

OPTOMETRÍA CLÍNICA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN (OCCV)



CONTENIDO

EDITOR-IN-CHIEF

DR. ALEJANDRO BLASCO
MARTINEZ

editorial@revistaoccv.com

COMITÉ EDITORIAL

DR. CARLOS SERRANO
BERNAL

DRA. GEMA INSA
SÁNCHEZ

DR. JUAN CARLOS
VIÑUELA RODRÍGUEZ

D. JAVIER PÉREZ VELILLA

DÑA. ARIANNA DI MARO

DR. MUHAMMAD QASIM

SECRETARÍA TÉCNICA

DÑA. AZUCENA GRACIA
CALVO

DÑA. MARTA CASERO
PONTAQUE

INVESTIGACIÓN

- 3 [Bruno Songel Sanchis et al.:](#)
Influencia de la dosis de atropina en el polo anterior de una población infantil miope
- 26 [Muhammad Qasim et al.:](#)
Burden of Refractive Errors in Albania – Findings from an Urban Eye Clinic in Tirana
- 36 [Eumelia Carrillo Suárez et al.:](#)
Alteraciones Nerviosas y Vasculares de la Retina en Pacientes Diabéticos sin Retinopatía
- 46 [Jorge Andrés Navarro et al.:](#)
Ajuste Clínico Avanzado de la Fórmula Haigis-L en Cirugía Refractiva
- 63 [Ana Castro Manzanares et al.:](#)
Tomografía corneal en pacientes intervenidos de LASIK con láser de femtosegundo. Estudio preoperatorio y postoperatorio a los 3 meses

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- 15 [Gema Martínez Florentín et al.:](#)
E-sports: El Impacto de los Videojuegos en la Salud Visual
- 73 [María Ángeles Giménez Gimeno et al.:](#)
Microscopía Brillouin
- 79 [Jennifer Muñoz Mugüerza:](#)
Ventajas e inconvenientes de SMILE vs LASIK

CASOS CLÍNICOS

- 56 [Laura Trívez Valiente et al.:](#)
Adaptación Pediátrica de Prótesis Ocular en Microftalmia Congénita

Influencia de la dosis de atropina en el polo anterior de una población infantil miope

Influence of Atropine Dosage on the Anterior Segment in a Myopic Pediatric Population

Bruno Songel Sanchis, MSc^{1*}, Natalia Sanz Flores, MSc¹, Rafael Bella Gala, PhD²,
Noemí Güemes Villahoz, PhD³

1: Departamento de Optometría y Visión, Universidad Complutense de Madrid, España.

2: Universidad Complutense de Madrid, España.

3: F.E.A. Servicio de Oftalmología, Instituto de Investigación Sanitaria del Hospital Clínico San Carlos, Madrid, España.

*brunosongels@gmail.com

Enviado: 30 de octubre del 2024

Aceptado: 16 de diciembre del 2024

Financiación: Ninguno de los autores declaran tener financiaciones.

Declaración de Conflictos de Intereses: Ninguno de los autores declaran tener conflictos de intereses.

Relevancia: El empleo del tratamiento farmacológico en forma de colirio de atropina para el control de la progresión de la miopía infantil puede producir cambios en las diferentes estructuras del polo anterior.

Propósito: Evaluar los cambios producidos en el polo anterior en niños miopes en tratamiento con colirio de atropina al 0,025%.

Material y métodos: Se incluyeron niños miopes de entre 4 y 16 años en tratamiento con colirio de atropina al 0,025%. Se evaluó longitud axial, refracción cicloplégica en equivalente esférico (EE), recuento endotelial (RE) mediante microscopía especular, diámetro pupilar en condiciones mesópicas y fotópicas, tiempo de ruptura lagrimal no invasivo (NIKBUT), mediante Keratograph, grosor corneal (PACH) central, curvatura corneal, astigmatismo y asfericidad corneal mediante tomografía (Pentacam). Se evaluó a los pacientes antes de iniciar tratamiento (basal), y a los 12 meses.

Resultados: Se incluyeron un total de 68 niños miopes de edad media $9,8 \pm 2,5$ años. No se observaron cambios significativos en el RE, PACH, asfericidad corneal o NIKBUT ($p=0,55$, $p=0,81$, $p=0,63$, $p=0,10$, respectivamente). El diámetro pupilar aumentó tras 12 meses en condiciones mesópicas en 0,81 mm y fotópicas en 1,38 mm, $p<0,001$. El astigmatismo medio corneal también incrementó de $1,09 \pm 0,44D$ a $1,22 \pm 0,52D$ a los 12 meses, $p<0,05$.

Conclusiones: El uso de colirio de atropina al 0.025% no produce cambios significativos en los parámetros estudiados del polo anterior a los 12 meses de seguimiento, a excepción del esperado aumento de diámetro pupilar que fue bien tolerado por los niños. Dado el aumento del empleo de colirio de atropina como tratamiento a largo plazo para la progresión de miopía, es recomendable seguir estudios que evalúen sus efectos.

Palabras clave: Miopía, Defecto Refractivo, Atropina, Control de Miopía, Efectos Secundarios.

Relevance: The use of pharmacological treatment in the form of atropine eye drops to control the progression of childhood myopia can produce changes in the anterior pole.

Purpose: To evaluate the changes produced in the anterior pole in myopic children treated with 0.025% atropine eye drops.

Methods: Myopic children between 4 and 16 years old treated with 0.025% atropine eye drops were included. Axial length, cycloplegic refraction in spherical equivalent (SE), endothelial count (ER) was evaluated by specular micros-

copy, pupil diameter in different mesopic and photopic conditions, tear breakup time (NIKBUT), by Keratograph, corneal thickness (CCT). Central, corneal curvature, astigmatism and corneal asphericity using tomography (Pentacam). Patients were evaluated before starting treatment (baseline), and after 12 months.

Results: A total of 68 myopic children with a mean age of 9.8 ± 2.5 years were followed up for 12 months. No significant changes were observed in ER, CCT, corneal asphericity or NIKBUT ($p=0.55$, $p=0.81$, $p=0.63$, $p=0.10$). The pupil diameter increased after 12 months in mesopic conditions from $(6.44 \pm 0.98\text{mm})$ to $(7.25 \pm 0.74\text{mm})$ and photopic conditions from $(3.52 \pm 0.77\text{mm})$ to $(4.90 \pm 1.06\text{mm})$ $p<0.001$. Mean corneal astigmatism from $1.09 \pm 0.44\text{D}$ to $1.22 \pm 0.52\text{D}$ at 12 months $p<0.05$.

Conclusions: The use of 0.025% atropine eye drops does not produce significant changes in the studied parameters of the anterior pole at 12 months of follow-up. Given the increase in long-term use of atropine eye drops, further studies are recommended.

Keywords: Myopia, Refractive Error, Atropine, Myopia Control, Side Effects.

INTRODUCCIÓN

La miopía es un desorden refractivo crónico que afecta negativamente a la calidad visual en personas de todas las edades, donde la imagen generada por el sistema visual se enfoca en un punto anterior a la retina (1-3). En este aspecto, la miopía puede deberse a un exceso de potencia en relación con la longitud axial o anteroposterior normal (componente refractivo) o a una elevada longitud axial respecto al componente refractivo normal (componente axial).(3-7) En la infancia temprana y especialmente en los dos primeros años de vida, se dan los cambios más significativos de curvatura corneal y longitud axial, los cuales establecen el estado refractivo del ojo en la infancia.(8) Durante este periodo de crecimiento ocular, la longitud axial y la profundidad de la cámara anterior se coordinan mediante un mecanismo aún no bien descrito, con el aplanamiento corneal y la disminución de la potencia del cristalino, produciéndose una reducción de la hipermetropía y un

mejor enfoque y rendimiento del globo ocular.(9)

Durante la etapa de crecimiento, el ojo cambia su capacidad refractiva en un proceso denominado emetropización. En este proceso el ojo pasa de un estado de refracción de media hipermetrope, que va disminuyendo gradualmente desde el nacimiento, hasta un ojo con refracción neutra a los 7 años aproximadamente. Si se producen fallos durante este proceso, puede dar lugar a defectos refractivos.(10-12) Al igual que se produce una reducción del error refractivo esférico también se puede producir en algunos casos, una reducción del astigmatismo durante los primeros años.(10)

La prevalencia de la miopía ha aumentado significativamente en los últimos 20 años, y según esta tendencia, se estima que podría afectar hasta un 50% de la población mundial en el año 2050 (Gráfica 1). Con una incidencia de miopía magna (mayor a 6,00D) del 10%. Esta tendencia se ha visto incrementada por el mayor

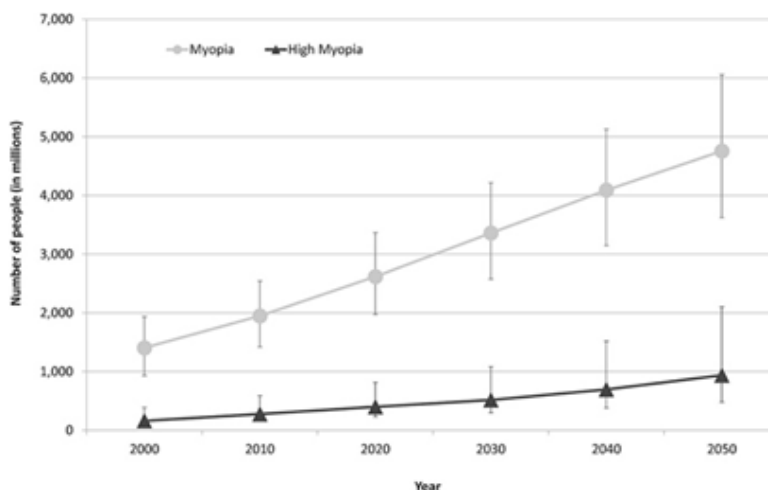


Figura 1. Prevalencia de la miopía y miopía magna entre los años 2000 y 2050(13)

tiempo de actividades en visión próxima, el incremento de uso de aparatos electrónicos como tablets y teléfonos móviles, así como la concentración de la población en viviendas de menor tamaño y ambientes más cerrados. Esta tendencia se vio gravemente afectada tras la pandemia de COVID-19 cuyos hábitos de vida cambiaron drásticamente en muy poco tiempo, demostrando así la influencia de los factores externos en el aumento de la miopía. Estos hábitos perjudiciales se tradujeron en un aumento del tiempo en la realización de tareas en distancia próxima.(13)

Entre los factores de riesgo de padecer miopía encontramos una base genética, por lo que existe mayor prevalencia de miopía en niños cuyos padres son miopes, también influyen factores ambientales, como la etnia, altura y ritmos circadianos. La excesiva realización de tareas en visión próxima se apunta como un factor en el incremento y aparición de la miopía, debido al aumento del esfuerzo en el músculo ciliar durante la acomodación, siendo el exceso de acomodación un factor de incremento.(14)

Pasar mucho tiempo al aire libre se presenta por otro lado como un factor protector, ya que la luz solar afecta en el crecimiento de la longitud axial del ojo; por un lado, se presume que gracias a la regulación que esta tiene en los ciclos circadianos y liberación de moléculas moderadoras en el crecimiento ocular; y por otro lado debido a que si realizamos actividades al aire libre se realizan actividades con intensidad y calidad lumínica suficiente, realizando menos esfuerzos acomodativos. También se postula la posible influencia de otros factores antropométricos como reguladores, aunque aún han sido poco estudiados.(12)

La miopía es también un factor desencadenante de numerosas enfermedades oculares como el desprendimiento de retina, la retinopatía miópica y el glaucoma de ángulo abierto, lo que contribuye a una pérdida de visión y ceguera.(15) También puede incidir negativamente en la formación de cataratas, tanto nuclear como subcapsular posterior, así como degeneración macular miópica, cuyo riesgo es mayor en miopías magnas, pero igualmente significativo en miopías bajas y moderadas.(4) Estas consideraciones, deben suponer una alerta para la prevención y evitar su evolución.

Actualmente, las dianas terapéuticas se centran en el control de su progresión. Entre los métodos utilizados para intentar mitigar o parar su incremento están los colirios de atropina, las lentes de ortoqueratología, las lentes de contacto y las lentes oftálmicas de control de miopía basadas en la utilización de desenfoque

periférico.(16) El tratamiento de la evolución miópica puede parecer "a priori" una solución poco efectiva, pero mantener la miopía en -1,00 dioptrías frente a -3,00 dioptrías, reduce el riesgo de degeneración macular en 4 veces y el desprendimiento de retina en 3 veces ya que el riesgo de padecer estas patologías aumenta logarítmicamente por encima de las dos dioptrías.(17)

Debido al aumento de la prevalencia de la miopía en los últimos años, es importante conocer cómo ralentizar su progresión para reducir el riesgo de pérdida de visión y de desarrollar patologías oculares que son un peligro para la salud. Además de ser necesario conocer la eficacia de los tratamientos de control de miopía, también deben conocerse los efectos secundarios asociados que estos tratamientos pudiesen originar.

La atropina es un tratamiento ampliamente utilizado y validado como efectivo, pero al ser un tratamiento farmacológico pautado a largo plazo en dosis diaria, aunque en baja concentración, en este trabajo se estudiarán los posibles efectos que este puede producir en el polo anterior del ojo, que es precisamente donde se instila.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio prospectivo, longitudinal, analítico y experimental que incluyó un seguimiento a 68 niños miopes entre 4 y 16 años de la Unidad de Miopía del Hospital Clínico San Carlos (Madrid, España) con indicación de tratamiento farmacológico de colirio de atropina 0,025%. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética del Hospital Clínico San Carlos (HCSC), el 19 de abril de 2022. El proceso de selección se realizó teniendo en cuenta unos criterios de inclusión y exclusión:

Criterios de Inclusión:

- Pacientes con edades comprendidas entre los 4 y los 16 años que han sido (reclutados en los Centros de Especialidades de Avda. De Portugal y Modesto Lafuente dependientes de HCSC con sospecha o diagnóstico de miopía).
- Consentimiento Informado firmado tanto por los padres como por los pacientes con edades entre los 12 y 16 años.
- Pacientes con Agudeza visual (AV) monocular con la mejor compensación igual o superior a 0,2 logMAR.
- Pacientes cuyo defecto refractivo en equivalente esférico sea superior a -1 dioptrías (D) de miopía.
- Pacientes con astigmatismo igual o inferior a +/- 2,00D y anisometropía igual o inferior a 1,50 D.

Criterios de Exclusión:

- Anomalías de la visión binocular y estrabismo.

- Alteraciones en el fondo de ojo que se consideren excluyentes por parte del examinador.
- Patologías oculares del segmento anterior y patologías del segmento posterior que impidan una buena visión.
- Ambliopía.
- Cirugías oculares previas.
- Patologías sistémicas o presencia de alguna circunstancia que impida la realización del examen completo al paciente.

Una vez validada la participación de los sujetos, tras observar que cumplieran con los criterios de inclusión y exclusión, y dispuesta su conformidad con la firma del consentimiento informado, se tomó medidas de los distintos parámetros. Esta batería de medidas fue repetida en la visita inicial, a los 6 y 12 meses. Todas las pruebas se realizaron en el Servicio de Oftalmología del HCSC. Estas se realizaron según sus competencias profesionales por oftalmólogos y optometristas adscritos al estudio.

Para la toma de medidas optométricas objetivas, se contó con los siguientes sistemas y se anotaron los resultados en la hoja mostrada en el anexo II: Sistema Pentacam® (Oculus, GmbH, Wetzlar, Alemania), Keratograph® (Oculus GmbH, Wetzlar, Alemania), Tomey EM-4000® (Tomey Corporation, Japón), Lenstar 900® (Haag-Streit Holding, Köniz, Suiza), KR-1W® (Topcon Corporation, Japón), HRK-7000® (Huvitz, Anyang, Corea del Sur), Lámpara de hendidura BM-900 (Haag-Streit Holding, Köniz, Suiza).

Análisis estadístico:

Este se realizó con el programa IBM SPSS Statistics Versión 26.0. Las variables cuantitativas se expresaron con su media y desviación estándar en el caso de seguir la normalidad, en caso contrario se mostró la mediana (p50) y el rango intercuartílico (p25, p75).

Para las comparaciones entre meses se empleó la T de Student para muestras apareadas en variables que seguían la normalidad o bien la prueba de Wilcoxon en aquellas variables no paramétricas. Por último, en las correlaciones se utilizó la correlación de Pearson en las variables con distribución normal, o su contraparte no paramétrica, la correlación de Spearman. Se tomó un valor estadísticamente significativo $p < 0,05$. En el caso de obtener significancia estadística, se realizó el estudio a los 6 meses para comprobar si estos cambios se habían producido anteriormente. Aunque se valoró estudiar aleatoriamente uno de los dos ojos, cuando se presentaron los resultados al Servicio de Estadística del Hospital Clínico San Carlos, se realizó un muestreo previo y se obtuvo que los valores obtenidos por uno u otro ojo respondían a una evolución y punto de partida similares, por tanto, se realizó el estudio sobre los dos ojos, basándose en las ecuaciones de estimación generalizada.(18, 19)

RESULTADOS

Se realizó un seguimiento a 68 pacientes miopes de la unidad de miopía del Hospital Clínico San Carlos, de los cuales 44 fueron niños y 24 niñas, de edad media $9,8 \pm 2,5$ años. La distribución por edades de los participantes se recoge en la Figura 2.

Se obtuvieron las medias de la medida de la refracción ciclopléjica en equivalente esférico (valor de la esfera sumado a la mitad del cilindro, expresado como (EE)) y los datos biométricos oculares del parámetro de longitud axial (Tabla 1).

Esta tabla ha sido organizada en función de las medias de los valores obtenidos cada seis meses. Se obtuvieron cambios medios estadísticamente significativos en el equivalente esférico refractivo (EE) a los 12 meses con

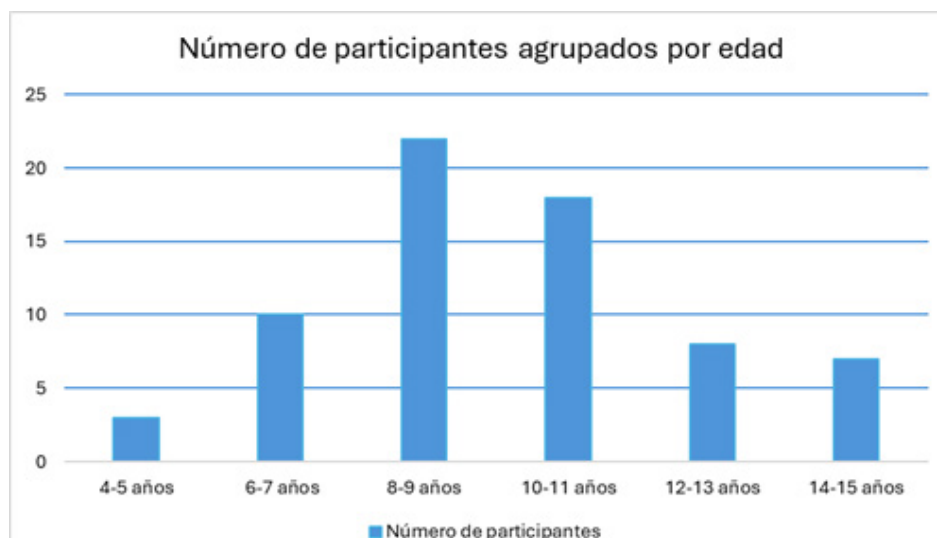


Figura 2. Número de pacientes por edades

un incremento de - 0,23 D respecto a la medida basal. En cuanto a longitud axial (LAX), se observaron cambios significativos desde la etapa inicial hasta 12 meses ($p < 0.001$), viéndose incrementado en 0,20 mm. Este valor medio había aumentado 0,16 mm en los 6 meses siguientes.

Se analizó el valor medio y desviación estándar de las medidas realizadas del diámetro pupilar en condiciones fotópicas (FOT) y mesópicas (MES), (Tabla 2). Se obtuvieron aumentos pupilares medios estadísticamente significativos de 0,81 mm en condiciones mesópicas y de 1,28 mm en condiciones fotópicas a los 12 meses. En el análisis posterior, realizado en la etapa intermedia a 6 meses, se obtuvo un incremento aun mayor de 1,38 mm en condiciones fotópicas y 0,88 mm en condiciones mesópicas.

Se obtuvieron los resultados de las medidas obtenidas para la ruptura de la estabilidad lagrimal (NIK BUT) (Tabla 3). En el tiempo de primera ruptura lagrimal no se encontraron cambios estadísticamente significativos. Se observó un incremento de 0,73 seg, a los 12 meses, para el valor del tiempo de ruptura lagrimal media $p = 0,10$ en el caso del tiempo de ruptura lagrimal medio.

En relación con los valores de densidad media de células del endotelio corneal por milímetro cuadrado (Tabla 4), no se observó un cambio significativo estadística y clínicamente en el recuento endotelial corneal a los 12 meses de seguimiento.

Se obtuvo la media de las medidas correspondientes al grosor corneal en la región del ápex, potencias del radio de curvatura corneal más plano y curvo (K1 y K2 respectivamente), media del astigmatismo y asfericidad corneal (tabla 5). Se obtuvo un aumento en el parámetro de la medida del astigmatismo calculado por la diferencia de meridianos, el cual fue estadísticamente significativo a los 12 meses. Se pudo observar cómo el valor de este parámetro experimentó un incremento de 0,13 D en la medida a los 12 meses. En el resto de los parámetros analizados en la presente tabla no se obtuvo significancia estadística.

Se analizaron aspectos que pudiesen estar correlacionados entre sí para valorar si los cambios producidos en algunos de ellos pudiesen implicar cambios en otros y así valorar su dependencia o independencia, así como la fortaleza de esta relación si la hubiese.

Para ello se interrelacionaron aspectos como la LAX, EE, FOT y MES (Tabla 6). Así pues, se obtuvo la correlación entre el diámetro pupilar y LAX.

Se obtuvieron unos valores de correlación débil entre los parámetros de longitud axial y diámetro pupilar, tanto en condiciones fotópicas como mesópicas, así como entre la longitud axial y la refracción obtenida. Estos últimos, presentan una correlación negativa debida a la

diferencia de signos entre variables.

Para el posterior análisis, comparación y discusión se procedió a realizar una representación gráfica de los valores obtenidos por la longitud axial, refracción y ambos diámetros pupilares estudiados en los periodos: basal a los 6 y 12 meses. Figuras (3 a 6)

DISCUSIÓN

Este trabajo muestra los resultados de los cambios producidos en el polo anterior de ojos de una población infantil miope tras 12 meses en tratamiento con atropina. Durante la realización del estudio se llevó a cabo la recopilación de valores de refracción, longitud axial, recuento endotelial, medida del diámetro pupilar en condiciones de baja y alta iluminación, ruptura de la estabilidad lagrimal, medida del grosor corneal, potencia del radio de curvatura más curvo y plano, medida del astigmatismo y valor de la asfericidad corneal. Entre los principales hallazgos encontrados destaca el aumento de la longitud axial y de la refracción esfero equivalente, el incremento del diámetro pupilar en condiciones mesópicas y fotópicas, además de ausencia de cambios en la densidad de células endoteliales.

