formula. *Ophthalmology* 1998; 105:1759-1764.
18. Holladay JT. Standardizing constants for ultrasonic biometry, keratometry, and intraocular lens power calculations. *J Cataract Refract Surg* 1997; 23(9):1356-1370.
19. Holladay JR. Achieving emmetropia in extremely short eyes with two piggyback posterior chamber intraocular lenses. *Ophthalmology* 1996; 103:1118-1123.
20. Liang Y, Cherin T, Chi T, Chan Y. Analysis of intraocular lens power calculation. *J Am Intraocular Implant Soc* 1985; 11(3):268-271.
21. Menezo JL, Chaques V, Harto M. The SRK regression formula in calculating the dioptric power of intraocular lens. *Br J Ophthalmol* 1984; 68(4):235-237.
22. Kora Y, Koike M, Suzuki Y, Inatomi M, Fukado Y, Ozawa T. Errors in IOL power calculations for axial high myopia. *Ophthalmic Surg* 1991; 22(2):78-81.
23. Berges O, Puech M, Assouline M, Letenneur L, Gastellu-Etchegorry M. B-mode-guided vector-A-mode versus A-mode biometry to determine axial length and intraocular lens power. *J Cataract Refract Surg* 1998; 24(4):529-535.
24. Zaldívar R, Schultz MC, Davidorf JM, Holladay JT. Intraocular lens power calculations in patients with extreme myopia. *J Cataract Refract Surg* 2000; 26(5):668-674.
25. Thompson JT, Maumenee AE, Baker CC. A new posterior chamber intraocular lens formula for axial myopes. *Ophthalmology* 1984; 91(5):484-488.
26. Yalvac IS, Nurözler A, Ünlü N, Cetinkaya F, Kasim R, Duman S. Calculation of intraocular lens power with the SRK II formula for axial high myopia. *Eur J Ophthalmol* 1996; 6(4):375-378.
27. Brandser R, Haaskjold E, Drolsum L. Accuracy of IOL calculation in cataract surgery. *Acta Ophthalmol Scand* 1997; 75(2):162-165.
28. Kora Y, Ochi T, Suzuki Y, Inatomi M, Fukado Y. A new intraocular lens formula for high myopia. *Ophthalmic Surg* 1989; 20(12):860-863.
29. Kora Y, Suzuki Y, Natomi M, Ozawa T, Fukado Y. A simple modified SRK formula for severely myopic eyes. *Ophthalmic Surg* 1990; 21(4):266-271.
30. Kora Y, Kitazato T, Inatomi M, Koide R, Yaguchi S, Ozawa T, Kaneko M. An intraocular lens power calculation for high myopia. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi* 1995; 99(6):692-695.
31. Martínez R, Grau M, Fontela JR, Pita D. Biometría y cálculo del poder dióptrico de las lentes intraoculares. *Annals Ophthalmol* 1998; 8(2):22-29.
32. Fyodorov SN, Galin MA, Linksz A. Calculation of the optical power of intraocular lenses. *Invest Ophthalmol* 1975; 14(8):625-628.
33. Gelender N, Gelber EC. Cataract following radial keratotomy. *Arch Ophthalmol* 1983; 101:1229-1231.

34. Colenbrander A, Woods LV, Stamper RL. Intraocular lens data. *Ophthalmology* 1983; suppl:20-27.
35. Sanders DR, Retzlaff JA, Kraff M. A new IOL formula calculation. *Am Intraocular Implant Soc* 1986:148-152.
36. Sanders D, Retzlaff JA, Kraff M, Krafz R, Gills J, Levirre R, Colvard M, Weisel J, Loyd T. Comparison of tire accuracy of the Binkhorst, Colenbrander, and SRK implant power prediction formulas. *J Am Intraocul Implant Soc* 1981; 7(4):337-340.
37. Holladay JT. International Intraocular Lens & Implant Registry 2001. *J Cataract Refract Surg* 2001; 27:143-164.
38. Holladay JT. International Intraocular Lens & Implant Registry 2002. *J Cataract Refract Surg* 2002; 28:152-174.
39. Gimbel HV, Sun R. Accuracy and predictability of intraocular lens power calculation after laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2001; 27(4):571-576.
40. Girmbel HV, Sun R, Furlong MI, Westenbrugge JA, Kassah J. Accuracy and predictability of intraocular lens power calculation after photorefractive keratectomy. *J Cataract Refract Surg* 2000; 26:1147-1151.
41. McDonnell PJ. Can we avoid an epidemic of refractive surprises after cataract surgery?. *Arch Ophthalmol* 1997; 115:542-543.
42. Moreira H, Garbus JJ, Fasano A, Lee M, Clapham TN, McDonnell PJ. Multifocal corneal topographic changes with excimer laser photorefractive keratectomy. *Arch Ophthalmol* 1992; 110(7):994-999.
43. Seitz B, Langenbucher A. Intraocular lens calculations status after corneal refractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2000; 11:35-46.
44. Grimm B, Waring Go III, Ibrahim O. Regional variation in corneal topography and wound healing following photorefractive keratectomy. *J Refract Surg* 1995; 11(5):348-357.
45. Hersh PS, Schwartz-Goldstein BH. Corneal topography of Phase III excimer laser photorefractive keratectomy: caracterizacion and clinical effects. *J Refract Surg* 1996; 12:347-351.
46. Holladay JT. IOL calculations following radial keratotomy surgery. *Refract Corneal Surg* 1989; 5:36.
47. Soper JW, Goffman J. Contact lens fitting by retinoscopy. En: Soper JW (ed). *Contact lenses: advances in design, fitting, application*. Miami: Symposia Specialist, 1974:99.
48. Lyle WA, Jin GJ. Intraocular lens power prediction in patients who undergo cataract surgery following previous radial keratotomy. *Arch Ophthalmol* 1997; 115:457.
49. Kalski RS, Danjoux, JP, Fraenkei GE, Lawiess MA, Rogers O. Intraocular lens power calculation for cataract surgery after photorefractive keratectomy for high myopia. *J Refract Surg* 1997; 13(4):362-366.
50. Leshner MP, Schurmmmer Di, Hunker JD, Durrie DS, McKee FE. Phacoemulsification with intraocular lens implantation after excimer photorefractive keratectomy; A case report. *Cataract Refract Surg* 1994; 20:265-267.
51. Hoffer KJ. Intraocular lens power calculation for eyes after refractive keratotomy. *J Refract Surg* 1995; 11(6):490-493.
52. Seitz B, Langenbucher A, Nguyen NX, Kus MM, Kühle M. Underestimation of intraocular lens power for cataract surgery after myopic photorefractive keratectomy. *Ophthalmology* 1999; 106(4):693-702.
53. Celikkol L, Pavlopoulos G, Weinstein B, Celikkol G. Calculation of intraocular lens power after radial keratotomy with computerized videokeratography. *Am Ophthalmol* 1995; 120:739-750.
54. Koch DO, Liu JF, Hyde L.L, Rock RL, Emery JM. Refractive complications of cataract surgery after radial keratotomy. *Am J Ophthalmol* 1989; 108:676-682.
55. Stakheev AA. Intraocular lens calculation for cataract after previous radial keratotomy. *Ophthalmic Physiol Opt* 2002; 22:289-295.
56. Markovits AS. Extracapsular cataract extraction with posterior chamber intraocular lens implantation in postradial keratotomy patient. *Arch Ophthalmol* 1986; 104:329-330.