Se observó una estabilización de la progresión de la longitud axial, a pesar del aumento comparado con el valor inicial (Tabla 1). Asimismo, se puede hablar de un crecimiento normal entre los 6 primeros meses y los 6 últimos ($< 0,05$ en 6 meses). A pesar de los cambios mostrados, estos pueden estar relacionados con periodo de crecimiento fisiológico. Al aumentar la longitud axial, aumenta también la refracción, guardando cierta relación establecida de 3 dioptrías por cada milímetro, asociando este tipo de miopía con el perfil axial. Estudios anteriores también muestran la evolución de la longitud axial y refracción en pacientes tratados con atropina, mostrando una ralentización de su progresión, en comparación a los valores normales esperados si no fueran tratados, pudiendo reducir hasta un 50% su progresión, según estudios del instituto de visión Brien Holden. Se podría afirmar en este caso, que si un niño tiene - 2,50 dioptrías a los 6 años, a los 17 tendría -5,70, en comparación a los -4,10 que se esperaría si inicia un control de miopía a bajas dosis.(20-28) En este sentido, observamos también como en el transcurso del presente estudio, se produjo un crecimiento prácticamente igual al del ojo emélope, tanto en refracción como en longitud axial (Tabla 1)

Respecto a los valores de las medidas del diámetro pupilar, los estudios ATOM (20) y LAMP (24) sobre el uso de atropina para el control de miopía, exponen también efectos secundarios, descritos en el principio activo, en

el diámetro pupilar en condiciones mesópicas y fotópicas, mostrando un aumento significativo clínica y estadísticamente significativo ($p < 0,05$), 0,74 mm para la dosis de 0,01%, 2,25 mm y 3,11 mm para la dosis de 0,1% y 0,5% respectivamente. Datos que concuerdan con los mostrados en el presente estudio, en el que se obtuvo un aumento de más de un milímetro de media en ambos ojos (Tabla 2). Este parámetro es importante, ya que actualmente se plantean teorías en la práctica clínica que postulan el posible efecto terapéutico mayor en las pupilas más dilatadas a través de la cascada bioquímica que controla la progresión de la miopía. Se propone que fuese desencadenada esta por el desenfoque periférico generado por la dilatación pupilar. Por este motivo se realizaron en el presente estudio las correlaciones entre el diámetro pupilar y la longitud axial. Además, se planteó incorporar la pupila mesópica (menos estudiada) por intuir que la fotópica podría estar más ligada a valores de sensibilidad lumínica y no de absorción del medicamento. Sin embargo, no se encontró una correlación fuerte entre ambos. Por otro lado, esta relación no se ha podido cotejar con otras investigaciones, ya que no se ha reportado ningún estudio descrito en la bibliografía que compare estos valores. Estos resultados nos hacen pensar que tal vez se deban continuar estos con mayor tamaño muestral y mayor tiempo para valorar si estos factores pudiesen mantener gracias a ello, relaciones más fuertes y así poder valorar si el aumento de tamaño pupilar debido al tratamiento con atropina en dilución fuese un factor de éxito en su terapéutica. Por otro lado, el incremento de diámetro pupilar es suficiente para afectar el estilo de vida de los pacientes generando mayor fotofobia y dilatación debida al fármaco en ambas circunstancias, con lo que tal vez se deban realizar cuestionarios durante su instilación a este respecto, así como adecuar la dosis a las circunstancias de cada paciente. Actualmente los fabricantes de lentes oftálmicas de control de miopía están incorporando lentes fotocromáticos a su catálogo de productos, tal vez sea debido a estos efectos estudiados.

En cuanto al valor del NIKBUT, medido como FNIK BUT (primera ruptura de la estabilidad lagrimal por pequeña que sea el área afectada) y MNIK BUT (ruptura de estabilidad lagrimal que afecta a un área de mayor tamaño, de al menos de 4 cuadrantes adyacentes), no se ha podido comparar los resultados obtenidos con otros similares, ya que no se han encontrado en la literatura estudios que comparen esta medida pre y post con instilación del colirio de atropina. Sin embargo, sí que se obtuvieron los valores normales del NIBUT (TRL) en $10,95 \pm 2,02$ seg, por debajo de los obtenidos en el estudio. El valor de significancia estadística obtenido en este estudio, a pesar de ser superior al establecido, es bajo, posiblemente debido al tamaño de muestra o tiempo de estudio.(29)

Comparando los resultados obtenidos en el presente estudio con otros realizados previamente en población pediátrica respecto a los valores de recuento endotelial se puede observar que en estudios como el de Tian et al.,(30) se muestran los efectos citotóxicos de atropina en concentraciones más altas a las administradas en este estudio, y cómo se producen cambios apoptóticos, de polimegatismo y pleomorfismo en las células del endotelio corneal para dosis de atropina superiores a 0,3125 g/L hasta 40 g/L, sin mostrar cambios para dosis de 0,15625 g/L respecto del grupo control. Datos que concuerdan con los obtenidos en el presente estudio ya que no se presentan cambios estadística o clínicamente significativos. Además, la población reclutada en este poseía un RE superior a 3000 células por mm^2 tanto en la medida basal como en las consecutivas (Tabla 4), estos valores se sitúan en los valores medios de una población infantil sana, con lo que por un lado podemos valorar que tener miopía, al menos en los valores estudiados no influye en un menor valor de conteo endotelial y por otro lado que el colirio de atropina no parece afectar en el periodo estudiado de una manera significativamente clínica en este aspecto.

En cuanto a los valores de medida del grosor corneal, en el presente estudio no se encontraron cambios significativos tras el tratamiento con atropina (Tabla 5). Contrastando los resultados con otros estudios como el de Sharma et al.,(31) en el que se realizó una comparación entre un grupo de niños de tratamiento al que se administraba colirio de atropina a dosis bajas de 0,01% y un grupo control al que se administró placebo, tampoco se encontraron cambios estadísticamente significativos en la medida del grosor corneal central entre grupos, obteniéndose un cambio de $0,00 \pm 0,01$ mm en ambos grupos (p valor = 0,489). Parece ser que a este respecto no cabe encontrar grandes diferencias a un periodo con una dosis baja en dilución, a pesar de ello, es importante seguir valorando este parámetro ya que estos tratamientos para la ralentización de la miopía se realizan de media a 3 incluso a 5 años y en muchos casos el niño pasará a la pubertad, donde surgen algunas ectasias que acompañan al adelgazamiento corneal, como el queratocono o la degeneración marginal pelúcida. En tal caso, continuar con el control de esta medida podría ser valioso para su diagnóstico precoz.

Respecto a las medidas de las potencias del radio de curvatura corneal más plano y curvo (K1 y K2) (Tabla 5), en este estudio no se encontraron cambios estadísticamente significativos entre visitas. En otras investigaciones como la de Kumaran et al.(32) en la que se administró una dosis de atropina al 1% a niños miopes, se observó una disminución de la curvatura corneal entre el inicio del estudio y a los 36 meses, siendo esta disminución de K igual a $-0,13$ D. En el estudio de Sharma et al.,(31) también se observa un cambio significativo en

la curvatura corneal, obteniendo un valor mayor en el grupo placebo que en el grupo de tratamiento con atropina, siendo $0,29 \pm 0,3$ D y $0,16 \pm 0,28$ D ($p < 0,01$). Tal vez a los 12 meses los niños sufren un incremento en la curvatura independiente del tratamiento y que sea mayormente provocado por el crecimiento natural del ojo. La diferencia en el valor de las medidas queratométricas entre estudios podría ser debido también a la diferencia de periodo de duración del estudio, o a la evolución natural de la miopía en ojos con un componente miópico refractivo fuerte que no tiende a aplanar y no tanto a la diferencia en la dosis de atropina administrada.

Si comparamos los cambios obtenidos en este estudio para el valor del astigmatismo corneal con otros estudios como el de Wang et al.(33) que también cuantificaron la medida de este componente tras la instilación de atropina en un grupo de niños miopes, se puede observar que en el suyo aumentó el astigmatismo corneal significativamente de forma similar en los grupos de atropina al 0,02% y 0,01%, aumentando en un valor de $-0,20 \pm 0,34$ D, $-0,22 \pm 0,36$ D respectivamente. Aunque clínicamente este cambio no resulta ser significativo, ya que fue solamente de $-0,02$ D con una elevada desviación estándar. En el presente estudio, a pesar de obtener un resultado estadísticamente significativo a los 12 meses ($p=0,02$), el incremento de astigmatismo corneal obtenido fue solamente de $-0,11$ D con elevada desviación estándar, mayor que el obtenido por Wang et al., pero también clínicamente irrelevante.

Al ser tan leve el cambio, podría deberse a cambios naturales producidos en los ojos infantiles en el proceso madurativo, aunque tampoco han sido estudiados en profundidad en la literatura científica.

El presente trabajo tiene como fortalezas:

- Es un estudio aleatorizado.
- Se han recopilado medidas de un total de 68 pacientes y se han incluido en el estudio los dos ojos.
- Se realizan revisiones cada 6 meses lo que permite realizar un seguimiento continuado de cada participante.

También tiene limitaciones tales como:

- Se incluyen participantes de distintas etnias sin haber sido agrupados y también falta de grupo control para realizar comparaciones.
- No es posible conocer los efectos de la atropina en el polo anterior muy a largo plazo puesto que se limita a 12 meses.

CONCLUSIONES

Por todo lo expuesto anteriormente, del presente estudio se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. El tratamiento de la atropina al 0,025% no afecta al recuento de células endoteliales corneales, al grosor corneal, a la potencia del radio de curvatura más curvo y plano, así como tampoco al valor de la asfericidad corneal ni al tiempo de ruptura lagrimal.
2. El empleo de colirio de atropina 0.025% produce un esperado aumento del diámetro pupilar, bien tolerado por los pacientes del estudio y no produce cambios en la estabilidad lagrimal.
3. No existe correlación entre los parámetros de longitud axial ocular y el equivalente esférico refractivo.
4. Se precisa de estudios a largo plazo que evalúen los efectos en el polo anterior de diferentes dosis de atropina a largo plazo

N = 68	EE [D]	LAX [mm]
Basal	-2,36 ± 1,21	24,37 ± 0,87
6M	-2,37 ± 1,23 (p=0,51)	24,41 ± 0,83 (p<0,001)
12M	-2,59 ± 1,31 (p=0,002)	24,57 ± 0,98 (p<0,001)

Tabla 1. Cambio longitudinal de la refracción y longitud axial

Basal: medidas tomadas al inicio del estudio; 6M: medidas tomadas a los 6 meses del inicio del estudio; 12M medidas tomadas a los 12 meses del inicio del estudio; EE: Equivalente Esférico; LAX: Longitud Axial

N = 68	Mesópica [mm]	Fotópica [mm]
Basal	6,44 ± 0,98	3,62 ± 0,77
6M	7,32 ± 0,71 (p<0,001)	5,00 ± 1,09 (p<0,001)
12M	7,25 ± 0,74 (p<0,001)	4,90 ± 1,06 (p<0,001)

Tabla 2. Cambio longitudinal de las pupilas

Basal: medidas tomadas al inicio del estudio; 6M: medidas tomadas a los 6 meses del inicio del estudio; 12M medidas tomadas a los 12 meses del inicio del estudio

N = 68	FNIK BUT [s]	MNIK BUT [s]
Basal	12,49 ± 6,14	13,85 ± 5,86
12M	12,91 ± 5,43 (p<0,17)	14,58 ± 5,10 (p<0,10)

Tabla 3. Cambio longitudinal del NIK BUT

Basal: medidas tomadas al inicio del estudio; 12M medidas tomadas a los 12 meses del inicio del estudio; FNIK BUT: primera ruptura de la estabilidad lagrimal por pequeña que sea el área afectada. MNIK BUT: realiza la medición cuando de la ruptura de estabilidad lagrimal cuando afecta a un área de mayor tamaño, de al menos de 4 cuadrantes adyacentes

N = 68	Recuento endotelial [mm ²]
Basal	3043 ± 240
12M	3023 ± 219 (p<0,55)

Tabla 4. Cambio longitudinal del recuento endotelial

Basal: medidas tomadas al inicio del estudio; 12M medidas tomadas a los 12 meses del inicio del estudio

N = 68	PACH [μm]	K1 [D]	K2 [D]	AST [D]	Q
Basal	548 \pm 33	43,04 \pm 1,32	44,09 \pm 1,34	1,09 \pm 0,44	-0,39 \pm 0,11
6M	548 \pm 32 (p=0,54)	43,05 \pm 1,28 (p=0,43)	44,20 \pm 1,30 (p=0,61)	1,15 \pm 0,48 (p=0,09)	-0,37 \pm 0,11 (p=0,14)
12M	548 \pm 33 (p=0,81)	42,64 \pm 1,24 (p=0,16)	43,86 \pm 1,20 (p=0,09)	1,22 \pm 0,52 (p=0,02)	-0,37 \pm 0,10 (p=0,63)

Tabla 5. Cambio longitudinal de las medidas realizadas con Pentacam®

Basal: medidas tomadas al inicio del estudio; 6M: medidas tomadas a los 6 meses del inicio del estudio; 12M medidas tomadas a los 12 meses del inicio del estudio; PACH: grosor corneal en la región del ápex; K1: potencia del radio de curvatura corneal más plano (menos potente); K2: potencia del radio corneal más curvo (más potente); AST: medida del astigmatismo calculado por la diferencia entre ambos meridianos, K1 y K2; Q: asfericidad corneal de la constante cónica, refiriendo a la diferencia en curvatura respecto de una esfera, adimensional

N = 68	LAX - MES	LAX - FOT	LAX - EE
Basal	R=0,28 (p<0,01)	R=0,09 (p=0,40)	R=-0,34 (p<0,001)
6M	R=0,30 (p<0,01)	R=0,20 (p=0,06)	R=-0,36 (p<0,001)
12M	R=0,29 (p<0,01)	R=0,08 (p=0,54)	R=-0,37 (p<0,01)

Tabla 6. Valores de correlación

Basal: medidas tomadas al inicio del estudio; 6M: medidas tomadas a los 6 meses del inicio del estudio; 12M medidas tomadas a los 12 meses del inicio del estudio; LAX – MES: correlación entre las medidas de la longitud axial del ojo, con el diámetro pupilar en condiciones mesópicas; LAX – FOT: correlación entre las medidas de la longitud axial del ojo, con el diámetro pupilar en condiciones fotópicas; LAX – (EE): correlación entre las medidas de la longitud axial del ojo, con la refracción esférica sumada a la mitad del cilindro.

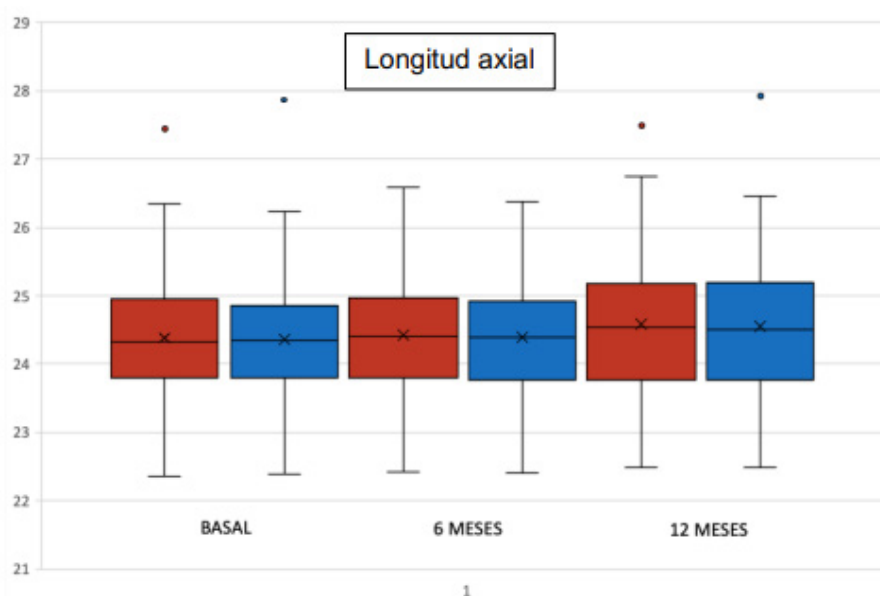


Figura 3. Representación de la longitud axial en milímetros (mm) en el eje vertical. En color rojo para el ojo derecho y azul para el izquierdo, en cada una de las visitas

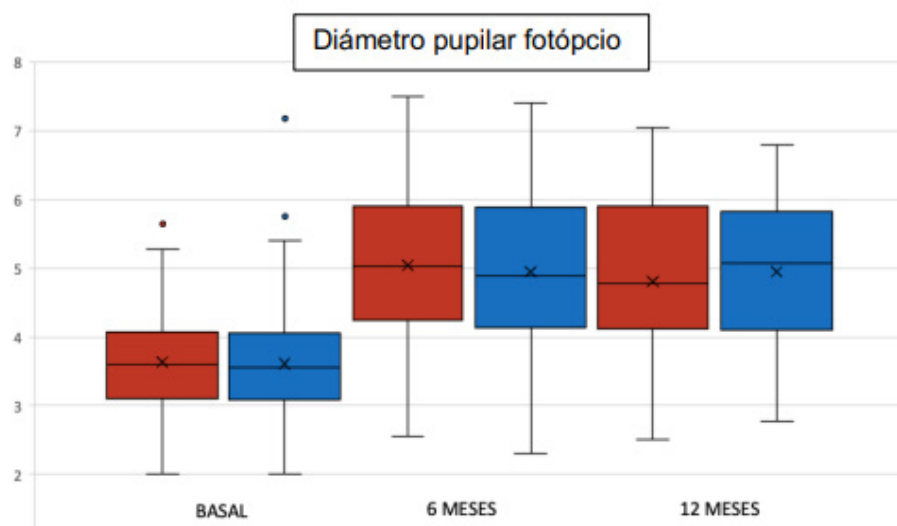


Figura 4. Representación del diámetro pupilar fotópico en milímetros (mm) en el eje vertical. En color rojo para el ojo derecho y azul para el izquierdo, en cada una de las visitas

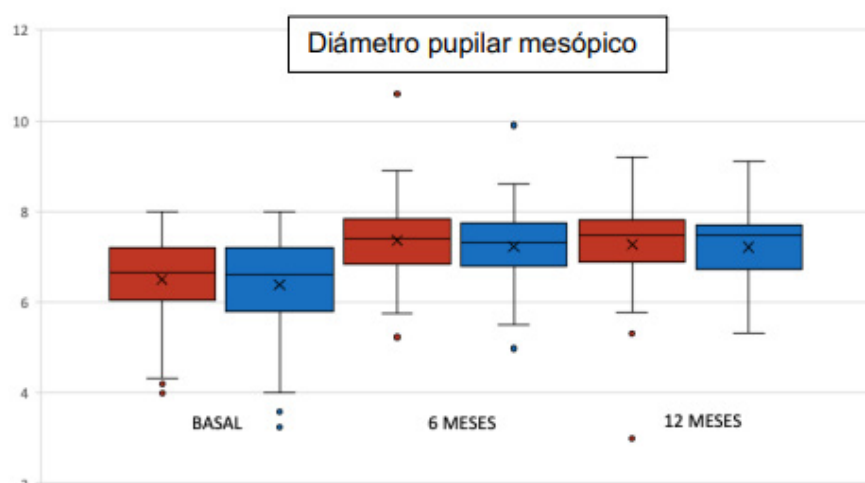


Figura 5. Representación del diámetro pupilar mesópico en milímetros (mm) en el eje vertical. En color rojo para el ojo derecho y azul para el izquierdo, en cada una de las visitas

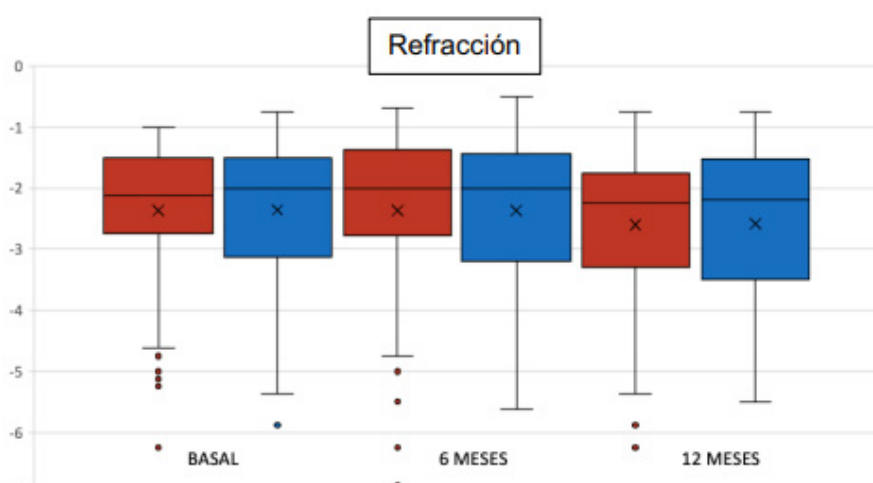


Figura 6. Representación del valor de la refracción esferoequivalente en dioptrías (D) en el eje vertical. En color rojo para el ojo derecho y azul para el izquierdo, en cada una de las visitas

REFERENCIAS

- Walline JJ, Lindsley KB, Vedula SS, et al. Interventions to slow progression of myopia in children. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2020(1).
- Vitale S, Sperduto RD, Ferris FL. Increased Prevalence of Myopia in the United States Between 1971-1972 and 1999-2004. *Archives of Ophthalmology*. 2009;127(12):1632-9.
- Tideman JWL, Pärssinen O, Haarman AEG, et al. Evaluation of Shared Genetic Susceptibility to High and Low Myopia and Hyperopia. *Jama Ophthalmology*. 2021;139(6):601-9.
- Haarman AEG, Enthoven CA, Tideman JWL, et al. The Complications of Myopia: A Review and Meta-Analysis. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2020;61(4).
- Tedja MS, Haarman AEG, Meester-Smoor MA, et al. IMI - Myopia Genetics Report. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2019;60(3):M89-M105.
- Wolffsohn JS, Flitcroft DI, Gifford KL, et al. IMI - Myopia Control Reports Overview and Introduction. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2019;60(3):M1-M19.
- Tideman JWL, Polling JR, Vingerling JR, et al. Axial length growth and the risk of developing myopia in European children. *Acta Ophthalmologica*. 2018;96(3):301-9.
- Diez PS, Yang LH, Lu MX, et al. Growth curves of myopia-related parameters to clinically monitor the refractive development in Chinese schoolchildren. *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2019;257(5):1045-53.
- Mutti DO, Sinnott LT, Mitchell GL, et al. Ocular Component Development during Infancy and Early Childhood. *Optometry and Vision Science*. 2018;95(11):976-85.
- Flitcroft DI. Emmetropisation and the aetiology of refractive errors. *Eye*. 2014;28(2):169-79.
- Mutti DO, Mitchell GL, Jones LA, et al. Axial growth and changes in lenticular and corneal power during emmetropization in infants. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2005;46(9):3074-80.
- Ye S, Liu SX, Li WL, et al. Associations between anthropometric indicators and both refraction and ocular biometrics in a cross-sectional study of Chinese schoolchildren. *Bmj Open*. 2019;9(5).
- Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, et al. Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*. 2016;123(5):1036-42.
- Gueemes-Villahoz N, de Liano RG, Angel PP, et al. Lifestyle Factors in Myopic Spanish Children. *Children-Basel*. 2024;11(2):18.
- Hyman L, Gwiazda J, Marsh-Tootle WL, et al. The Correction of Myopia Evaluation Trial (COMET): Design and general baseline characteristics. *Controlled Clinical Trials*. 2001;22(5):573-91.
- Shinojima A, Negishi K, Tsubota K, et al. Multiple Factors Causing Myopia and the Possible Treatments: A Mini Review. *Frontiers in Public Health*. 2022;10.
- Cooper J, Tkatchenko AV. A Review of Current Concepts of the Etiology and Treatment of Myopia. *Eye & Contact Lens-Science and Clinical Practice*. 2018;44(4):231-47.
- Fau C, Nabzo S, Nasabun V. ¿Selección de ojos o pacientes? Trampa estadística. *Revista mexicana de oftalmología*. 2020;94(1):53-4.
- Cheng CY, Liu JH, Chiang SC, et al. Statistics in ophthalmic research: two eyes, one eye or the mean? *Zhonghua yi xue za zhi = Chinese medical journal; Free China ed*. 2000;63(12):885-92.
- Chia A, Chua WH, Cheung YB, et al. Atropine for the Treatment of Childhood Myopia: Safety and Efficacy of 0.5%, 0.1%, and 0.01% Doses (Atropine for the Treatment of Myopia 2). *Ophthalmology*. 2012;119(2):347-54.
- Fu AC, Stapleton F, Wei L, et al. Effect of low-dose atropine on myopia progression, pupil diameter and accommodative amplitude: low-dose atropine and myopia progression. *British Journal of Ophthalmology*. 2020;104(11):1535-41.
- Larkin GL, Tahir A, Epley KD, et al. Atropine 0.01% Eye Drops for Myopia Control in American Children: A Multiethnic Sample Across Three US Sites. *Ophthalmology and Therapy*. 2019;8(4):589-98.
- Moon JS, Shin SY. The diluted atropine for inhibition of myopia progression in Korean children. *International Journal of Ophthalmology*. 2018;11(10):1657-62.
- Yam JC, Jiang YN, Tang SM, et al. Low-Concentration Atropine for Myopia Progression (LAMP) Study <i>A Randomized, Double-Blinded, Placebo-Controlled Trial of 0.05%, 0.025%, and 0.01% Atropine Eye Drops in Myopia Control</i>. *Ophthalmology*. 2019;126(1):113-24.
- Clark TY, Clark RA. Atropine 0.01% Eyedrops Significantly Reduce the Progression of Childhood Myopia. *Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics*. 2015;31(9):541-5.
- Joachimssen L, Böhringer D, Gross NJ, et al. A Pilot Study on the Efficacy and Safety of 0.01% Atropine in German Schoolchildren with Progressive Myopia. *Ophthalmology and Therapy*. 2019;8(3):427-33.
- Lee JJ, Fang PC, Yang IH, et al. Prevention of myopia progression with 0.05% atropine solution. *Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics*. 2006;22(1):41-6.
- Sacchi M, Serafino M, Villani E, et al. Efficacy of atropine 0.01% for the treatment of childhood myopia in European patients. *Acta Ophthalmologica*. 2019;97(8):E1136-E40.
- Singh S, Srivastav S, Mohamed A, et al. Non-invasive Tear Film Assessment in Normal Population: Effect of Age, Sex, and Interparametric Relationship. *Frontiers in Medicine*. 2022;9:5.
- Tian CL, Wen Q, Fan TJ. Cytotoxicity of atropine to human corneal epithelial cells by inducing cell cycle arrest and mitochondrion-dependent apoptosis. *Experimental and Toxicologic Pathology*. 2015;67(10):517-24.
- Sharma I, Das GK, Rohatgi J, et al. Low Dose Atropine in Preventing the Progression of Childhood Myopia: A Randomised Controlled Trial. *Current Eye Research*. 2023;48(4):402-7.
- Kumaran A, Htoon HM, Tan D, et al. Analysis of Changes in Refraction and Biometry of Atropine- and Placebo-Treated Eyes. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 2015;56(9):5650-5. doi: 10.1167/iov.14-14716. PubMed PMID: WOS:000362882800078.
- Wang M, Cui C, Sui Y, et al. Effect of 0.02% and 0.01% atropine on astigmatism: a two-year clinical trial. *Bmc Ophthalmology*. 2022;22(1):9.

ABREVIATURAS

- EE: Equivalente Esférico
- RE: Recuento Endotelial
- NIKBUT: Tiempo de Ruptura Lagrimal No Invasivo
- PACH: Grosor corneal
- HCSC: Comité de Ética del Hospital Clínico San Carlos
- AV: Agudeza Visual
- D: Dioptrías
- LAx: Longitud Axial
- DE: Desviación Estándar
- FOT: Diámetro pupilar en condiciones fotópicas
- MES: Diámetro pupilar en condiciones mesópicas
- FNIK BUT : Primer Tiempo de Ruptura Lagrimal No Invasivo.
- MNIK BUT: Máxima área del Tiempo de Ruptura Lagrimal No Invasivo
- K1: Potencia del radio de curvatura corneal más plano (menos potente) expresado en dioptrías
- K2: Potencia del radio corneal más curvo (más potente) expresado en dioptrías
- AST: Astigmatismo calculado por la diferencia entre ambos meridianos expresado en dioptrías
- Q: Asfericidad

E-sports: El Impacto de los Videojuegos en la Salud Visual

E-sports: The Impact of Video Games on Visual Health

Gema Martínez Florentín Prof^{1*}, Nabil Awad Farias GOO², Laura del Cueto Suriel GOO²

1: Universidad Complutense de Madrid. Departamento de Optometría y Visión, España

2: Grado en Optometría y Visión. Universidad Complutense de Madrid, España

*gemartin@ucm.es

Enviado: 18 de noviembre del 2024

Aceptado: 15 de enero del 2025

Financiación: Ninguno de los autores declaran tener financiaciones.

Declaración de Conflictos de Intereses: Ninguno de los autores declaran tener conflictos de intereses.

Relevancia: Esta revisión bibliográfica explora el impacto de los deportes virtuales en las habilidades visuales abriendo puertas al conocimiento de estos deportes en auge, saber más sobre sus riesgos y sus beneficios en las capacidades visuales y su potencial como herramientas innovadoras de entrenamiento visual.

Resumen: Los e-sports son un fenómeno que ha evolucionado en muy poco tiempo gracias al desarrollo de las nuevas tecnologías. En estos últimos años, este tipo de deportes han ganado popularidad gracias a su formato accesible y atractivo. Aunque todavía sigue existiendo el debate de si se debe considerar un deporte o no.

Dado que profesionalmente este tipo de deporte no ha madurado mucho, hay gran cantidad de lagunas en cuanto a cómo se debe tratar o que pautas tomar, para que los videojugadores se mantengan saludables. Por lo que, el objetivo de esta revisión bibliográfica es investigar si hay alguna relación entre los deportes virtuales y las habilidades visuales. También hacer una revisión sobre las lesiones más frecuentes y formas de prevenirlas.

Existen numerosos estudios que evidencian que los videojuegos influyen de manera positiva las habilidades visuales como la visión periférica o la percepción visual. También, que el impacto en los jugadores es positivo y negativo y puede variar según el tipo de juego. En cuanto a la salud visual, la mayor parte de las quejas son sobre fatiga ocular, problemas con la superficie ocular y síndrome del ojo digital (DES). Además, reiteran la importancia de promover una serie de métodos para prevenir patologías en este tipo de deportistas y que futuras investigaciones son necesarias en este campo.

Palabras clave: Videojuegos, Salud Visual, Habilidades Visuales, E-sports.

Relevance: This review explores the impact of virtual sports on visual skills, opening doors to knowledge about these emerging sports, learning more about their risks and benefits on visual abilities and their potential as innovative visual training tools.

Abstract: E-sports represent a rapidly evolving phenomenon fueled by advancements in new technologies. In recent years, these sports have gained popularity due to their accessible and engaging format, although the debate on whether they should be classified as sports persists.

Given that this professional field remains relatively immature, there are significant gaps in understanding how to approach it and what guidelines should be implemented to ensure players maintain their health. Therefore, the objective of this literature review is to investigate the potential relationship between virtual sports and visual skills. It also aims to examine the most common injuries and preventive measures.

Numerous studies suggest that video games positively influence visual skills, such as peripheral vision and visual perception. However, the impact on players can be both positive and negative, varying depending on the type of game. Regarding visual health, the most common complaints include eye strain, ocular surface problems, and dry eye syndrome (DES). Furthermore, these studies emphasize the importance of promoting preventive methods to avoid pathologies in this type of athlete and underscore the need for future research in this field.

Keywords: Videogames, Visual Health, Visual Abilities, E-sports.

INTRODUCCIÓN

Según la Real Academia Española (RAE) se define deporte como la "actividad física, ejercida como juego o competición, cuya práctica supone entrenamiento y sujeción a normas". "Recreación, pasatiempo, placer, diversión o ejercicio físico, por lo común al aire libre." (7) Esta definición es más acorde a lo que nosotros entendemos por deporte, ya que, actualmente practicamos deportes no solo para mantenernos sanos, sino para divertirnos y pasar el tiempo. Además, con el desarrollo de las tecnologías esta definición se amplía aún más. Ya no solo consideramos deporte a una actividad en la que se produce un esfuerzo físico, también se admiten actividades más sedentarias en las que la habilidad es lo verdaderamente importante, como son el ajedrez o los deportes virtuales.

El presente estudio consta de una revisión bibliográfica de las publicaciones más recientes en el campo de Deportes virtuales. La búsqueda se enfocó en encontrar artículos con aspectos vinculados a la salud visual, optometría y percepción visual. Toda la información se ha obtenido mediante búsqueda online y las bases de datos PubMed y Scopus.

Las palabras clave que se utilizaron durante la búsqueda de artículos han sido: "Esports, e-sports, video games, action video games, visual abilities, optometry y visual health".

Se aplicó el operador booleano "OR" entre las palabras "Esports" y "e-sports". También se utiliza entre las palabras "video games" y "action video games" con el fin de obtener una de las dos palabras en función del término mencionado en cada artículo. A continuación, se utiliza el operador "AND" para que todas las palabras aparezcan en la consulta de artículos.

Artículos que se han publicado durante los últimos 10 años. La elección de este intervalo se basa en la escasa disponibilidad de investigaciones de cómo los deportes virtuales afectan la salud visual.

- Artículos que examinen la relación entre los deportes virtuales y la salud / la percepción visual. Idealmente artículos que investiguen como las habilidades visuales de los jugadores pueden ser afectadas por una

exposición prolongada a videojuegos considerados deportes virtuales.

- Artículos que exploren los posibles problemas o alteraciones oculares que pueden ser causados por el uso intensivo de videojuegos. Adicionalmente, artículos que evalúen la prevalencia de dichos problemas o alteraciones.

- Artículos que mencionen los métodos de prevención y tratamiento que se pueden usar para mantener la salud visual de los jugadores.

Los deportes virtuales

Se definen como la práctica ocasional u organizada de juegos de ordenador facilitados a través de sistemas de clasificación en el juego o competiciones organizadas (11,21,35). Aunque todavía no hay una definición 100% aceptada por todo el mundo, se está de acuerdo que tiene que ser competitivo, tiene que ser capaz de transmitirse a un público, tiene que haber un entrenamiento previo y tiene que ser profesional (11,21,35). Esto abre muchos horizontes, al no existir grandes limitaciones y hace que cualquier videojuego sea elegible para usarse como deporte.

Al igual que en el mundo de los deportes tradicionales, hay muchos tipos de juegos: FPS (first player shooter), MOBA (multiplayer online battle arena), RTS (real-time strategy), deportivos, etc. Cada uno de ellos requiere de ciertas habilidades, que pueden ser motoras, visuales o de procesamiento neurológico.

Este trabajo se centrará en las habilidades visuales necesarias para los jugadores. Estas habilidades son principalmente los movimientos oculares, la capacidad de fijación, la percepción visual, la coordinación ojo-mano y el procesamiento de la información que le llega al cerebro visualmente.

Para conseguir mejorar estas habilidades los jugadores pasan muchas horas entrenando. Pero ¿realmente entrenando tantas horas frente a las pantallas se consiguen mejoras en las habilidades visuales? ¿Este uso masivo de pantallas afecta de alguna forma a la salud visual? ¿Tienen algún beneficio?.

Actualmente, los pocos estudios que existen suelen ser sobre los aspectos negativos que se pueden ocasionar al estar tantas horas con los dispositivos electrónicos, la información es escasa y desafortunadamente los juga-

dores de deportes virtuales no tienen un seguimiento de su salud como se tiene en otros deportes. Esto, fomenta la aparición de enfermedades por estar entrenando o compitiendo de forma inadecuada (28). ¿Por qué sucede esta falta de información sobre la salud de los videojugadores? ¿Cómo se puede solucionar?.

El presente estudio consta de una revisión bibliográfica de las publicaciones más recientes en el campo de Deportes Virtuales. La búsqueda se enfocó en encontrar artículos con aspectos vinculados a la salud visual, optometría y percepción visual. La información se ha obtenido mediante búsqueda por internet, la base de datos PubMed y Scopus.

Tras la realización de la búsqueda, se recopilaron los resultados obtenidos de ambas bases de datos y se le aplicaron los criterios de inclusión. Se estudiaron 27 artículos en total que cumplieran estos criterios. De esos artículos, 20 son estudios experimentales transversales, 6 revisiones bibliográficas y 1 un estudio basado en encuestas.

Las materias de estudio más investigadas en relación con nuestro tema fueron los siguientes: movimientos sacádicos, visión periférica, percepción visual y salud visual. Además, en el caso de los artículos relacionados con videojuegos de realidad virtual se investigaron aspectos acomodativos y vergencias.

Los grupos de participantes fueron seleccionados usando ciertos criterios de inclusión: La edad media de los participantes fue 25 años, excepto en el caso de 2 estudios que se enfocaban en niños con dislexia y adolescentes. El sexo no fue un criterio de selección, aunque predominó el sexo masculino. Es importante destacar que uno de los estudios centró su investigación en el sexo femenino. En 10 artículos, la cantidad de horas dedicadas a jugar por día fue un parámetro utilizado para distinguir usuarios de videojuegos (VGP) y no us-

uarios de videojuegos (NVGP). En 4 estudios se usó el ranking competitivo del propio juego como parámetro determinante de la experiencia de cada jugador.

Percepción visual

De los 20 estudios experimentales revisados, 10 artículos exploraron diversos aspectos de la percepción visual. Se observó que los videojuegos pueden influir en el procesamiento de imágenes y en la capacidad de los jugadores para reaccionar a estímulos visuales. La memoria visual de trabajo, atención visual, rendimiento visoespacial y la discriminación temporal fueron los factores principales atribuidos a esa influencia.

Dentro de estos estudios, Richlan et al. 2018 (8); Barakat et al. 2021 (9), no se encontró una conexión entre el entrenamiento con videojuegos y habilidades cognitivas. Sin embargo, Gorbet et al. 2018 (10), utilizando imagen por resonancia magnética funcional, detectaron que los VGP demostraron menos actividad cerebral durante el periodo de preparación en anticipación a estímulos visuales. Además, Gorbet señaló que el entrenamiento con videojuegos mejoraba la flexibilidad y la coordinación ojo-mano.

El estudio de Foerster et al. 2023 (11), utilizando pruebas de discriminación temporal y Electroencefalograma (EEG), mencionó una relación positiva con la discriminación temporal. Además, señaló que la discriminación temporal mejora durante la inhibición de los movimientos sacádicos.

Los artículos restantes (1,29,30,32,33) indicaron en sus resultados una conexión entre videojuegos y el incremento de la memoria visual, atención visual y el rendimiento visoespacial. Uno de estos artículos, Franceschini et al. 2017 (12) comparó el efecto de videojuegos de acción (AVG) con videojuegos sin acción (NAVG) en niños diagnosticados con dislexia. Sus resultados indicaron mejoras en la velocidad de lectura sin comprom-

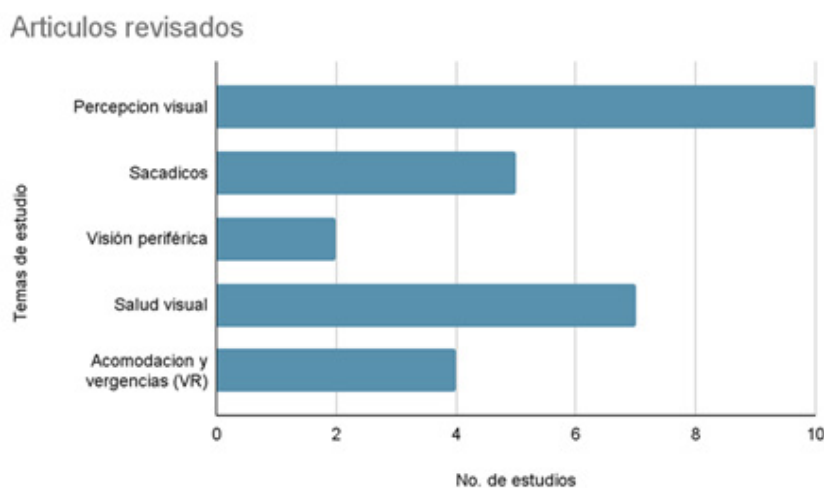


Figura 1. Número de artículos que exploran cada tema de estudio

eter la precisión y la exactitud.

Salud visual

De los artículos revisados, 6 artículos (15,16,20,24,28,31) exploraron la salud visual de los jugadores profesionales (PG), de los cuales 6 fueron revisiones bibliográficas y 1 fue un estudio basado en encuestas. Solo un estudio, Argilés et al. 2022 (24) se centró exclusivamente en aspectos optométricos, mientras que los otros 6 exploraron la salud global de los jugadores profesionales. La edad de los PG se situaba en el rango de los 18-28 años y se observó que podían dedicar entre 5.5 y 10 horas al día y de 35 a 40 horas a la semana, al juego.

Entre los estudios revisados, 2 de ellos (15,20) señalaron que el 56 % de los PG comunicaban fatiga visual como un síntoma común y en uno de ellos, Staffan Ekefjård et al. 2024 (24) el 32% de los 40 PG encuestados informaron tener algún síntoma relacionado con los ojos. El síndrome ojo digital (DES) fue mencionado en 5 estudios como la queja principal de PGs que se pasaban al menos 3 horas al día jugando a videojuegos. Además, en un artículo, R. Robert Franks et al. 2022 (32) se exploró la posibilidad de que el DES sea capaz de reducir la eficacia del procesamiento y la percepción de imágenes. También se demostró en un artículo, Yinhao Shen et al. 2023 (16) que la fijación prolongada en las pantallas está relacionada con el aumento de la presión vascular.

El estudio realizado por Marc Argilés mencionó que la superficie ocular y la capa lagrimal podrían verse afectadas por la exposición prolongada a videojuegos y pantallas. El ojo seco es una queja común entre los PG, y en este estudio, Marc Argilés comentó que esto se debe a parpadeos incompletos y una reducción dramática en la frecuencia de parpadeo durante eventos competitivos. Todos los estudios recomendaron algún tipo de tratamiento o estrategia preventiva para aliviar los síntomas que pueden surgir. La distancia de trabajo recomendada en 4 de los artículos fue entre 50 y 100 cm. La corrección de ametropías con gafas en lugar de lentes de contacto fue sugerida en uno de los artículos, Ahmed et al. 2020, junto con el uso de lágrima artificial como método de alivio del ojo seco. Adicionalmente, la regla de 20/20/20 fue recomendada en 4 artículos para prevenir complicaciones acomodativas y binoculares no estrábicas. Estos artículos resaltan la necesidad de promover métodos de prevención, y llevar a cabo revisiones optométricas habituales. Marc Argilés también mencionó que una dieta rica en ácidos grasos omega 3 y antioxidantes son capaces de mejorar la pigmentación macular, lo que a su vez puede reducir la incomodidad causada por la luz azul de las pantallas.

Visión periférica

De los 21 artículos experimentales revisados, 2 estudios examinaron la relación entre los videojuegos y la visión

periférica. En uno de ellos, Barakat et al. 2021 (9) se investigaron 12 paradigmas visuales; sin embargo, la relación entre el entrenamiento con videojuegos y la percepción visual en general resultó ser débil y no se consideró relevante. Un aspecto visual que sí demostró resultados positivos fue la relación entre jugadores experimentados y la visión periférica, evaluada mediante pruebas de crowding e ilusiones honeycomb/extinction.

El segundo estudio, Kress et al. 2023 (17), investigó la influencia de los videojuegos en la velocidad de lectura lexical y sublexical. Contrariamente al estudio anterior, este señaló una relación relevante entre jugadores experimentados y la percepción visual. Adicionalmente, Kress destacó una asociación positiva entre la demanda visual periférica y la velocidad de lectura lexical y sublexical.

Ninguno de los estudios empleó el uso de grupos de control para verificar la parcialidad y fiabilidad del estudio. Solo un estudio mencionó, Barakat et al. 2021(9), haber utilizado un programa de análisis e ilustración estadístico (R Core Team, 2018; Mathworks, Inc., Natick, MA, USA).

Movimientos sacádicos

De la bibliografía encontrada, 4 artículos son experimentales (13,23,24,25) y 1 una revisión bibliográfica (31). Todos ellos investigaban los movimientos oculares, principalmente los movimientos sacádicos y de fijación. Se reveló que los videojugadores que se someten a un entrenamiento previo o jugadores que pasan muchas horas jugando desarrollan un mejor control de los movimientos oculares. De todos los estudios revisados y utilizados, 3 usaron como muestras jugadores y no jugadores, 1 videojugadores, no jugadores y deportistas y el otro estudio utilizó jugadores expertos y principiantes. Dos estudios explican la relación entre ser VGP y tener un mayor control de los movimientos sacádicos (13,31). El artículo de Jeong et al. 2024 (25) que usa jugadores expertos e inexpertos demostró una correlación entre el ranking de los jugadores y la habilidad de estos para controlar la mirada. Durante tareas fáciles los jugadores expertos e inexpertos apenas mostraban una diferencia significativa, pero durante tareas moderadas-difíciles sí se encontraron diferencias. Los jugadores expertos revelaron una distribución horizontal de la mirada más amplia, lo que les proporcionó un mayor control de lo que pasaba en todo el mapa de juego y un menor tiempo de fijación, lo que les facilitó el procesamiento de más información en menos tiempo. De la misma forma Argilés et al. 2022 (24) explicó que los jugadores profesionales son más eficientes en el control y velocidad de los sacádicos y fijaciones.

En la investigación de Foerster et al. 2022 (11), se reveló que los videojugadores emplean un tiempo de reacción menor en tareas que requieren de un tiempo de

espera previo con y sin una señalización explícita. También mostró que la respuesta refleja de los movimientos sacádicos y la inhibición de estos tras una señal fue más rápida en jugadores que en no jugadores. Además, se encontró correlación entre la respuesta oculomotora refleja y el procesamiento cerebral del tiempo.

En Heimler et al. 2014 (27) se estudia el control de los sacádicos en jugadores y no jugadores para ver el tipo de respuesta de los sacádicos y si dan una respuesta mejor cuando van orientados a un estímulo o a un objetivo. El estudio concluyó que en Videojugador de Juegos de Acción (AVGP) los sacádicos fueron más rápidos, pero menos precisos que en NVGP y que en general, tienden a darle más importancia a los estímulos.

De la totalidad de artículos, solo 1 expone que no hay una mejora en los movimientos oculares al ser sometidos a un entrenamiento.

Realidad Virtual / Acomodación y vergencias

Sobre los juegos de realidad virtual, se eligieron aquellos artículos que exploraban los efectos en la visión, más concretamente, los cambios que se producían en los parámetros optométricos como son la acomodación, las vergencias, el punto próximo de convergencia, las desviaciones oculares o la estereopsis. Todos los artículos seleccionados fueron experimentales (4,10,14,26). En todos ellos se usó un rango de edad entre 18 y 40 años, con el fin de evitar la presbicia.

En la investigación de Munsamy et al. 2020 (32) compararon los resultados antes y después de exponerse a los juegos de realidad virtual y resultó que los participantes sufrieron una mejora tanto en funciones binoculares acomodativas como en las vergenciales. Fue el único estudio en el que se investigó los efectos de los juegos de realidad virtual en la acomodación y vergencias exclusivamente.

En el artículo de Jeong et al. 2021 (25) se estudió por primera vez el efecto en la visión del uso prolongado de la realidad virtual. Tras el uso del dispositivo de realidad virtual la acomodación se volvió excesiva, el Punto Próximo de Acomodación (PPA), Punto Próximo de Convergencia (PPC), estereopsis y la desviación exofórica empeoraron produciendo síntomas como fatiga visual u ojo seco. Al contrario, en el artículo de Banstola et al. 2022 (29) se produjo una mejoría en la flexibilidad acomodativa, pero se mantuvo el empeoramiento del PPC y la tendencia a la exoforia.

En Lei Fan et al. 2023 (31) investigó los movimientos oculares durante un juego de realidad virtual en dos modos distintos: el modo primario y el modo 360. El modo primario era más sencillo ya que el jugador no tenía que moverse en varias direcciones y en el modo 360 el jugador tenía que mover la cabeza y el cuerpo para completar la tarea. El estudio reveló que en el modo 360, los movimientos sacádicos fueron mayores y el tiempo de

fijación menor que en el modo primario.

Todos los artículos mencionan la fatiga visual tras el uso de los dispositivos de realidad virtual y al menos uno el síndrome del ojo seco(10). El tiempo utilizado en las pruebas fue de 25-30 minutos (4,14,26) excepto en un artículo que fue de 2 horas (10).

DISCUSIÓN

Actualmente hay muchos tipos de juegos. El modo multijugador ha mejorado la experiencia del jugador gracias a que se puede jugar en compañía. Esto no solo aumenta la diversión, sino que también añade un nuevo factor: la competencia. Este factor es una de las bases por las que los videojuegos se pueden convertir en un deporte junto con la profesionalidad (11,21,35). Tras revisar numerosos artículos, se constata que jugar a videojuegos afecta a muchos aspectos de la salud y de la salud visual. Es cierto que jugar a videojuegos es una exposición muy sedentaria y más si se juega profesionalmente, ya que son necesarias muchas horas de entrenamiento. Este factor es el principal desencadenante de los pocos estudios que se hacen sobre la salud de los videojugadores. El hecho de que no sean deportes que requieran un esfuerzo físico como pueden ser el fútbol o el tenis, resta importancia a las lesiones que este tipo de deportistas puedan padecer.

De los limitados estudios que hay sobre la salud de los videojugadores la mayoría exponen enfermedades relacionadas con problemas cardiovasculares, psicológicos, neurológicos, de las articulaciones, etc. Y por raro que parezca muy pocos hablan sobre la salud visual.

Tras la revisión de los artículos, se demostró que la industria profesional de Esports requiere una estructura organizada para poder promover la salud visual y prevenir patologías en sus participantes. Los jugadores profesionales comunicaron varias quejas relacionadas con la visión, dolores de cabeza y principalmente DES. Estos signos y síntomas pueden deberse a la sobreexposición a las pantallas y la postura no ergonómica Kaur et al. 2022 (35). Por lo tanto, la implementación de una estructura que fomente revisiones optométricas regulares, estrategias de descanso visual y una dieta rica en antioxidantes y ácidos grasos omega-3 podría mejorar las condiciones de trabajo Tilborg et al. 2017 (36). El descuido de estos síntomas puede causar una reducción en el rendimiento laboral y generar estrés en los participantes.

Se encontró evidencia en varios estudios que sugiere que los videojuegos tienen influencia positiva en las habilidades visuales de los jugadores. Se destacó que la percepción visual y la visión periférica fueron los factores principales afectados de manera positiva. Los estudios que investigaron la percepción visual y la cognición de los participantes mostraron mejoras en la memoria

visual, la atención visual y el rendimiento visuoespacial después del entrenamiento con AVGs. Adicionalmente, se observó que los videojuegos mejoraron la velocidad de lectura en niños diagnosticados con dislexia y la visión periférica, lo cual también mejoraba la lectura lexical y sub-lexical. Se necesita más investigación para determinar con certeza la relación entre videojuegos y percepción visual.

Estos estudios fueron realizados usando una variedad de videojuegos diferentes, con lo cual, es importante destacar que cada tipo de videojuego puede influir en sus jugadores de manera distinta. Entre los estudios revisados, se investigó el efecto de los juegos MOBA, FPS, acción, simulación (Realidad Virtual) y estrategia. Los estudios que se centraron en juegos MOBA, demostraron una correlación entre los movimientos sacádicos y la experiencia de los jugadores. Por otro lado, los estudios que se enfocaron en juegos FPS, demostraron una relación similar con la visión periférica, pero también evidenciaron una reducción en los movimientos sacádicos de los participantes.

Es importante resaltar que, si bien algunos de los artículos proporcionan resultados positivos y negativos en relación con la exposición prolongada de videojuegos, la ausencia de una metodología adecuada en algunos de estos estudios, así como la falta de grupos control en otros, plantea la posibilidad de sesgos en la interpretación. Por lo tanto, los resultados no son libres de posible parcialidad por no existir grupos control en los estudios.

en este ámbito es aún limitada. Los resultados sugieren que el uso prolongado de dispositivos VR puede afectar la acomodación y las vergencias, pero se necesita más investigación para obtener conclusiones definitivas.

En resumen, el crecimiento de la industria de los E-sports presenta una oportunidad valiosa para investigar más a fondo los efectos de los videojuegos en la salud visual, lo que podría mejorar la prevención y el tratamiento de problemas asociados con esta forma de entretenimiento digital.

CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica indica que los videojuegos tienen un impacto significativo en la salud y habilidades visuales de los jugadores. Se ha observado que pueden mejorar la percepción visual, los movimientos sacádicos y la visión periférica, con variaciones según el tipo de juego; por ejemplo, los juegos MOBA parecen ser más efectivos para mejorar los movimientos sacádicos en comparación con los juegos FPS, que se enfocan más en la visión periférica.

Sin embargo, la exposición prolongada a los videojuegos también puede llevar a problemas como fatiga visual, ojo seco, dolores de cabeza y otros síntomas asociados al síndrome de la visión digital. Estos problemas pueden ser causados por una disminución en la frecuencia de parpadeo y dificultades acomodativas. Para mitigar estos efectos, se recomienda realizar revisiones optométricas regulares, seguir la regla 20/20/20, mantener una distancia adecuada de visualización y considerar el uso de gafas correctoras.

Además, se exploró el impacto de los videojuegos de realidad virtual en la salud visual, aunque la investigación

Título y autor	Población estudiada	Objetivo
Action video games improve reading abilities and visual-to-auditory attentional shifting in English-speaking children with dyslexia. Sandro Franceschini et al./2017	28 niños con dislexia (8 niñas y 20 niños) con edades entre 7-14 años	Investigar los efectos del entrenamiento con AVG en la cognición y las habilidades de lectura.
Action video gaming and the brain: fMRI effects without behavioral effects in visual and verbal cognitive tasks. Fabio Richlan et al./2018	28 participantes con edades entre 18-29 años con visión normal y no problemas neurológicos o psiquiátricos	Comparar la cognición y las habilidades visuales de jugadores expertos y jugadores casuales.
Enhanced temporal resolution of vision in action video game players. Francois R. Foerster et al./2023	56 participantes (mujeres y hombres), 23 VGP y 23 NVGP	Investigar si la discriminación temporal en el nivel de los milisegundos varía entre VPG y NVPG.
How do visual skills relate to action video game performance? Arthur Barakat et al./2021	94 jugadores desde principiantes hasta expertos con edades entre 18-35 años	Buscar la correlación entre el rendimiento en el juego y el desempeño visual.
Move faster, think later: Women who play action video games have quicker visually-guided responses with later onset visuomotor-related brain activity. Diana J. Gorbett et al./2018	20 mujeres, 10 AVGP y 10 participantes (edad media de 26,5 años) que no jugaban videojuegos de acción (edad media de 23,9 años).	Explorar el impacto del entrenamiento con videojuegos en la cognición y la actividad cerebral en participantes femeninas.
The neuropsychological profile of professional action video game players. Julie Justine Benoit et al./2020	14 jugadores de videojuegos profesionales y 16 jugadores casuales(amateur). Todos hombres en el caso de los profesionales y mixto en los amateurs.	Examinar si las personas que juegan a videojuegos profesionalmente difieren de los jugadores aficionados en sus habilidades cognitivas, de aprendizaje y de atención visual dinámica.
The relationships between video game experience and cognitive abilities in adolescents. Mustafa Özçetin et al./2019	Niños entre 10-16 años sin problemas cognitivos o enfermedades crónicas.	Evaluar los efectos de los videojuegos en las funciones cognitivas de los adolescentes.
Transient and Long-Term Improvements in Cognitive Processes following Video Games: An Italian Cross-Sectional Study. Rosa Angela Fabio et al. /2021	70 personas (34 hombres y 36 mujeres) entre 20-32. 29 personas eran jugadores habituales mientras que los 41 restantes eran ocasionales.	Comparar los efectos a corto y largo plazo de jugar a videojuegos en jugadores habituales y ocasionales.
Video games and board games: Effects of playing practice on cognition. Léa Martinez et al./2023	496 participantes en total, 268 mujeres y 228 hombres	Examinar los efectos de los videojuegos y juegos de mesa en las funciones cognitivas.
What's in a game: Video game visual-spatial demand location exhibits a double dissociation with reading speed. Shaylyn Kress et al./2023	23 participantes, 14 mujeres y 9 hombres	Clarificar la naturaleza de la relación entre jugar a videojuegos, la lectura y la atención.

Tabla 1. Resumen artículos relacionados con percepción visual encontrados en la búsqueda

Título y autor	Población estudiada	Objetivo
Esports experts have a wide gaze distribution and short gaze fixation duration: A focus on League of Legends players. I. Jeong et al./2024	20 participantes (11 expertos y 10 principiantes) jugadores de LoL, con una edad media de 22,6 años.	O: Investigar la habilidad para controlar la mirada de jugadores expertos y poco cualificados de LoL.
Neurocognitive analyses reveal that video game players exhibit enhanced implicit temporal processing. Francois R. Foerster et al./2022	23 VPG (4 mujeres y 19 hombres) y 23 NVPG (7 mujeres y 16 hombres)	O: Comparar el tiempo de reacción de AVGP Y NVPG durante la realización de tareas que impliquen tanto preparaciones temporales implícitas como señales de atención temporales. Observar el comportamiento oculomotor y la actividad eléctrica cerebral.
Stimulus- and goal-driven control of eye movements: action videogame players are faster but not better. Benedetta Heimler et al./2014	22 AVGP (con una edad media de 21.7 años) y 16 NVGP (con edad media de 22.9 años) todos hombres.	O: Investigar las diferencias en las trayectorias temporales de la selección visual manifiesta en AVGP y NVPG. Investigar los movimientos sacádicos estimulados por un objetivo.
The influence of action video game playing on eye movement behaviour during visual search in abstract, in-game and natural scenes. Elham Azizi et al./2017	40 NVPG y 20 AVPG	O: Examinar si el entrenamiento en los videojuegos de acción cambia el comportamiento de los movimientos oculares en tareas de búsqueda.
Topical Review: Optometric Considerations in Sports Versus E-Sports. Marc Argilés et al./2022	Videojugadores, no jugadores y deportistas	O: Investigar las consideraciones optométricas necesarias en los e-sports.

Tabla 2. Resumen artículos relacionados con movimientos sacádicos encontrados en la búsqueda

Título y autor	Población estudiada	Objetivo
Changes to Visual Parameters Following Virtual Reality Gameplay. Sanjog Banstola et al./2022	Personas de edades entre 18-40 años, con buena visión binocular y AV	Explorar los cambios en la visión tras el uso de la realidad virtual.
Effects of prolonged use of virtual reality smartphone-based head-mounted display on visual parameters: a randomised controlled trial. Hyeon Jeong Yoon et al./2021	58 voluntarios sanos entre 20-39 años, con AV 1 y sin otros problemas oftalmológicos incluyendo ambliopías, presbicia o problemas corneales/retinianos u operaciones oculares	Investigar los efectos en los parámetros visuales tras el uso de un dispositivo realidad virtual montado en el cabeza basado en smartphones durante 2h.
Eye movement characteristics and visual fatigue assessment of virtual reality games with different interaction modes. Lei Fan et al./2023	16 hombres y 17 mujeres con una edad media de 23.85 años sanos con visión binocular normal y buena AV	Investigar las características de los movimientos oculares y la fatiga visual en juegos de realidad virtual con distintos modos de interacción.
The effect of gaming on accommodative and vergence facilities after exposure to virtual reality head-mounted display. Alvin J. Munsamy et al./2020	62 participantes entre 18-30 años con visión binocular normal y DIP entre 51-70 mm	Investigar la variación entre las funciones acomodativas y vergencias antes y después de exponerse a realidad virtual en pacientes con una visión binocular normal.

Tabla 3. Resumen artículos relacionados con acomodación y vergencias en realidad virtual encontrados en la búsqueda

REFERENCIAS

1. Hernández González D, Recorder Renteral AG. Historia de la actividad física y el deporte. Vol. 1. Mexico; 2015. 64 p.
2. RAE. «Diccionario esencial de la lengua española». 2020 [citado 6 de mayo de 2024]. deporte | Diccionario de la lengua española (2001).
3. Liébana JR. Hacia un modelo de arbitraje común en deportes electrónicos. REDUR 20, diciembre 2022, 17-42.ISSN 1695-078X.
4. Townley S, Townley A. En el deporte electrónico todo está por jugarse. OMPI nº 121(S), febrero 2018. ISSN 1564-7862.
5. Mejías, L. Clasificaciones de videojuegos. Revista Tradumàtica. Tecnologies de la Traducció, 19, 22-46.
6. Bubna K, et al. Terminology matters: defining the esports athlete. Front Sports Act Living. 25 de agosto de 2023;5:1232028
7. Rossoni A, Vecchiato M, Brugin E et al. The eSports Medicine: Pre-Participation Screening and Injuries Management—An Update. Sports (Basel) [Internet]. 1 de febrero de 2023 [citado 23 de febrero de 2024];11(2):34.
8. Richlan F, et al. Action video gaming and the brain: fMRI effects without behavioral effects in visual and verbal cognitive tasks. Brain Behav. enero de 2018;8(1):e00877.
9. Barakat A, et al. How do visual skills relate to action video game performance? J Vis. 6 de julio de 2021;21(7):10.
10. Gorbet D, Le S. Move faster, think later: Women who play action video games have quicker visually-guided responses with later onset visuomotor-related brain activity. PLoS One. 2018;13(1):e0189110.
11. Foerster F, Chidharom M, Giersch A. Enhanced temporal resolution of vision in action video game players. Neuroimage. 1 de abril de 2023;269:119906.
12. Franceschini S, et al. Action video games improve reading abilities and visual-to-auditory attentional shifting in English-speaking children with dyslexia. Sci Rep [Internet]. 19 de julio de 2017 [citado 27 de marzo de 2024];7:5863.
13. Benoit J, et al. The neuropsychological profile of professional action video game players. PeerJ. 2020;8:e10211.
14. Özçetin M, Gümüştas F, Çağ Y, et al. The relationships between video game experience and cognitive abilities in adolescents. Neuropsychiatr Dis Treat. 2019 May 8;15:1171-1180.
15. Fabio RA, Ingrassia M, Massa M. Transient and Long-Term Improvements in Cognitive Processes following Video Games: An Italian Cross-Sectional Study. Int J Environ Res Public Health. 2021 Dec 22;19(1):78.
16. Martinez L, Gimenes M, Lambert E. Video games and board games: Effects of playing practice on cognition. PLoS One. 2023;18(3):e0283654.
17. Kress S, Neudorf J, Borowsky B, et al. What's in a game: Video game visual-spatial demand location exhibits a double dissociation with reading speed. Acta Psychol (Amst). 2023 Feb;232:103822.
18. Franks R, et al. AOASM Position Statement on Esports, Active Video Gaming, and the Role of the Sports Medicine Physician. Clin J Sport Med. 1 de mayo de 2022;32(3):e221-9.
19. Emara A, et al. Gamer's Health Guide: Optimizing Performance, Recognizing Hazards, and Promoting Wellness in Esports. Curr Sports Med Rep. diciembre de 2020;19(12):537-45.
20. Shen Y, Cicchella A. Health Consequences of Intensive E-Gaming: A Systematic Review. Int J Environ Res Public Health. 20 de enero de 2023;20(3):1968.
21. Palanichamy T, et al. Influence of Esports on stress: A systematic review. Ind Psychiatry J [Internet]. 2020 [citado 23 de febrero de 2024];29(2):191-9.
22. Ekefjård S, Piussi R, Senorski EH. Physical symptoms among professional gamers within eSports, a survey study. BMC Sports Sci Med Rehabil. 15 de enero de 2024;16(1):18.
23. Rossoni A, et al. The eSports Medicine: Pre-Participation Screening and Injuries Management—An Update. Sports (Basel) [Internet]. 1 de febrero de 2023 [citado 23 de febrero de 2024];11(2):34.
24. Argilés M, Quevedo-Junyent L, Erickson G. Topical Review: Optometric Considerations in Sports Versus E-Sports. Percept Mot Skills. junio de 2022;129(3):731-46.
25. Jeong I, Kudo K, Kaneko N, et al. Esports experts have a wide gaze distribution and short gaze fixation duration: A focus on League of Legends players. PLoS One. 2024 Jan 2;19(1):e0288770.
26. Foerster FR, et al. Neurocognitive analyses reveal that video game players exhibit enhanced implicit temporal processing. Commun Biol. 11 de octubre de 2022;5(1):1082.
27. Heimler B, et al. Stimulus- and goal-driven control of eye movements: action videogame players are faster but not better. Atten Percept Psychophys. noviembre de 2014;76(8):2398-412.
28. Azizi E, Abel LA, Stainer MJ. The influence of action video game playing on eye movement behaviour during visual search in abstract, in-game and natural scenes. Atten Percept Psychophys. 2017 Feb;79(2):484-497.
29. Banstola S, Hanna K, O'Connor A. Changes to Visual Parameters Following Virtual Reality Gameplay. Br Ir Othopt J. 2022 Jun 27;18(1):57-64.
30. Yoon HJ, Moon HS, Sung MS, et al. Effects of prolonged use of virtual reality smartphone-based head-mounted display on visual parameters: a randomised controlled trial. Sci Rep. 2021 Jul 28;11(1):15382.
31. Fan L, Wang J, Li Q, et al. Eye movement characteristics and visual fatigue assessment of virtual reality games with different interaction modes. Front Neurosci. 2023 Mar 31;17:1173127.
32. Munsamy AJ, Paruk H, Gopichunder B, et al. The effect of gaming on accommodative and vergence facilities after exposure to virtual reality head-mounted display. J Optom. 2020 Jul-Sep;13(3):163-170.
33. Asale Y. RAE. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. [citado 9 de mayo de 2024]. videojuego | Diccionario de la lengua española.
34. Belli S, López C. Breve historia de los videojuegos. Athenea Digital. Revista de Pensamiento e Investigación Social, núm. 14, 2008, Universitat Autònoma de Barcelona
35. Kaur K, Gurnani B, Nayak S, et al. Digital Eye Strain- A Comprehensive Review. Ophthalmol Ther. octubre de 2022;11(5):1655-80.
36. Van Tilborg MM, Murphy PJ, Evans KS. Impact of Dry Eye Symptoms and Daily Activities in a Modern Office. Optom Vis Sci. 2017 Jun;94(6):688-693.

ABREVIATURAS

- AV: Agudeza visual
- AVGP: (Action video game player) Videojugador de juegos de acción
- DES: (Digital eye syndrome) Síndrome del ojo digital
- DIP: Distancia interpupilar
- EEG: Electroencefalografía
- FPS: (First-person shooter) Disparos en primera persona
- LoL: (League of Legends) Liga de leyendas
- MOBA: (Multiplayer Online Battle Arena) Arena de batalla multijugador online
- NAVG: (Non action video game) Videojuego que no es de acción
- NVGP: (Non video game player) No videojugador
- PG: (Professional gamer) Jugador profesional
- PPA: Punto próximo de acomodación
- PPC: Punto próximo de convergencia
- RTS: (Real time strategy) Estrategia en tiempo real
- VGP: (Video game player) Videojugador

Burden of Refractive Errors in Albania – Findings from an Urban Eye Clinic in Tirana

Errores Refractivos en Albania – Hallazgos de una Clínica Oftalmológica Urbana en Tirana

Muhammad Qasim, MSc^{1,2*}; Muhammad Shahbaz, BSc¹; Sana Urooj, BSc¹; Jorge Manuel Martins Jorge, PhD²; Paulo Fernandes, PhD²

1: Vision Center Optika 1, Tirana, Albania.

2: Physics Center for Universities of Minho and Porto (CF-UM-UP), University of Minho, Gualtar Campus, Braga, Portugal.

*qasimoptometrist@yahoo.com

Submitted: March 15, 2025

Accepted: April 16, 2025

Funding: None of the authors declare any funding.

Conflicts of Interest Statement: None of the authors declare any conflicts of interest.

Relevance: This study is essential for understanding the prevalence of refractive errors in Albania and their impact on visual health. It highlights the importance of access to eye care services, emphasizing disparities in urban and rural areas, thereby underscoring the need for improved nationwide eye health coverage.

Purpose: This study aims to evaluate the prevalence and impact of refractive errors in Albania focusing on subjects attending an urban eye clinic in Tirana.

Methods: Participants were recruited for this study during the first three quarters of 2024. All participants underwent a comprehensive examination to assess visual acuity, objective refraction using i-Profile Plus, and subjective refraction with the Automated Visuphor 500. A basic eye examination was conducted using biomicroscopy and ophthalmoscopy. Optometric management included optical services, such as glasses and contact lenses, provided within the facility, while referrals were made for subjects requiring specialist examination or surgical intervention, such as cataract surgery. Data were collected and analyzed using SPSS v28, following a format designed for comprehensive analysis.

Results: Data were obtained from 901 patients, including both children and adults. 56.24% patients were females and 43.76% were males. It was found that 32.29% (291) of the patients attended the eye clinic were having myopia, 33.08% (298) were having hyperopia, and 34.62% (312) were emmetropes. Furthermore, we found no sex differences between refractive errors. 13.3% of Anisometropia was reported in 13.3% of subjects. Eight out of ten patients achieved best-corrected visual acuity of 1.0(6/6) with refractive correction (either glasses or contact lenses), while two out of ten required further eye examination or surgical interventions for conditions such as cataracts.

Conclusions: Refractive errors are the leading cause of visits to eye clinics. Access to eye care services is crucial, as four out of ten individuals either do not receive correction or lack access to refractive services, which is particularly evident in urban areas and may be even more pronounced in the rural regions of Albania. Universal access to eye health coverage should be implemented nationwide in order to ensure equitable care.

Keywords: Burden, Refractive Errors, Myopia, Hyperopia, Astigmatism, Presbyopia, Albania.

Relevancia: Este estudio es crucial para comprender la prevalencia de los errores refractivos en Albania y su impacto en la salud visual. Resalta la importancia de acceder a servicios de atención ocular, evidenciando las desigualdades en áreas urbanas y rurales, lo que subraya la necesidad de mejorar la cobertura de salud ocular.

Propósito: Este estudio tiene como objetivo evaluar la prevalencia y el impacto de los errores refractivos en Albania, centrándose en los sujetos que asisten a una clínica ocular urbana en Tirana.

Material y Métodos: Los participantes fueron reclutados para este estudio entre los tres primeros trimestres de 2024. Todos los participantes se sometieron a un examen integral para evaluar la agudeza visual, la refracción objetiva utilizando i-Profile Plus y la refracción subjetiva con el Visuphor 500 Automatizado. Se realizó un examen ocular básico utilizando biomicroscopia y oftalmoscopia. El manejo optométrico incluyó servicios ópticos, como gafas y lentes de contacto, proporcionados dentro de la instalación, mientras que se realizaron derivaciones para los sujetos que requerían un examen especializado o intervención quirúrgica, como cirugía de cataratas. Los datos fueron recopilados y analizados utilizando SPSS v28, siguiendo un formato diseñado para un análisis exhaustivo.

Resultados: Con base en los datos de 901 pacientes, incluidos niños y adultos, el 56.24% de los pacientes eran mujeres y el 43.76% eran hombres. Se encontró que el 32.29% (291) de los pacientes que asistieron a la clínica ocular tenían miopía, el 33.08% (298) tenían hipermetropía y el 34.62% (312) eran emétopes. Además, no se encontraron diferencias de sexo entre los errores refractivos. Se reportó un 13.3% de anisometropía en los sujetos. Ocho de cada diez pacientes recibieron o pudieron lograr la mejor agudeza visual corregida de 1.0 (6/6) con corrección refractiva, ya sea con gafas o lentes de contacto, mientras que dos de cada diez requirieron un examen ocular adicional o intervenciones quirúrgicas para condiciones como las cataratas.

Conclusiones: Los errores refractivos son la principal razón de las visitas a las clínicas oculares. El acceso a los servicios de atención ocular es crucial, ya que cuatro de cada diez personas no reciben corrección o carecen de servicios refractivos, lo que es particularmente evidente en las áreas urbanas y puede ser aún más pronunciado en las regiones rurales de Albania. Se debe implementar un acceso universal a la cobertura de salud ocular a nivel nacional para garantizar una atención equitativa. studies are recommended.

Palabras clave: Carga, Errores Refractivos, Miopía, Hipermetropía, Astigmatismo, Presbicia, Albania.

INTRODUCTION

Refractive errors, including myopia, hyperopia, and astigmatism, represent the most common form of visual impairment globally. These conditions occur when the eye fails to focus light directly onto the retina, resulting in blurred vision. According to the World Health Organization (WHO) Report on Blindness and Vision Impairment, about 2.2 billion people are affected with near and distance vision impairment around the world. Of these, at least 1 billion cases could have been prevented or are yet to receive necessary treatment (1). Uncorrected refractive error (URE) is a widely overlooked but prevalent public health issue that severely affects quality of life and productivity (2).

Refractive errors, particularly myopia, are becoming increasingly prevalent globally. The European Eye Epidemiology (E3) Consortium reported that 30.6% of the European population is affected by myopia, 25.2% by hyperopia, and 23.9% by astigmatism, highlighting the significant burden these conditions represent on public health (European Eye Epidemiology Consortium, 2015) (3). Myopia is highly common in children and young adults in Asia (4,5). A cross-sectional study in

2022 showed that the prevalence of myopia among high school students in China reached 94% (6).

Albania is located in Europe which globally ranked the 3rd biggest region in the world with 17.3% of the population having vision loss (7). Refractive errors are the leading cause of vision impairment among eastern Europe as compared to central and western Europe (8). As Albania's economy is continually improving (9) with the aim of improving healthcare in the coming years, thereby making the country healthier and sustainable compared to neighboring countries. Eye health like correcting refractive errors can significantly boost a country's economy by reducing productivity losses associated with visual impairment. Effective eye care services, such as the provision of affordable eyeglasses, can increase workforce participation and efficiency, especially in low-income countries. By improving access to vision correction, countries can reduce healthcare costs, enhance quality of life, and increase educational and employment opportunities, leading to long-term economic benefits. Furthermore, addressing uncorrected refractive errors helps to prevent additional social and economic burdens, thereby contributing to the alleviation of poverty (10).

Data on refractive errors is very limited in Albania. To

date, there are not any eye related studies covering national or sub-national levels that reported distance or near vision loss, nor any study presented at scientific conferences. Therefore, this study was conducted to comprehensively assess the prevalence of refractive errors in a clinical setting in urban Tirana.

METHODS

This was a cross-sectional observational study conducted from January to August 2024 after the approval of the Research Ethics Committee of Optika 1, Tirana dated 10th January 2024. A total of 930 patients aged 5 to 80 years, were assessed at the Zeiss Vision Center in Tirana. Of these participants, 56.2% were female and 43.8% were male. All assessments were performed by an Optometrist (MQ) in a clinical setting. Every subject underwent through a comprehensive eye examination beginning with the entry of patient data in the specified format designed for the designated clinics.

A complete history was taken for each patient, including chief and associated complaints, previous glasses and consultation history, systemic history, medical or surgical history and any known drug allergies history. Visual acuity was measured both with and without glasses and with the use of a pinhole using the available eye equipment in the clinic, including the Visuscreen 100 and Visuphor 500 (Carl Zeiss MediTech AG, Germany). Objective refraction was done via i.Profiler Plus (Carl Zeiss MediTech AG, Germany) and was the starting point for subjective refraction. Subject refraction followed the traditional endpoint of maximum plus for the best visual acuity followed by cross-cylinder refinement to locate the axis within ± 5 degrees and its cylinder power within ± 0.25 diopters. This was conducted using Visuphor 500 (Carl Zeiss MediTech AG, Germany) in Zeiss Vision Center and Visuref 500 (Carl Zeiss MediTech AG, Germany). Slit lamp examination was conducted using SL220 model (Carl Zeiss MediTech AG, Germany). Non-contact tonometry was performed using Visuplan 500 (Carl Zeiss MediTech AG, Germany) on all the patients aged 40 years or older, or when clinically indicated. Inter-pupillary distance measurement was taken from the refractometers print-outs and were confirmed by the optometrist (MQ) using MOSCOT PD Ruler (Moscot, NYC, USA) for both distance and near vision. Non-Mydriatic Fundus photography (Carl Zeiss MediTech AG, Germany) was taken for all those subjects who were having positive systemic history of Diabetes and hypertension, those aged 40 years and above, or in cases where no improvement in refraction was observed.

All subjects who visited the clinic during the study

period and provided informed consent regardless of age or gender, were included in the study. Subjects who did not provide informed consent or whom diagnosis could not be made either due to pathology or other underlying cause, were excluded from the study.

Traditional clinical representations of refractive error, including sphere, cylinder, and axis, are not adequate for quantitative analysis. Therefore, spherocylindrical refractive results were converted into vector representations (M, J0 and J45) using Fourier analysis, as recommended by Thibos. Myopia was defined as $< -0.50D$, Emmetropia as spherical equivalent (SE) between $> -0.50D$ and $< +0.50D$, and hyperopia as $> 0.50D$. Data were collected from both eyes, but only right eye measurements were considered as being myopic, emmetropic or hyperopic. Presbyopia was defined as the inability to perform near work despite refractive correction at the age of 37 years or older, requiring a near add of at least $+0.50DS$.

Statistical Analysis

Data were collected in accordance with the Declaration of Helsinki, ensuring confidentiality through a unique coding system. Quantitative variables included age, refractive error, pathology, optical correction, and referrals, while qualitative variables included gender. Descriptive statistics (mean, standard deviation, frequency) and inferential tests (e.g. chi-square, t-test) were used for data analysis with IBM SPSS™ Software Version 28.

Ethical Considerations

Informed consent was obtained from all participants or their legal guardians (for minors) prior to the examination. Subject data were anonymized to maintain confidentiality.

RESULTS

Data from 901 subjects were collected with a mean age (mean + standard deviation) of 41.90 ± 18.5 years, ranging from 6 to 83 years. Of these participants, 43.72% were male (394) with a mean age of 42.25 ± 18.87 years and 56.27% were female (507) with a mean age of 41.10 ± 17.86 years.

Descriptive Statistics for Spherical and Cylindrical Errors

Descriptive statistics of the refractive variables are presented as means and standard deviations. There was no significant difference between the right and left eyes (Mean difference in SE $-0.04 D$, $p=0.64$). Therefore, the right eye (RE) is presented in the results section. The

Clinical Measures	Mean	SD	Minimum	Maximum
Right eye Sphere	0.17	1.92	-15.00	8.5
Right eye SE	-0.10	1.94	-16.125	7.65
Right Eye Cylinder	-0.55	0.68	-5.00	-0.5
J0	0.03	0.38	-2.24	+2.00
J45	-0.01	0.20	-0.99	1.46

Table 1. Descriptive statistics for refractive variables

SD: Standar Deviation; SE: Spherical Equivalent; J45: Oblique astigmatism; J0: Primary Axis astigmatism

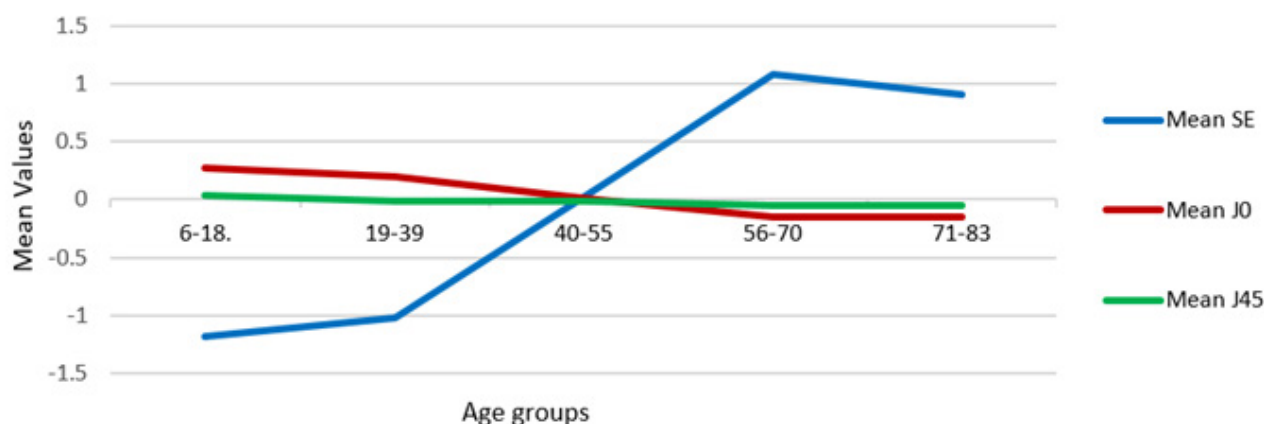


Figure 1. Age groups

SE: Spherical Equivalent; J45: Oblique astigmatism; J0: Primary Axis astigmatism

descriptive statistics of the RE sphere, SE, cylinder, Jo, and J45 are presented in Table 1.

Regarding gender, there was no statistically significant difference between males (SE -0.07 ± 1.96 D) and females (SE -0.13 ± 1.94 D), (mean difference -0.06 D, $p = 0.54$). Also, there was no statistically significant difference in the mean cylinder between males (-1.64 ± 0.82 D) and females (-1.60 ± 0.67 D), (mean difference: -0.036 D, $p = 0.74$). Furthermore, the J0 axis orientation did not exhibit a significant difference between males (mean 0.08 ± 0.52) and female (mean 0.04 ± 0.46) with a mean difference of 0.035 ($p = 0.39$). In addition, J45 showed no significant difference between males and females with mean difference of 0.005 ($p = 0.81$).

The SE trends across different age groups revealed a clear shift from myopia in younger age groups (0-18, 19-39) to hyperopia in older age groups (40-55, 56-70, and 71-83) with a notable transition observed after the age of 40. While J0 (off-axis astigmatism 0.90) showed a gradual decrease from positive (with the rule, WTR, astigmatism) in younger age groups to slightly negative (against the rule, ATR, astigmatism) in older age groups. In contrast, J45 (oblique astigmatism) remained stable around zero across different age groups, indicating min-

imal changes in oblique astigmatism with age (Figure 1).

Distribution of refractive errors

Myopia

Analysis of Myopia (SE ≤ -0.50 D) showed no statistically significant difference between males and females (mean difference 0.068 , $p = 0.75$). Myopia was present in 32.29% of total population ($n=901$) with a mean SE of -2.01 ± 1.74 D. Age group analysis indicated a higher prevalence of myopia in younger individuals, with 54.11% of subjects aged 19-39 years exhibiting myopia with a mean SE of -1.95 ± 1.70 D. Similarly, 51.68 % of subjects aged 6-18 years were found to be myopic. The prevalence of myopia decreased with advancing age, reaching 9.52 % in 71-83 years age group. (Table.2 & 3) (Figure 2)

Hyperopia

Hyperopia (SE $\geq +0.50$ D) was identified in 298 (33.08%) subjects of the total population ($n=901$) with mean hyperopia of 1.70 ± 1.24 D. As with myopia, no statistically significant difference in hyperopia was observed between males and females (mean difference: 0.024 , $p = 0.86$). Age group analysis revealed hyperopia increased significantly with increasing age and was highest in 56-71 years age group subjects about 64.35% of individual

in this age group with mean SE of $+1.70 \pm 1.02$ D. The highest mean SE $+1.85 \pm 0.97$ D was recorded in 73-83 years age group individuals. (Table.2 &3) (Figure 2)

Emmetropia

Emmetropia (SE >-0.50 and $<+0.50$) was observed in 312 individuals, accounting for 34.62% of the total study population (n =901). 37.05 % of males and 32.74% of females were emmetropic. Age group analysis revealed that emmetropia was most prevalent in the 40-55 age group, with 43.94% (n = 105) of individuals in this category classified as emmetropic. The prevalence of emmetropia decreased in older age groups, with 21.29% in the 56-70 and 23.80% in the 71-83 years age group. (Table 2 & 3) (Figure 2)

Anisometropia

Anisometropia (SE difference between both eyes ≥ 0.75 or -0.75) was found in 120 individuals, representing 13.31% of total population with a mean SE of -0.33 ± 2.06 D. Although the mean SE was slightly higher in females, (-0.40 ± 2.11), no statistically significant difference was found between both genders (mean difference: 0.14; $p=71$). (Tables 2 & 3)

Distribution of Astigmatism types based on gender and age groups

Astigmatism types are presented in J0 (positive) WTR astigmatism, J0 (Negative) ATR astigmatism, and J45 oblique astigmatism. There was a significant difference between males and females in J0 (positive) WTR ($p=0.04$), whereas gender was not significantly associated with ATR astigmatism (J0 negative) ($p=0.34$).

The prevalence of J0 WTR astigmatism was highest in the 19-39 years age group (44.98%) and declined with increasing age, reaching 18.82% in the 56-70 years age group ($p=0.000005$). In contrast, the prevalence of J0 (negative) ATR astigmatism increased with age, peaking in the 56-70 and 71-83 age groups, at 49.20% and 57.14%, respectively. A one-way ANOVA test revealed statistically significant differences across different age groups in both WTR and ATR astigmatism ($p < 0.05$). The prevalence of J45 oblique astigmatism remained relatively consistent across different age groups and the one-way ANOVA test did not find any significant difference across different age groups ($p=0.67$).

DISCUSSION

This study provides a comprehensive analysis of the distribution of refractive error in different age groups within the Albanian population in Tirana. Albania has very limited research in the eye care field. The findings of this study will contribute to the limited data

on refractive errors in Albania and the broader Balkan region. By focusing on the clinical population in Tirana, this study addresses a critical gap in understanding the burden of refractive errors in this area, which is essential for improving vision care in this country.

The results of this study indicated a high prevalence of myopia in younger age groups (5-18 years, 51.11% and 54% in 19-39 years age group.). Our results on myopia prevalence were lower than those reported in a Hungarian study by Németh et al. (2022), which found 58.7% myopia prevalence in a slightly older young adult group (18-35 years) (11). Although their study focused on an older subset of young adults (18-35 years) the high prevalence rates in both studies suggest that early onset and progression of myopia continue into young adulthood. Statistical data on the prevalence of refractive errors in younger age groups in Eastern Europe is very insufficient.

A recent study conducted in Greece by Pateras and Kazakidou (2020) reported a myopia prevalence of 63.33% and hyperopia prevalence of 36.67% in the right eye, and 61.12% and 38.88% in the left eye (12). Similarly, a study conducted in Poland by Nowak et al. (2018) found that myopia was present in 28.7% and hyperopia in 21.8% in the age group 35-59 years of the population (13). While in comparison to the above-mentioned studies prevalence of Hyperopia in our study in the younger age group (5-18) was 11.24% and Myopia was 51.18 %. Regarding the distribution of refractive error by gender, this study found no statistically significant difference in myopia prevalence between males and females ($p=0.75$) based on SE measurements. While Czepita et al. (2019) noted a greater occurrence of myopia in Polish girls compared to boys, especially in older children (14). Similarly, We X et al. (2023) found that females in China had a higher frequency of myopia than males (15). Myopia findings of this study based on gender don't align with the above studies. In general myopia findings of this study align with previous studies that show a high prevalence of myopia in younger age groups (11,12,16).

Astigmatism was analyzed in vector form J0 and J45 (Table 3), J0 positive (WTR astigmatism) was more relevant in younger age groups, and J0 negative (ATR) was more common in older age groups. Axis astigmatism findings of this study align previous studies (17,18) which show a clear progressive shift of axis astigmatism, WTR astigmatism to ATR astigmatism with increasing age.

Currently, there are no reported national or sub-national level studies covering Tirana or Albania, nor any cross-sectional or clinical studies indicating the burden of blindness and visual impairment conditions like refractive errors. However, based on the findings in this study,

the high prevalence of refractive errors like myopia in Tirana's younger population highlights the need of early detection and intervention. School-based vision screening could help to identify those at risk and provide timely treatments. Public awareness campaigns are also essential to educate parents and children on the importance of outdoor activities and reducing screen time to prevent myopia progression.

This study was conducted in two vision centers in Tirana, which means the findings are representative of the urban population only, and rural populations were not included. Further research should expand to include a

more diverse population across Albania.

Keeping in view to refractive errors as the leading cause of visual impairment across any country in the world, the overall prevalence of myopia found in this study is 32.43% and 51% in the younger age group 5-18 years, which seems to be very high, especially in younger age groups, in the population of urban Tirana. This situation is alarming and requires the initiation of immediate and comprehensive plans to effectively address preventable blindness and visual impairment.

Refractive Variables		All	Male	Female	Mean Difference	p value
Myopia (SE \leq -0.50D)	Mean	-2.01	-1.97	-2.04	0.068	0.75
	SD	1.74	1.97	1.57		
	Range	(-0.50 to -16.25)	(-0.50 to -16.25)	(-0.50 to -10.75)		
	N	291	121	170		
	%	32.29	30.71	30.19		
Hyperopia (SE \geq +0.50D)	Mean	1.70	1.72	1.69	0.024	0.86
	SD	1.24	1.22	1.25		
	Range	(0.50 to 7.62)	(0.50 to 7.62)	(0.50 to 6.00)		
	N	299	127	172		
	%	33.18	32.23	33.92		
Emmetropia (SE $>$ -0.50 AND $<$ +0.50)	Mean	-0.04	-0.04	-0.05	0.01	0.63
	SD	0.18	0.18	0.18		
	N	311	146	166		
	%	34.51	37.05	32.74		
Astigmatism (Cylinder \geq -0.75D)	Mean	-1.30	-1.31	-1.29	-0.02	0.81
	SD	0.72	0.77	0.67		
	Range	(-0.75 to -5.00)	(-0.75 to -5.00)	(-0.75 to -3.75)		
	N	286	145	141		
	%	31.74	36.80	27.81		
Anisometropia (SE difference between both eyes \geq 0.75 or -0.75)	Mean	-0.33	-0.26	-0.4	0.14	0.71
	SD	2.06	2.02	2.11		
	N	120	55	65		
	%	13.31	14	12.8		

Table 2. Gender Distribution of refractive error
SE: Spherical Equivalent

CONCLUSIONS

Refractive errors remain the leading cause of visual impairment worldwide although its burden varies from country to country and region to region. As a developing country, Albania requires a national and sub-national plan to address the leading cause of blindness and visual impairment by ensuring universal access to eye health for all its citizens. Optometrists need to be made an important pillar of the eye care system thereby not only strengthen eye care system but also take a leading role in primary eye care across Albania.

Age Group	Myopia				Hyperopia				Emmetropia				
	Mean	SD	n	%	Mean	SD	n	%	Mean	SD	n	%	Total
6-18	-2.23	1.38	46	51.68	1.45	1.14	10	11.24	-0.06	0.19	33	37.08	89
19-39	-1.95	1.70	178	54.11	2.64	1.95	30	9.12	-0.12	0.17	121	36.77	329
40-55	-2.00	1.78	47	19.66	1.38	1.19	87	36.41	0.002	0.16	105	43.94	239
56-70	-1.80	1.93	16	7.29	1.70	1.02	143	64.35	0.02	0.18	43	21.29	202
71-83	-3.75	4.69	4	9.52	1.85	0.97	28	66.6	0.01	0.20	10	23.80	42
Total			292				298				312		901

Table 3. Age group Analysis of Refractive Conditions
SD: Standard Deviation

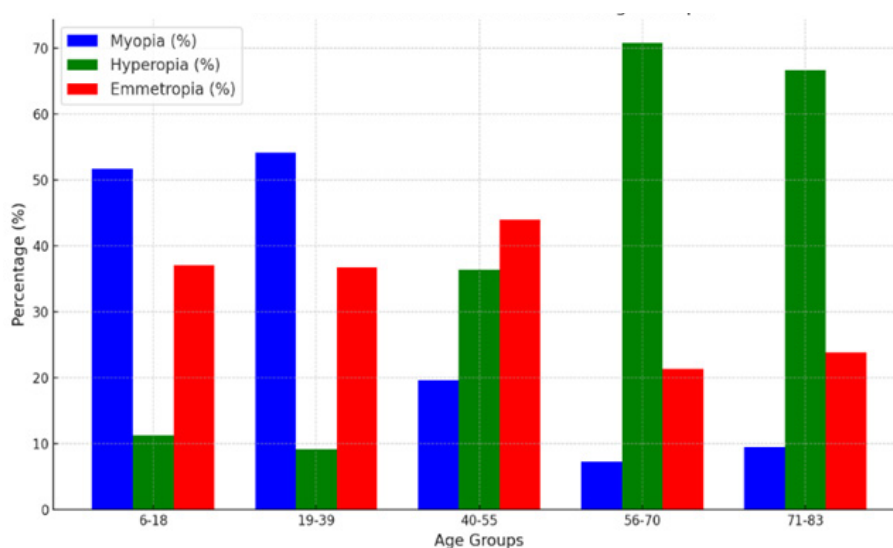


Figure 2. Distribution of Refractive Errors across Age Groups

Gender	J0 (Positive) WTR				J0 (Negative) ATR				J45 (oblique)			
	Mean	SD	N	%	Mean	SD	n	%	Mean	SD	n	%
Male	0.45	0.40	134	34.01	-0.33	0.27	121	30.71	-0.014	0.28	254	64.46
Female	0.36	0.34	163	32.14	-0.30	0.25	151	29.78	-0.019	0.23	314	61.93
MD, p	0.09, (<0.05) ^a				-0.03, (0.34)				0.005, (0.81)			
Age Groups												
5-18	0.51	0.45	36	40.45	-0.44	0.59	12	13.49	0.04	0.28	48	53.93
19-39	0.46	-0.41	148	44.98	-0.28	0.23	76	23.10	-0.01	0.26	224	68.08
40-55	0.29	0.28	69	28.24	-0.32	0.27	58	24.26	-0.01	0.25	127	53.14
56-70	0.29	0.29	38	18.82	-0.32	0.23	99	49.20	-0.04	0.24	137	67.82
71-83	0.41	0.27	9	21.42	-0.35	0.24	24	57.14	-0.04	0.24	33	78.57
ANOVA	F = 7.79 (p<0.01) ^a				F = 2.43 (p<0.05) ^a				F = 0.58 (p=0.67)			

Table 3. Gender and Age distribution of Astigmatism types

a: significant association; MD: mean difference; SD: Standard Deviation; J45: Oblique astigmatism; J0: Primary Axis astigmatism; WTR: with-the-rule astigmatism; ATR: against-the-rule astigmatism

REFERENCES

1. World Health Organization. Blindness and vision impairment. [cited 2024 Sep 4].
2. Yang Z, Jin G, Li Z, et al. Global disease burden of uncorrected refractive error among adolescents from 1990 to 2019. *BMC Public Health*. 2021;21:1975.
3. Williams KM, Verhoeven VJ, Cumberland P, et al. Prevalence of refractive error in Europe: the European eye epidemiology (E 3) consortium. *Eur J Epidemiol*. 2015 Apr;30:305-15.
4. Pan CW, Dirani M, Cheng CY, et al. The age-specific prevalence of myopia in Asia: a meta-analysis. *Optom Vis Sci*. 2015 Mar 1;92(3):258-66.
5. Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*. 2016 May 1;123(5):1036-42.
6. Zhou Y, Huang XB, Cao X, et al. Prevalence of Myopia and Influencing Factors among High School Students in Nantong, China: A Cross-Sectional Study. *Ophthalmic Res*. 2023 Dec 20;66(1):27-38.
7. Bourne R, Flaxman S, Braithwaite T, et al. Trends in prevalence of blindness and distance and near vision impairment over 30 years: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *Lancet Glob Health*. 2021;9(2):e130-e143.
8. Vision Loss Expert Group / Global Disease Burden 2020 Model, accessed via IAPB Vision Atlas.
9. World Population Review. Poorest Countries in Europe 2024. [cited 2024 Sep 20].
10. Wilson D. Efficacious correction of refractive error in developing countries [dissertation]. Sydney: UNSW Sydney; [cited 2024 Oct 20].
11. Németh J, Daiki T, Dankovics G, et al. Prevalence of refractive errors in Hungary reveals three-fold increase in myopia. *Int J Ophthalmol*. 2022 Jul 1;15(7):1174.
12. Pateras E, Kazakidou C. Prevalence and distribution of refractive errors among adults in Athens-Greece (urban area). *J Clin Optom*. 2020;4:1-6.
13. Nowak MS, Jurowski P, Grzybowski A, et al. Characteristics of refractive errors in a population of adults in the central region of Poland. *Int J Environ Res Public Health*. 2018 Jan;15(1):90.
14. Czepita M, Czepita D, Safranow K. Role of gender in the prevalence of myopia among Polish schoolchildren. *J Ophthalmol*. 2019;2019:9748576.
15. We XX, Yu LL, Majid AZ, et al. Study on the prevalence of myopia and its associated factors in China: a systematic review. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2023 Sep 1;27(17).
16. Zhang J, Li Z, Ren J, et al. Prevalence of myopia: A large-scale population-based study among children and adolescents in Weifang, China. *Front Public Health*. 2022 Jul 25;10:924566.
17. Read SA, Collins MJ, Carney LG. A review of astigmatism and its possible genesis. *Clin Exp Optom*. 2007;90(1):5-19.
18. Sanfilippo PG, Yazar S, Kearns L, et al. Distribution of astigmatism as a function of age in an Australian population. *Acta Ophthalmol*. 2015;93(5):e377-e385.

ABBREVIATIONS

- URE: Uncorrected Refractive Error
- D: diopters
- WTR: with-the-rule astigmatism
- ATR: against-the-rule astigmatism
- J45: Oblique astigmatism
- J0: Primary Axis astigmatism
- a: significant association
- MD: mean difference
- SD: Standard Deviation
- SE: Spherical Equivalent

Alteraciones Nerviosas y Vasculares de la Retina en Pacientes Diabéticos sin Retinopatía

Nervous and Vascular Alterations of the Retina in Diabetic Patients without Retinopathy

Eumelia Carrillo Suárez, MSc¹; Beatriz N. Rodríguez Rodríguez, PhD¹; Rafael Ernesto González Días, PhD¹; Inalvis Suárez Cuza, MSc^{1*}; Yenelis Molina Santana, MSc¹

1: Instituto Cubano de Oftalmología Ramón Pando Ferrer. La Habana, Cuba.

*inalvissc1985@gmail.com

Enviado: 5 de enero del 2025

Aceptado: 31 de marzo del 2025

Financiación: Ninguno de los autores declaran tener financiaciones.

Declaración de Conflictos de Intereses: Ninguno de los autores declaran tener conflictos de intereses.

Relevancia: Importancia de contribuir al diagnóstico de alteraciones estructurales de la retina antes del inicio de la retinopatía diabética.

Propósito: Determinar las alteraciones nerviosas y vasculares de la retina en pacientes diabéticos sin retinopatía diabética.

Material y métodos: Se realizó un estudio exploratorio, observacional, descriptivo, de corte transversal, en pacientes diabéticos sin retinopatía en el servicio de Retina del Instituto Cubano de Oftalmología Ramón Pando Ferrer.

Resultados: Se mostró un engrosamiento en la mayoría de los subcampos de la capa de fibras nerviosas de la retina en el grupo de estudio y una disminución significativa en la capa de células ganglionares. El grosor macular se vio reducido en los subcampos central e internos.

Conclusiones: En los pacientes sin retinopatía diabética, la alteración nerviosa y vascular está asociada, en la mayoría de los casos, con la disminución de la capa de células ganglionares y de la microcirculación del plexo superficial de la mácula.

Palabras clave: Retina, Diabetes Mellitus, Retinopatía Diabética, Alteraciones de la Retina.

Relevance: The importance of contributing to the diagnosis of alterations in the structure of the retina before the onset of diabetic retinopathy.

Purpose: To determine the nervous and vascular alterations of the retina in diabetic patients without retinopathy.

Methods: An exploratory, observational, descriptive, cross-sectional study was carried out in diabetic patients without retinopathy, in the Retina service of the Cuban Institute of Ophthalmology: Ramón Pando Ferrer.

Results: The nerve fiber layer in most subfields showed a difference in terms of thickening for the study group patients, the ganglion cell layer did show a significant decrease. Macular thickness showed a relevant decrease in the central and internal subfields. The macula showed a decrease in vascular density, where area and circularity decreased, not the perimeter.

Conclusions: In patients without diabetic retinopathy, the nervous and vascular alteration is associated in most cases with a decrease in the ganglion cell layer and microcirculation of the superficial plexus of the macula.

Keywords: Retina, Diabetes Mellitus, Diabetic Retinopathy, Retinal Alterations.

INTRODUCCIÓN

En el siglo XXI se habla de una "epidemia global de la diabetes mellitus" (DM), fenómeno que tienen lugar tanto en países desarrollados como en aquellos en vía de desarrollo. (1)

Este fenómeno se incrementará en los próximos años, el cual se calcula en un tercio de los casos como consecuencia del aumento de la población, del envejecimiento y de los cambios en el estilo de vida, que afecta en principio a los países en vía de desarrollo. (2)

La prevalencia mundial de adultos con DM es del 10,5%, lo que equivale a aproximadamente 537 millones de personas entre 20 y 79 años. Se estima que esta cifra ascenderá a 643 millones (11,3%) en 2030 y a 783 millones (12,2%) en 2045.3

Su prevalencia aumenta con la edad, al ser más baja entre los adultos de 20 a 24 años (2,2%) y más alta en los grupos de mayor edad, llega al 24% en el grupo de 75 a 79 años. (3)

Cuba no está exenta de este problema. El efecto del envejecimiento poblacional constituye uno de los factores que más incide en la situación de salud. Se le considera como una de las naciones más envejecidas de América Latina. El 21,6% de la población tenía 60 años en el año 2021 y se ha estimado que esta cifra ascenderá a 23% en el año 2035 y a 30% para el 2050. (5,6,7)

En cuanto a la diabetes en Cuba, según datos preliminares de 2020, la prevalencia es de 66,9 por cada mil habitantes, siendo las provincias con mayor tasa: Sancti Spíritus (90,9), La Habana (85,0), Matanzas (83,5) y Camagüey (80,4). (4)

Un estudio de 2020 sobre la prevalencia de ceguera y discapacidad visual indicó que la retinopatía diabética es causa de ceguera en el 2,5% de los diabéticos a nivel mundial, mientras que en América Latina este porcentaje asciende al 6,8%. (13, 14,15)

La introducción de la tomografía de coherencia óptica (OCT) para visualizar de forma rápida no invasiva las capas de la mácula en sección transversal, ha revelado alteraciones en la estructura de la retina antes del inicio de la retinopatía diabética. (18)

La OCT recientemente se ha combinado con la angiografía no invasiva sin la utilización de contraste conocida como angiotomografía de coherencia óptica (OCT-A), considerada una herramienta innovadora para

observación de los capilares in vivo. (19)

Muchos estudios han usado el OCT para demostrar el adelgazamiento de la retina interna, incluida la capa de fibras nerviosas de la retina (CFNR), la capa de células ganglionares (CCG) y la capa plexiforme interna (CPI) en pacientes con DM tipo 1 o tipo 2 sin retinopatía diabética. (19, 20,21)

Los cambios en el espesor de la retina interna y los déficits de la función visual ocurren antes de la retinopatía diabética clínica en pacientes con diabetes mellitus, (19) lo que sugiere un componente neurodegenerativo de la diabetes en la retina que puede ser independiente o al menos concurrente con las manifestaciones vasculares. (22,23)

En el paciente sin evidencia biomicroscópica de retinopatía diabética, está descrito que pueden existir neuropatía y microangiopatía diabética retinianas, incluso existe controversia de cuál se presenta primero. La neurodegeneración produce adelgazamiento en el espesor de células ganglionares y de la capa de fibras nerviosas, además de disminución del espesor neurorretinal. En la microangiopatía se produce pérdida de los pericitos, modificaciones de la membrana basal capilar, incremento del tamaño de algunos capilares, pérdida de partes de la red capilar y aumento en el tamaño de la zona avascular foveal. (22,23)

En pacientes diabéticos, el hallazgo de una evidencia particular en la forma de la red capilar macular puede señalarnos una retinopatía incipiente. Es cierto que los cambios ocurren en la red capilar macular ya en los inicios de la retinopatía diabética, cuando esta aún no es evidente en examen clínico. Estas características se ven por OCT-A con el incremento en el tamaño y la morfología de algunos capilares (largos o pequeños, irregulares, dilatados y microaneurismas), mientras que otros se encuentran cerrados y muestran una pérdida de la red capilar con una malla esparcida y larga. Además, se muestra un incremento en el tamaño de la zona avascular foveal (FAZ) que en su estado normal es de 500 micras (μm). Esto es un signo clínico temprano y reversible. (24)

El Instituto Cubano de Oftalmología Ramón Pando Ferrer es el centro de atención terciaria: en el servicio de vítreoretina se reciben los casos más avanzados de la retinopatía diabética del país para su manejo.

Se hace necesario conocer las alteraciones estructurales en la retina antes de que aparezcan las manifestaciones clínicas de la retinopatía, utilizando medios diagnósticos

no invasivos como la OCT-A que permitan determinar las alteraciones nerviosas y vasculares de la retina en pacientes diabéticos, contribuyendo así al diagnóstico precoz y el tratamiento oportuno de la retinopatía diabética para evitar la discapacidad visual.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio exploratorio, observacional, descriptivo, de corte transversal, en pacientes diabéticos sin retinopatía, en el servicio de Retina del Instituto Cubano de Oftalmología Ramón Pando Ferrer, con el objetivo de determinar las alteraciones nerviosas y vasculares de la retina en pacientes diabéticos sin retinopatía, durante el período de enero 2023 a enero 2024.

La muestra fue de 41 ojos de 22 pacientes con diabetes mellitus tipo 1 y 2, mayores de 18 años, sin importar el tiempo de evolución, con ausencia clínica de retinopatía o maculopatía diabética confirmado por fotografía a color y sin alteraciones del epitelio pigmentario de la retina (EPR) en las imágenes de multicolor y autofluorescencia, considerados criterios de inclusión. Se excluyeron los pacientes con enfermedades oculares que pudieran falsear los exámenes y pacientes con enfermedades maculares previas diagnosticadas por OCT.

Además, se formó un grupo normativo construido en la plataforma python 3,8 donde se realizó un cálculo matemático, partiendo del rango del mínimo y máximo de la normativa del OCT- A Cirrus™ (25) y se generaron 1000 valores en ese rango distribuido de forma normal donde la media fue el promedio del máximo y el mínimo y la desviación estándar (DS) se asumió un orden inferior al valor de la media.

Se analizaron las siguientes variables: tiempo de evolución, tratamiento, grosor de la capa de fibras nerviosas de la retina peripapilar (μm), grosor de células ganglionares maculares (μm), volumen macular (mm^3), grosor de la retina macular (μm), densidad vascular parafoveal (mm/mm^2) y zona avascular foveal (mm^2). Se utilizaron los datos normativos del Cirrus™ 5000 HD-OCT. (25)

Técnicas y procedimientos de recogida de la información

Los pacientes con DM fueron evaluados en las consultas de vítreoretina por un retinólogo, quien tras el examen clínico determinó la ausencia de retinopatía diabética y de las demás condiciones de exclusión. A todos los pacientes que cumplieron con los criterios establecidos se les realizó por los investigadores: anamnesis; examen de refracción, en el cual se utilizó la cartilla de LogMar a 6 metros; retinografía a color con la cámara no

midriática TOPCON; imágenes multimodales (multicolor y autofluorescencia) mediante el uso del OCT Spectralis de Heidelberg (versión 1.9.10.0) que confirmaron la ausencia de retinopatía diabética u otras enfermedades retinianas de exclusión. Seguidamente se tomaron las imágenes tomográficas con el Cirrus™ 5000 HD-OCT (versión 11.0, Carl Zeiss Meditec, Inc., Dubin, CA). (25) Posterior al análisis de las imágenes, el examen clínico fue realizado por dos especialistas de retina con más de cinco años de experiencia y, cuando existieron incoherencias entre ellos, este fue evaluado por un tercer especialista.

Los protocolos utilizados para la adquisición de imágenes en OCT Cirrus™ 5000 HD-OCT (25) fueron:

- Macular cube 200 x 200: se obtienen datos segmentados por cubos a partir de una rejilla cuadrada de 6 mm centrada en la fovea y 200 líneas de escaneos horizontales, cada una compuesta por 200 escaneos A y un escaneo B de alta definición horizontal central. Permite realizar mediciones relacionadas con el volumen y el grosor total de la retina en la zona macular desde la membrana limitante interna hasta el epitelio pigmentario de la retina (EPR) de manera global y por sectores.

- Los sectores maculares desde la membrana limitante interna hasta el EPR se identifican según el mapa del Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (ETDRS) con 3 círculos concéntricos: un círculo central dentro del diámetro de 1mm centrado en la fovea, un círculo interno (I) desde 1- 3 mm y un círculo externo (O, outer) desde 3-6 mm. Los anillos interno y externo se dividen en cuatro zonas que se designan: superior, temporal, inferior y nasal. (25)

- Los sectores CGPI se identifican dentro de un anillo elíptico centrado en la fovea. Se dividen en seis zonas: temporal superior, superior, nasal superior, inferior temporal, inferior e inferior nasal.

- Angiography 6 x 6 mm programa Angioplex™: se obtienen datos segmentados por cubos a partir de una rejilla cuadrada de 6 mm y escaneos similares al Macular cube. Las diferencias entre los escaneos B se interpretan como contraste asociado al movimiento de eritrocitos en los vasos sanguíneos y, a través de técnica de filtrado según la intensidad de la frecuencia, se generan detalles de la microvasculatura parafoveal. Para la perfusión, se compara el contraste de escaneos B consecutivos en la misma localización. Las áreas con cambios de contraste en el tiempo se consideran áreas con flujo de los eritrocitos. Permite realizar mediciones de densidad vascular y densidad de la perfusión vascular global y por sectores identificados según el mapa ETDRS.

Los exámenes se realizaron con dilatación pupilar. Se

corroboró la calidad de la señal (signal strength) mayor de 6 en todos los exámenes.

Se comprobó la ausencia de artefactos (intensidad de la señal, truncamiento de imagen, lagrimeo, flóculos vítreos, descentramiento, entre otras) en cuyo caso los valores afectados se excluyeron del análisis de los resultados. Los resultados se obtuvieron a partir del reporte automático generado por Macular thickness OU Analysis, Ganglion Cell OU Analysis y Angiography Analysis.

Técnicas y procedimientos de procesamiento y análisis de la información

Todos los datos fueron depositados en una base de datos en Excel elaborada por los investigadores.

El estudio se realizó conforme a los principios éticos para la investigación médica en humanos, establecidos en la Declaración de Helsinki enmendada por la 59^a Asamblea General, Seúl, Corea, octubre 2008, y acogidos por Cuba.

Esta investigación fue revisada por un Comité Ético independiente y cumple con los principios y las pautas aplicables para la protección de los sujetos humanos en la investigación biomédica.

RESULTADOS

Se encontraron artefactos en dos ojos relacionados con la ausencia de datos en las tres mediciones de la zona avascular foveal en los pacientes en que la densidad vascular parafoveal central era de 0,2 y 0,3, por lo que hizo que la muestra del grupo estudio disminuyera a 39 ojos.

En la tabla 1 se observa un tiempo medio de evolución de 12 años. Fueron más frecuentes los tratamientos con hipoglucemiantes orales (50%), seguidos por los que solo utilizan dieta (31,8%).

En la tabla 2, en relación a la media de la capa de fibras nerviosas de la retina, se observa un aumento del grosor en los subcampos: cuadrantes superior, nasal, inferior y a las horas 12, 3, 5, 6 y 9. También se observa un aumento del grosor medio en relación a la normativa, con diferencias significativas ($p<0,05$). Se observa una disminución del grosor en el sector de las 11 horas del grupo de estudio. Los subcampos cuadrante temporal y las horas 1, 2, 4, 7, 8 y 10 no han mostrado diferencias significativas ($p<0,05$) entre la normativa y el grupo de estudio.

En la Tabla 3 se muestra la media de los parámetros tomográficos a nivel de la capa de células ganglionares comparada con la media normativa CirrusTM.

El volumen macular no muestra diferencia significativa ($p=0,238$) entre el grupo estudio y la normativa; así mismo se comporta el grosor macular global ($p=0,745$).

Como se observa en la tabla 4 el volumen macular no muestra diferencia significativa ($p=0,238$) entre el grupo estudio y la normativa; de igual forma se comporta el grosor macular global ($p=0,745$). En relación al grosor de la retina neurosensorial existe una disminución respecto a la normativa en los subcampos central e internos, todos con diferencias significativas ($p<0,05$), excepto el subcampo superior interno ($p=0,278$). En los subcampos externos se determinó mayor grosor retinal en el grupo de estudio, con diferencias significativas en los subcampos temporal e inferior.

En la tabla 5 se muestra una disminución de la densidad vascular tanto global como central, interna y externa en el grupo de estudio en relación con la normativa con diferencias significativas ($p<0,001$). Respecto a la zona avascular foveal se mostró una disminución en el área y en el índice de circularidad con diferencias significativas.

Edad diagnóstico de la diabetes [media, (min-max)]		44 (11- 69)
Tiempo de evolución [media, (min-max)]		12 (1-35)
Tratamiento	Dieta [n, (%)]	7 (31,8)
	Hipoglucemiantes orales [n, (%)]	11 (50,0)
	Insulina [n, (%)]	1,(4,5)
	Mixto [n, (%)]	3 (13,6)

Tabla 1. Características clínicas de la diabetes del grupo de estudio

Grosor capa de fibras nerviosas peripapilares	Normativa Cirrus™ (μm) n = 1000 ojos			Grupo estudio (μm) n = 35 ojos			p valor
	Media ± DS	Mediana	Min - max	Media ± DS	Mediana	Min - max	
Grosor medio	91,1±7,4	91,8	75,0 - 107,2	95,1±9,4	94,0	75-122	0,010*
Cuadrante superior	112,5±10,1	112,5	88,9 - 136,7	119,0±14,2	122,0	84-155	0,002**
Cuadrante nasal	68,0±6,6	68,1	50,0 - 86,2	74,5±10,3	73,0	55-105	<0,001**
Cuadrante inferior	114,3±10,0	114,1	89,4 - 138,3	122,7±18,4	121,0	89-174	0,004**
Cuadrante temporal	63,6±6,2	63,7	45,1 - 82,2	63,0±12,2	58,0	44-103	0,177**
Hora 1	103,4±10,1	103,7	72,6 - 133,9	109,3±21,6	109,0	72-155	0,196**
Hora 2	81,1±8,1	80,9	52,4 - 109,7	82,7±19,5	79,0	50-121	0,971**
Hora 3	55,6±5,3	55,5	41,7 - 70,4	61,7±17,0	60,0	40-139	0,002**
Hora 4	66,9±6,7	66,8	44,8 - 89,0	67,0±15,1	69,0	37-104	0,914**
Hora 5	93,8±9,3	94,2	61,9 - 125	114,7±24,9	112,0	67-166	<0,001*
Hora 6	124,5±12,3	124,3	85,7 - 163,2	135,1±29,6	133,0	78-203	0,035**
Hora 7	121,7±12	121,3	84,8 - 159,4	119,7±27,3	115,0	76-185	0,304**
Hora 8	66,2±6,5	66,3	42,2 - 90,2	66,6±15,3	65,0	39-119	0,335**
Hora 9	52,0±5,0	52,1	36,4 - 67,4	58,2±15,1	57,0	34-99	0,011**
Hora 10	76,3±7,4	76,2	52,7 - 100,5	82,5±18,6	84,0	57-126	0,103**
Hora 11	120,0±11,8	119,9	87,2 - 154,6	115,8±20,4	111,0	76-162	0,035**
Hora 12	112,8±11,7	112,5	70,7 - 155,7	132,2±28,6	139,0	74-199	<0,001**

Tabla 2. Media de los parámetros tomográficos a nivel de la capa de fibras nerviosas de la retina en comparación con la normativa Cirrus™.

DS: Desviación Stándar; Min: mínimo; Max: máximo

*Prueba t para muestras independientes, prueba de Levene de igualdad de varianza $p \geq 0,05$

**Prueba U de Mann Whitney para muestras independientes con prueba de Levene de igualdad de varianza

Grosor de capa de células ganglionares maculares	Normativa Cirrus™ (μm) n = 1000 ojos			Grupo estudio (μm) n = 41 ojos			p valor
	Media ± DS	Mediana	Min - max	Media ± DS	Mediana	Min - max	
Global	86,2±7,7	86,5	67,7-104,2	82,4±5,3	82,0	71-99	<0,001**
Mínimo	77,6±7,6	77,3	53,2-101,8	79,7±6,5	80,0	64-100	0,092*
Temporal superior	84,8±7,5	84,7	68- 102	80,9±4,7	81,0	68-94	<0,001**
Superior	89,7±8,6	89,9	67- 113	84,0±7,2	83,0	70-109	<0,001*
Nasal superior	88,6±8,7	88,6	65- 112	84,8±6,9	85,0	72-104	0,003**
Nasal inferior	86,9±8,4	87,0	62- 111	83,6±8,4	83,0	71-120	0,015*
Inferior	85,7±8,3	86,1	62- 109	81,2±5,8	82,0	69-103	<0,001**
Temporal Inferior	87,0±8,1	86,8	68-106	81,8±4,9	82,0	71-99	<0,001**
Temporal Inferior	87,0±8,1	86,8	68-106	81,8±4,9	82,0	71-99	<0,001**

Tabla 3. Media de los parámetros tomográficos a nivel de la capa de células ganglionares comparada con la media normativa Cirrus™.

DS: Desviación Stándar; Min: mínimo; Max: máximo

*Prueba t para muestras independientes, prueba de Levene de igualdad de varianza $p \geq 0,05$

**Prueba U de Mann Whitney para muestras independientes con prueba de Levene de igualdad de varianza

Parámetros del área macular		Normativa Cirrus™ (μm) n = 1000 ojos			Grupo estudio (μm) n = 41 ojos			p valor
		Media ± DS	Mediana	Min - max	Media ± DS	Mediana	Min - max	
Volumen macular [mm ²]		9,9±0,4	9,9	9,26-10,62	10,0±0,5	10	9,3-11,0	0,238**
Grosor de la retina macular [μm]	Global	275,7±10,7	275,6	257,1-295,0	277,0±17,4	278,0	202-305	0,745**
	Central	258,0±18,8	258,5	220,5-294,8	240,8±28,0	233,0	195-353	<0,001**
	Temporal externo	259,1±11,2	259,2	239,3-279,6	261,3±11,4	262,0	242-279	0,161*
	Superior externo	273,9±11,2	273,9	254,1-293,8	280,8±13,3	282,0	256-308	<0,001*
	Nasal externo	289,0±13,1	289,2	263,8-312,5	298,0±17,0	296,0	271-336	0,001**
	Inferior externo	266,7±11,4	267,1	245,7-286,4	275,2±27,9	268,0	241-388	0,081**
	Temporal interno	309,1±13,3	308,8	285,1-333,0	303,2±17,0	304,0	271-344	0,038**
	Superior interno	319,9±13,9	318,9	295,2-344,6	317,0±17,2	317,0	283-352	0,278**
	Nasal interno	322,0±13,7	321,7	296,9-347,7	316,1±21,6	316,0	268-366	0,032**
	Inferior Interno	317,9±13,8	318,2	292,4-342,3	312,5±16,9	313,0	276-340	0,042**

Tabla 4. Media de los parámetros tomográficos a nivel de la mácula en comparación con la normativa de Cirrus™.

DS: Desviación Stándar; Min: mínimo; Max: máximo

*Prueba t para muestras independientes, prueba de Levene de igualdad de varianza p ≥ 0,05

**Prueba U de Mann Whitney para muestras independientes con prueba de Levene de igualdad de varianza

Parámetros vasculares de la retina		Rango normal n=100	Grupo estudio n=41 ojos *n =39 ojos			p valor
		Media ± DS	Media ± DS	Mediana	Min-Max	
Densidad vascular parafoveal [mm/mm ²]	Global	18,6±0,7	16,1±2,8	16,9	6,5-19,1	< 0,001
	Central	10,3±2,5	6,2±3,1	6,6	0,2-12,2	< 0,001
	Interno	18,7±0,9	15,9±3,3	16,7	3,3-18,7	< 0,001
	Externo	18,9±0,6	16,5±2,7	17,3	7,5-19,7	< 0,001
Zona avascular foveal*	Área [mm ²]	0,3±0,1	0,24±0,13	0,24	0,04-0,50	0,007
	Perímetro [mm ²]	2,2±0,4	2,04±0,71	2,14	0,82-3,82	0,170
	Índice de circularidad	0,7±0,1	0,65±0,11	0,70	0,39-0,81	0,008

Tabla 5. Alteraciones vasculares de la retina según OCT- Angio al comparar el grupo de estudio con la normativa Cirrus™.

DS: Desviación Stándar; Min: mínimo; Max: máximo

*La n del grupo de estudio para el análisis de la zona avascular foveal es de 39 ojos

**Prueba t comparación de media independiente (no se asumen varianzas iguales).

DISCUSIÓN

En la mayoría de los casos de retinopatía diabética, sus complicaciones retinianas se han considerado parte de un proceso vascular. Sin embargo, investigaciones recientes sugieren que la degeneración de la retina en la diabetes mellitus podría ser causada no solo por una vasculopatía, sino también, y de manera importante, por una neuropatía. La retinopatía diabética preclínica (la que no detectamos con una exploración oftalmológica convencional) podría ser causada por cambios en el calibre de los vasos retinianos o en la regulación del flujo sanguíneo de la retina. Sin embargo, también se han observado cambios que afectan las estructuras nerviosas. (27)

En la presente investigación no se tuvo en cuenta el tiempo de evolución de la diabetes mellitus, así quedaron incluidos pacientes desde un año hasta 35 años con una media de 12 años de evolución, dado que se trató de un estudio exploratorio. En el estudio poblacional cubano del 2016, el tiempo de evolución mayor en pacientes sin retinopatía diabética fue menos de 5 años con un 33,7%, y entre 10-14 años de evolución se encontraba el 20,4%. (27)

En cuanto al tratamiento para la diabetes mellitus de la presente investigación, el más frecuente fue el uso de hipoglucemiantes orales, seguido de la dieta, en pacientes sin retinopatía, lo que coincide con el estudio cubano del 2016. (9)

En esta investigación analizamos la capa de fibras nerviosas, la capa de células ganglionares y el grosor del área macular entre la capa limitante interna y el epitelio pigmentario de la retina. Se ha encontrado que la media de la capa de fibras nerviosas de la retina peripapilar no disminuye en los pacientes sin retinopatía diabética.

Se encuentran discrepancias en los resultados de los diferentes artículos. Uno de ellos mostró una disminución en el espesor medio de la capa de fibras nerviosas de la retina, mientras que otro plantea un incremento de la disminución de la capa de fibras nerviosas en pacientes con complicaciones vasculares.

Se postula que, a medida que los cambios microangiopáticos progresan con la progresión de la retinopatía diabética, el aumento de la fuga microvascular es la causa probable del aumento del grosor de la retina que eclipsa el adelgazamiento neurodegenerativo de la capa de células ganglionares y la capa de fibras nerviosas. No se espera que la fuga microvascular sea distribuida uniformemente en la mácula y es más probable que se localice alrededor de microaneurismas con fuga. (29, 30)

Esto influiría en los espesores de la capa de células ganglionares y de la capa de fibras nerviosas en los sectores afectados y, por ello, también en el espesor promedio de los mismos.

El grosor de la capa de células ganglionares se vio disminuido en el grupo de estudio frente al grupo control. Sin embargo, el grosor mínimo no mostró diferencia significativa.

En relación al grosor de la retina neurosensorial, se encontró una disminución en los subcampos temporal, nasal e inferior.

El incremento en el tamaño del área foveal avascular es mayor a lo normal, supera las 500 μm . Este signo temprano puede anteceder a los microaneurismas: en este estadio la situación es todavía reversible. Al establecerse la retinopatía, las alteraciones se hacen más marcadas, con congestiones pequeñas de capilares y algunas dilataciones. (23)

Siendo la situación reversible al detectar este signo temprano, es importante el análisis de la zona avascular foveal, ya sea el área contenida dentro de los límites de la zona avascular, el perímetro del mismo o la circularidad, donde los valores varían de 0 a 1. Un valor de 1 significa que FAZ forma un círculo perfecto mientras que un valor cercano a cero significa que el límite de FAZ es muy diferente de un círculo. Una FAZ puede resultar en una baja circularidad por una serie de razones que incluyen, entre otras, la pérdida de los capilares que rodean de forma veloz el FAZ. (25)

En esta investigación se presentó una disminución de la densidad vascular tanto global como central, interna y externa en el grupo de estudio en relación con la normativa con una diferencia significativa ($p < 0,05$); así mismo se mostró un incremento del área avascular foveal central y la circularidad en el mismo.

CONCLUSIONES

Los pacientes con diabetes mellitus sin retinopatía muestran alteraciones en la capa de fibras nerviosas de la retina con un ligero engrosamiento, además de una disminución de la capa de células ganglionares y del grosor macular central y medio, lo que sugiere una afectación estructural precoz en la retina calculado mediante los datos normativos del equipo OCT CirrusTM.

REFERENCIAS

1. Zimmet P, Alberti kgmm, Shaw J. Global and societal implications of the diabetes epidemic. *Nature* 2001;414: 782-6. [citado 21 abril 2023].
2. International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas. 7a ed. Brussels, Belgium: IDF Executive Office; 2015. [citado 19 abril 2023].
3. International Diabetes Federation (IDF). IDF Diabetes Atlas 10th edition. idf.org. 2021. [citado 19 abril 2023].
4. Noda Alonso S. Diabetes Mellitus: comorbilidad a tener en cuenta en tiempos de COVID-19. 2021. [citado 19 abril 2023].
5. Álvarez-Vazquez L, Arnold Dominguez Y. Envejecimiento poblacional y efecto en la diabetes mellitus en Cuba. *Rev Cientif*. 2016;26(1):71-7. [citado 19 abril 2023].
6. Organización mundial de la salud. Informe mundial sobre el envejecimiento y la salud. 2015 [citado 21 abril 2023].
7. Ministerio de Salud Pública. Anuario estadístico de Salud 2020. La Habana 2019 [citado 21 abril 2023].
8. Jiménez V, Verano N, Rodríguez J, Sánchez A, Espinosa L. Factores cardioaterogénicos y riesgo cardiovascular en diabéticos tipo 2 hospitalizados. *Rev Cub Med Mil*. 2018;47(2):21-5. [citado 21 abril 2023].
9. Llorente CY, Soca PE, Rivas VD, Borrego CY. Factores de riesgo asociados con la aparición de diabetes mellitus tipo 2 en personas adultas. *Rev Cuba Endoc*. 2016;27(2):26-30. [citado 21 abril 2023].
10. Yanes M, Cruz J, González T. Educación terapéutica sobre diabetes a adultos mayores. *Rev Cub Endocrinol*. 2018;29(3):29-34. [citado 21 abril 2023].
11. Weng W, Kong SX, Ganguly R, Hersloev M, Brett J, Hobbs T, et al. The prevalence of cardiovascular disease by vascular bed and impact on healthcare costs in a large, real-world population with type 2 diabetes. *Endocrinol Diabetes Metab*. 2019;3(2):106-10.
12. Díaz Díaz O, Orlandi Gonzalez N. Manual para el diagnóstico y tratamiento del paciente diabético a nivel primario de salud. Edición OPS/OMS en Cuba; 2013. [citado 4 mayo 2023].
13. American Diabetes Association. Diagnosis and classification of diabetes mellitus. *Diabetes Care* 2014;37(SUP-PL.1). [citado 4 mayo 2023].
14. GBD 2019 Blindness and Visual Impairment Collaborators; Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease Study. Causes of blindness and visual impairment in 2020 and trends over 30 years, and prevalence of avoidable blindness in relation to VISION 2020: The Right to Sight: an analysis for the Global Burden of Disease Study. *Lancet Global Health*. 2021 Feb;9(2):e144-e160. doi: 10.1016/S2214-109X(20)30489-7
15. Rodríguez Rodríguez BN, Ríos Torres M, Padilla González CM, Barroso Lorenzo R, et al. Diabetic Retinopathy in Patients Over 50 Years Old in Cuba during 2016. 2021 *EC Ophthalmology Volume*12(12): 71-80. [citado 4 mayo 2023].
16. Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Research Group. Treatment techniques and clinical guidelines for photocoagulation of diabetic macular edema. ETDRS report number 2. *Ophthalmology*. 1987; 94(7): 761-74.
17. Global Diabetic Retinopathy Project Group. Proposed international clinical diabetic retinopathy and diabetic macular edema disease severity scales. *Ophthalmology*. 2003; 110 (9): 1677-82.
18. Sachdeva MM. Retinal Neurodegeneration in Diabetes: an Emerging Concept in Diabetic Retinopathy. *Curr Diab Rep*. 2021 Dec 13;21(12):65.
19. Li, X., Yu, Y., Liu, X. et al. Quantitative analysis of retinal vessel density and thickness changes in diabetes mellitus evaluated using optical coherence tomography angiography: a cross-sectional study. *BMC Ophthalmol* 21, 259 (2021).
20. Carpineto P, Toto L, Aloia R, Ciciarelli V, Borrelli E, Vitacolonna E, Di Nicola M, Di Antonio L, Mastropasqua R. Neuroretinal alterations in the early stages of diabetic retinopathy in patients with type 2 diabetes mellitus. *Eye (Lond)*. 2016 May;30(5):673-9.
21. Van Dijk HW, Verbraak FD, Kok PH, Garvin MK, Sonka M, et al. Decreased retinal ganglion cell layer thickness in patients with type 1 diabetes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2010 Jul;51(7):3660-5.
22. Sohn EH, Van Dijk HW, Jiao CH, Kok PHB, Jeong W, Nazli Demirkaya N and et al. Retinal neurodegeneration may precede microvascular changes characteristic of diabetic retinopathy in diabetes mellitus. *PNAS*. Published online, 2016. [citado 4 mayo 2023].
23. Arevalo JF, Agüero CA, Arzabe CW, Lavaque A, Brim NR, Roca JA, Wu L. Manual de oftalmología Angio –OCT. Producido por PAAO. 2018 [citado 4 mayo 2023].
24. PAAO. RETINA PAAO 2019. I.S.B.N.: 978-99974-0-980-5 [citado 4 mayo 2023].
25. CIRRUS HD-OCT User Manual – Models 500, 5000. [citado 4 mayo 2023].
26. Río Torres M. Prevalencia de ceguera en ciudad de la habana. [tesis] 2010 [citado 12 de febrero de 2023]. Instituto Cubano de Oftalmología Ramón Pando Ferrer. La Habana.
27. OMS. Salud ocular universal: un plan de acción mundial para 2014-2019. [pft] 2013. [citado 12 de junio de 2023].
28. Rodríguez Rodríguez BN. Discapacidad visual en el adulto diabético en cuba [tesis] Instituto Cubano de Oftalmología Ramón Pando Ferrer. La Habana. 2017 [citado 12 de febrero de 2023].
29. Rodríguez Rodríguez B, Rodríguez Rodríguez V, Chiang Rodríguez C, Alemañi Rubio E, García Ferrer L, Galindo Reymond K, et al. Estudio rápido de prevención de discapacidad visual en diabéticos del municipio de playa. *Rev Cubana Oftalmol*. 2017;30 (2):1-11.
30. Ambiya V, Kumar A, Bhavaraj VR, Sharma V, Sharma N. Study of inner retinal neurodegeneration in Diabetes Mellitus using spectral domain optical coherence tomography. *Eur J Ophthalmol*. 2022 Sep;32(5):3074-3081.

ABREVIATURAS

- DM: diabetes mellitus
- DM2: diabetes mellitus tipo 2
- OCT: tomografía de coherencia óptica
- CFNR: capa de fibras nerviosas de la retina
- CCG: capa de células ganglionares
- CPI: capa plexiforme interna

Ajuste Clínico Avanzado de la Fórmula Haigis-L en Cirugía Refractiva

Advanced Clinical Optimization of the Haigis-L Formula in Refractive Surgery

Jorge Andrés Navarro, MSc^{1,2*}; Sara Marquina-Martín, MSc^{3,4}; Claudia Sanz Pozo, PhD¹;
Araceli Navarro Aguilar, MSc⁵; Laura Trívez Valiente, MSc¹

1: Servicio Aragonés de Salud (SALUD), Hospital Universitario Miguel Servet, Zaragoza, España.

2: Facultad de Óptica y Optometría, Universidad de Murcia, Murcia, España.

3: Facultad de Física, Universidad de Valencia, Valencia, España.

4: Instituto de Investigación Sanitaria de Aragón (IIS Aragón), España.

5: Servicio Aragonés de Salud (SALUD), Hospital Obispo Polanco, Teruel, España.

*jandresn2@hotmail.com

Recibido: 6 de abril del 2025

Aceptado: 7 de mayo del 2025

Publicado: 12 de mayo del 2025

Financiación: Ninguno de los autores declaran tener financiaciones.

Declaración de Conflictos de Intereses: Ninguno de los autores declaran tener conflictos de intereses.

Relevancia: La cirugía de catarata es prácticamente inevitable en la población general. El cálculo preciso de la potencia de la lente intraocular (LIO) es fundamental para lograr resultados posoperatorios óptimos. El aumento de intervenciones de catarata tras cirugías refractivas previas, debido a la esclerosis del cristalino, compromete la agudeza visual y la calidad de vida. Mejorar las fórmulas de predicción es esencial para restaurar eficazmente la función visual en estos pacientes.

Propósito: Evaluar la precisión y predictibilidad de las fórmulas para el cálculo de la potencia de la lente intraocular (LIO) en pacientes operados de catarata que habían sido previamente sometidos a cirugía refractiva (LASIK miópico o hipermetrópico), y analizar la correlación entre la cantidad de refracción corregida y la precisión en la predicción de la potencia de LIO.

Material y métodos: Se realizó un estudio retrospectivo y no aleatorizado en pacientes de los Sectores I y II de Zaragoza que habían sido intervenidos de cirugía de catarata tras una cirugía refractiva previa. Se recopilaron datos de queratometría pre y post cirugía refractiva, longitud axial, potencia de la LIO implantada y constantes de LIO (a_0 , a_1 y a_2). La potencia de LIO fue recalculada utilizando la fórmula Haigis-L, pero estimando el valor de queratometría mediante modelos de regresión lineal específicos según el rango de error refractivo. Se aplicaron criterios de inclusión y exclusión para definir la cohorte de estudio.

Resultados: Se analizaron 71 casos, clasificados en los grupos de hipermetropía ($n=13$ casos), miopía baja ($n=17$), miopía moderada ($n=14$), miopía alta ($n=16$) y miopía magna ($n=11$).

Con la fórmula Haigis-L, los errores medios de predicción fueron de $-1,52 \pm 1,15$ D para ojos miopes y $0,09 \pm 0,72$ D para ojos hipermétropes.

La aplicación de modelos de regresión ajustados a los rangos de refracción mejoró la precisión, obteniéndose errores de $-0,21 \pm 2,00$ D para ojos miopes y $0,6 \pm 1,44$ D para ojos hipermétropes. El modelo de regresión que incluía miopías superiores a 7,5 D logró un error medio de $-0,27 \pm 1,31$ D en ojos miopes.

Conclusiones: La fórmula Haigis-L mostró una mayor precisión en pacientes hipermétropes. El modelo de regresión para miopía baja fue el más preciso hasta $-2,50$ D, mientras que el modelo de regresión para miopía general, incluyendo miopías elevadas, fue el más adecuado para el resto de casos. Se recomienda optimizar este último modelo para reducir los errores de predicción miópicos.

Palabras clave: LIO, Fórmula Haigis-L, Optimizar, LASIK, Cálculo.

Relevance: Cataract surgery is practically inevitable in the general population. Accurate intraocular lens (IOL) power calculation is crucial to achieving optimal postoperative outcomes. The increasing incidence of cataract surgery following previous refractive procedures, due to lens sclerosis, compromises visual acuity and quality of life. Improving prediction formulas is essential to restore visual function effectively in these patients.

Purpose: To evaluate the accuracy and predictability of intraocular lens (IOL) power calculation formulas in cataract patients previously treated with refractive surgery (both myopic and hyperopic LASIK), and to analyze the correlation between the amount of corrected refractive error and the precision of IOL power prediction.

Methods: A retrospective, non-randomized study was conducted on patients from Sectors I and II of Zaragoza who had undergone cataract surgery after previous refractive surgery. Data collected included pre- and post-refractive surgery keratometry, axial length, implanted IOL power, and IOL constants (a_0 , a_1 , a_2). IOL power was recalculated using the Haigis-L formula with an estimated keratometry value derived from linear regression models according to ranges of refractive error. Inclusion and exclusion criteria were applied to define the study cohort.

Results: Seventy-one cases were analyzed and classified into hyperopia ($n=13$ cases), low myopia ($n=17$), moderate myopia ($n=14$), high myopia ($n=16$), and extreme myopia ($n=11$).

Using the Haigis-L formula, the mean prediction errors were -1.52 ± 1.15 D for myopic eyes and 0.09 ± 0.72 D for hyperopic eyes. Regression models tailored to refractive error ranges improved prediction accuracy, yielding errors of -0.21 ± 2.0 D for myopic eyes and 0.6 ± 1.44 D for hyperopic eyes.

A specific regression model including myopias greater than 7.5 D achieved a mean error of -0.27 ± 1.31 D for myopic eyes.

Conclusions: The Haigis-L formula demonstrated superior accuracy for hyperopic patients. A low myopia regression model performed best up to -2.5 D, whereas a broader myopia regression model, including higher myopic corrections, was preferable for the remaining cases. Further optimization of the latter model is recommended to minimize myopic prediction errors.

Keywords: IOL, Haigis-L Formula, Optimization, LASIK, Calculation.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha incrementado considerablemente el número de pacientes que se someten a cirugía de cataratas después de haber sido intervenidos previamente a cirugía refractiva corneal, especialmente LASIK o PRK. En estos casos, uno de los principales desafíos es calcular con precisión la potencia de la lente intraocular (LIO) que debe implantarse, ya que los métodos tradicionales de cálculo pierden fiabilidad al alterarse los parámetros corneales (1) y la relación entre el poder corneal anterior y posterior.

La fórmula Haigis-L fue desarrollada como una variante de la fórmula Haigis para abordar específicamente este tipo de casos, permitiendo calcular la potencia de la LIO sin necesidad de conocer datos preoperatorios, como

el valor original de la refracción o la queratometría (K) previa a la cirugía refractiva (2). Esta característica la convierte en una herramienta especialmente útil en la práctica clínica, donde dicha información no siempre está disponible.

Sin embargo, estudios recientes han puesto de manifiesto que la fórmula Haigis-L presenta limitaciones en cuanto a la precisión refractiva obtenida, con una tendencia variable a la hipercorrección o hipocorrección.

En este contexto, surge la necesidad de explorar posibles ajustes o estrategias que permitan optimizar su rendimiento y lograr resultados visuales más predecibles y satisfactorios para el paciente.

Numerosos investigadores han intentado encontrar métodos precisos para calcular la potencia corneal estimada. Una de las propuestas más destacadas ha sido

la fórmula Haigis L (3), reconocida por su eficacia y por seguir una metodología específica.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el comportamiento de la fórmula Haigis-L en un grupo de pacientes sometidos a cirugía de cataratas con antecedentes de cirugía refractiva, y evaluar la eficacia de una propuesta de ajuste empírico basada en los resultados refractivos obtenidos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se llevó a cabo un estudio retrospectivo en pacientes que se sometieron a cirugía de cataratas en el Hospital Nuestra Señora de Gracia de Zaragoza, España. Los participantes incluidos presentaban antecedentes de cirugía refractiva corneal tipo LASIK para la corrección de miopía e hipermetropía, y fueron intervenidos posteriormente con facoemulsificación e implantación de lente intraocular (LIO).

Los criterios de inclusión fueron: haber sido operado de cirugía refractiva, contar con un seguimiento postoperatorio de un mes y disponer de todos los datos biométricos requeridos para el cálculo de la LIO mediante la fórmula Haigis-L. Se excluyeron aquellos casos en los que existieran otras patologías oculares relevantes, complicaciones intraoperatorias o errores en la recolección de datos.

La biometría ocular se realizó con interferometría óptica (IOLMaster 700® – Carl Zeiss Meditec, Alemania), empleando los datos obtenidos para calcular la potencia de la LIO mediante la fórmula Haigis-L, tal como se encuentra integrada en el software del equipo. Se registraron los siguientes parámetros: longitud axial, profundidad de cámara anterior, Queratometría (K) y

refracción postoperatoria.

El objetivo refractivo de la cirugía fue lograr emetropía en todos los casos. Posteriormente, se evaluó la diferencia entre el resultado refractivo obtenido y el deseado, considerando como error refractivo la diferencia entre ambos valores.

Se analizó la tendencia sistemática de error (con regresiones propias) y, en base a estos resultados, se ajustó la K calculada en la fórmula Haigis-L, por los valores de K obtenidos en las regresiones que nosotros realizamos. Para validar esta corrección, se recalcularon los resultados esperados con el nuevo ajuste y se compararon con los valores reales obtenidos en los pacientes.

Esta investigación cumple con los principios y las pautas aplicables a la protección de sujetos humanos en la investigación biomédica estipulados en la Declaración de Helsinki.

Todos los test estadísticos se llevarán a cabo utilizando el programa SPSS versión 20.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL).

RESULTADOS

Se analizaron 71 ojos de pacientes con antecedentes de cirugía refractiva tipo LASIK, que posteriormente fueron intervenidos con facoemulsificación e implantación de LIO. La edad media fue de 61,4 años, con un rango entre 48 y 75 años, repartidos en los diferentes grupos que se muestran en la Tabla 1.

En la Figura 1 representamos regresiones propias que aparecen en azul y en rojo copiamos la regresión que realizó Haigis. Se pueden ver claras similitudes entre

Grupo	Número de casos (n)	Porcentaje [%]
Hipermetropía (> 0 D)	13	18,3
Miopía baja (0D a -2,50D)	17	23,9
Miopía moderada (-2,51D a -5,00D)	14	19,7
Miopía alta (-5,01D a -7,50D)	16	22,5
Miopía magna (< -7,50D)	11	15,5
Total	71	100

Tabla 1. Grupos creados por cantidad de refracción corneal corregida por LASIK

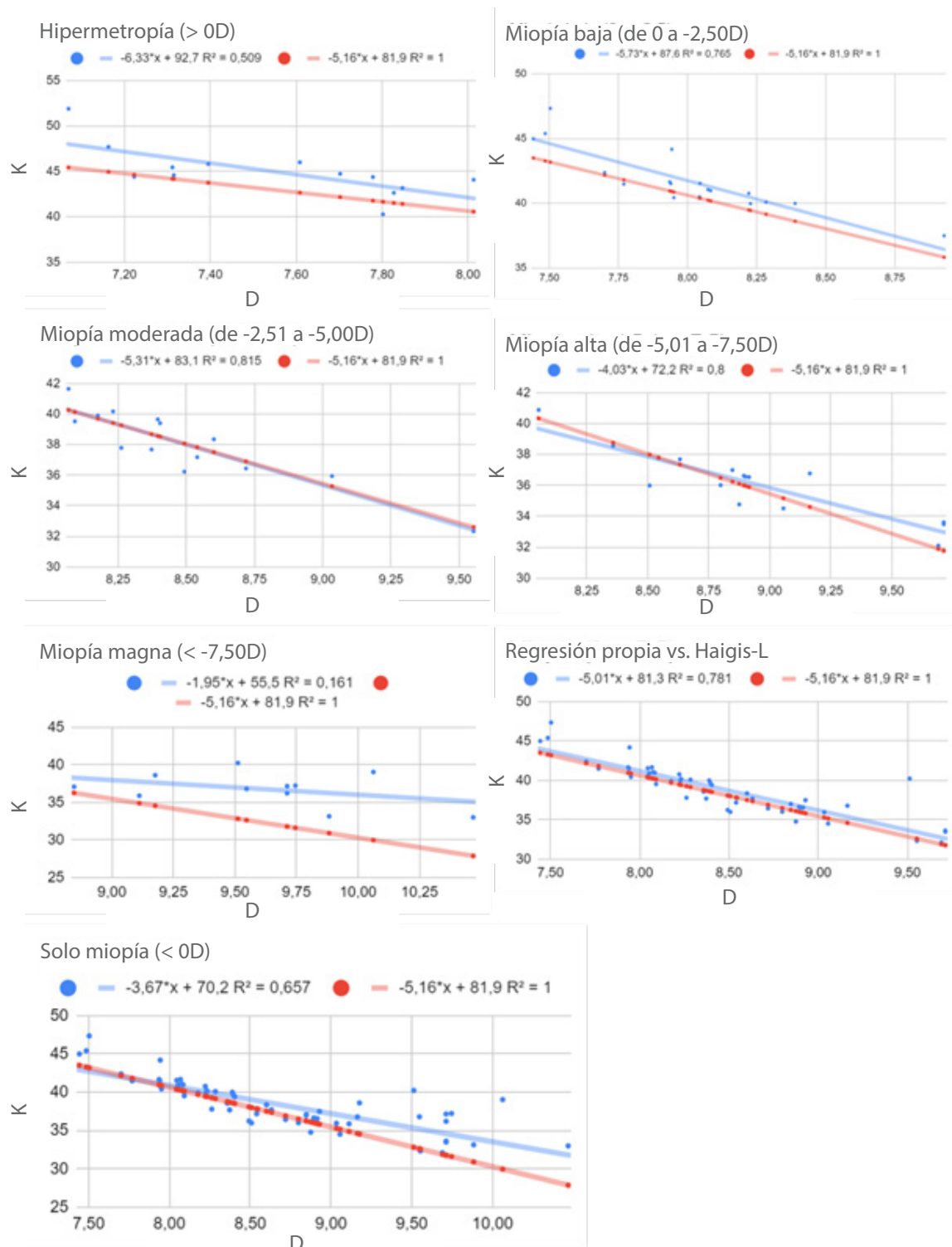


Figura 1. Regresiones lineales propias

K: Queratometría; D: Dioptrías de miopía corregidas por LASIK; Rojo: Haigis-L; Azul: Regresión propia

miopía moderada y sólo miopía con la regresión original realizada por Haigis (3).

Los resultados comparativos del grupo hipermetropía el error predictivo fue $0,09 \pm 0,72$ D para Haigis L y $0,60 \pm 0,85$ D para nuestra regresión. En cambio, para Haigis L fue $-1,13 \pm 0,84$ D para el primer grupo de miopía y a nuestro favor ese error fue $-0,24 \pm 0,70$ D. Si comparamos el siguiente grupo de miopía Haigis L obtiene un

error predictivo de $-1,15 \pm 0,69$ D y con nuestra regresión $-1,70 \pm 0,74$ D. Sin embargo si se compara con nuestra regresión exclusiva de miopía se convierte en un error de $-0,21 \pm 0,42$ D.

Si comparamos los grupos de miopías elevadas los resultados son muy similares entre Haigis L y nuestra regresión ($-1,31 \pm 1,00$ D y $-1,24 \pm 0,84$ D) y vuelve a aproximarse más a la emetropía la regresión que hicimos solo

de miopía con $0,52 \pm 0,93D$. Del mismo modo ofrece un error de $0,47 \pm 1,05 D$ en las miopías más altas con unos errores predictivos muy altos tanto Haigis L como nuestra regresión ($-2,89 \pm 1,34 D$ y $3,22 \pm 1,62 D$).

Como vemos en la Tabla 2, $r > 0,87$ y $p < 0,01$ el valor de este coeficiente indica que existe un nivel de correlación positiva y estadísticamente significativa entre los cálculos de potencias de LIO. Al tener un $r > 0,5$ obtiene también relevancia clínica.

Con el coeficiente de correlación intraclase queremos ver el grado de acuerdo que existe entre la potencia de LIO calculada y la ideal y en todos los casos hay un grado de acuerdo elevado (ICC = 0,921 y 0,951) (Tabla 3).

Con la representación gráfica de Bland-Altman compar-

amos la concordancia entre la potencia de LIO calculada con nuestras regresiones y la potencia de LIO ideal.

Encontramos diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,01$) al realizar la prueba F de ANOVA en la que comparamos las potencias calculadas de LIO con nuestras regresiones, la de Haigis L y la ideal.

Para profundizar más en las diferencias entre estas potencias aplicamos la ecuación estadística de Bonferroni que compara por pares las 3 variables (Tabla 4).

Esta comparación estadística arroja que no hay diferencias estadísticamente significativas entre 1 y 2 ($p = 1,000$) y sí que las hay entre 2 y 3 al igual que entre 1 y 3 ($p < 0,01$) (Tabla 4).

		P LIO calculada	P con Haigis-L	P calculada para miopía	P ideal
LIO con nuestras regresiones	Significación	-	$<0,01$	$<0,01$	$<0,01$
	Coef. Pearson	-	0,81	0,89	0,87
LIO con Haigis-L	Significación	$<0,01$	-	$<0,01$	$<0,01$
	Coef. Pearson	0,81	-	0,92	0,91
LIO con regresión para miopía	Significación	$<0,01$	$<0,01$	-	$<0,01$
	Coef. Pearson	0,89	0,92	-	0,93
LIO ideal	Significación	$<0,01$	$<0,01$	$<0,01$	-
	Coef. Pearson	0,87	0,91	0,93	-

Tabla 2. Correlaciones con coeficiente de correlación de Pearson
P: Potencia

	CCI	Intervalo de confianza 95%	
		Límite Inferior	Límite Superior
Medidas individuales	0,85	0,78	0,91
Medidas promedio	0,92	0,87	0,95

Tabla 3. Coeficiente de Correlación Intraclase (CCI)

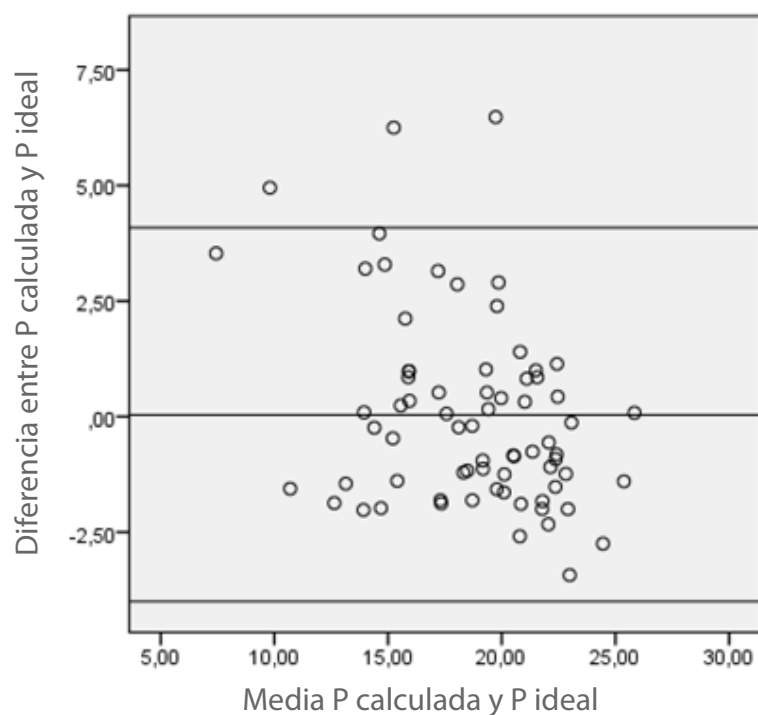


Figura 2. Diagrama Bland-Altman
P: Potencia

Variable 1	Variable 2	Diferencia de medias	Error típico	Significación	Intervalo de Confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
LIO ideal	LIO calculada con nuestras regresiones	0,046	0,246	1	-0,557	0,649
	LIO calculada con Haigis L	-1,114	0,179	<0,01	-1,553	-0,674
LIO calculada con nuestras regresiones	LIO ideal	-0,046	0,246	1	-0,649	0,557
	LIO calculada con Haigis L	-1,160	0,291	<0,01	-1,873	-0,446
LIO calculada con Haigis L	LIO ideal	1,114	0,179	<0,01	0,674	1,553
	LIO calculada con nuestras regresiones	1,160	0,291	<0,01	0,446	1,873

Tabla 4. Comparaciones a posteriori de Bonferroni de la prueba F de ANOVA entre las tres variables.

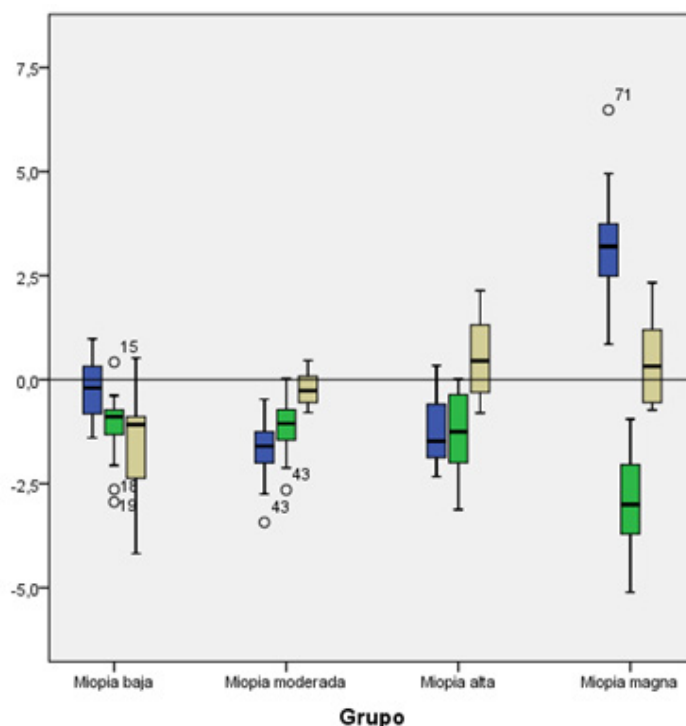


Figura 3. Diagrama cajas sobre diferencias de potencias

Azul: Diferencia entre las potencias de LIO calculadas con nuestras regresiones y las ideales.

Verde: Diferencia entre las potencias de LIO calculada con Haigis L y las ideales.

Gris: Diferencia entre las potencias de LIO calculada por nuestra regresión de miopía y las ideales.

DISCUSIÓN

En términos generales, las regresiones obtenidas en este análisis se sitúan por encima de la curva de regresión propuesta por Haigis, salvo en los casos de miopía alta (entre -5,1 y -7,50 dioptrías), donde se observa un cruce entre ambas. Esto implica que los valores de K derivados de nuestras regresiones tienden a ser más elevados, lo que conlleva una menor necesidad de potencia en la LIO.

Una diferencia particularmente notable se presenta en el grupo de miopía magna (< -7,50 D), en el que nuestra regresión proporciona valores de K considerablemente más planos que los de Haigis, lo que genera una disparidad mucho mayor en la potencia necesaria de LIO. Como se detallará posteriormente, lo más apropiado sería contar con una curva intermedia entre ambas, dado que la fórmula Haigis L tiende a generar resultados refractivos postoperatorios miópicos, mientras que nuestra regresión se inclina hacia resultados hipermetrópicos. Esta discrepancia podría explicarse por la exclusión, en el modelo de Haigis, de pacientes con miopías magnas (una clasificación adoptada aquí para casos superiores a -7,50D). Por ello, se optó por desarrollar una regresión específica considerando todos los casos de miopía disponibles. Al comparar ambas, se aprecia que las curvas

coinciden al inicio pero divergen progresivamente conforme se aplanla la curvatura corneal, situándose consistentemente nuestra regresión por encima de la de Haigis. Esta adaptación mostró una alta precisión, especialmente en los casos de miopía extrema.

Uno de los casos tuvo que excluirse del análisis comparativo por no contar aún con la refracción postoperatoria tras la cirugía de catarata. Aun así, fue útil para ajustar la regresión. Así, el análisis se realizó finalmente sobre 71 de los 72 pacientes.

En cuanto a los 13 casos hipermetrópicos, la línea de ajuste calculada difiere de la regresión de Haigis (véase Fig. 1), y parecía que nuestra estimación de la potencia de LIO sería más precisa. No obstante, se observó que la media de las diferencias en el grupo de Haigis L fue de $0,09 \pm 0,72$ frente a los $0,6 \pm 0,85$ obtenidos por nuestra fórmula, lo cual sugiere menor consistencia. Dada esta falta de concordancia, se optó por utilizar los resultados generados directamente por el IOLMaster 700® como referencia. Al confrontar estos con los cálculos de la fórmula Haigis-L aplicada en nuestra hoja de cálculo, se obtuvo una diferencia de $-1,76 \pm 1,15$, la cual se correlaciona con la disparidad entre las regresiones (véase Fig. 1). Esto sugiere que Haigis podría haber realizado una optimización de su fórmula en el IOLMaster 700 específicamente para casos hipermetrópicos.

En el subgrupo de miopía baja (0 a -2,50 D), la regresión

personalizada arrojó resultados muy favorables, con un error medio de $-0,24 \pm 0,70$ al comparar la potencia calculada con la ideal. Por el contrario, los errores derivados de Haigis L y de la regresión unificada para toda la miopía fueron mayores: $-1,13 \pm 0,84$ y $-1,54 \pm 1,35$, respectivamente.

En miopía moderada ($-2,51$ a -5 D), la regresión específica fue también la más precisa con un error de $-0,21 \pm 0,42$, superando a los obtenidos con Haigis L ($-1,15 \pm 0,69$) y con la regresión segmentada de este grupo ($-1,7 \pm 0,74$). En miopía alta, la regresión general para miopía fue la que más se acercó a cero ($0,52 \pm 0,93$), aunque presentó un error refractivo postoperatorio positivo. Desde un punto de vista clínico, un pequeño error miópico es más aceptable. En ese sentido, tanto Haigis L como nuestra regresión específica para este rango ofrecieron errores más miópicos: $-1,31 \pm 1$ y $-1,24 \pm 0,84$ respectivamente.

Los resultados más extremos se observaron en miopía magna. Haigis L generó un error medio de $-2,89 \pm 1,34$, mientras que nuestra regresión produjo un valor de $3,22 \pm 1,62$. Si bien ambos están lejos de la emetropía, el error de Haigis L es más aceptable por preservar la visión cercana. Curiosamente, al aplicar la regresión global para miopía, se obtuvo un error medio de $0,47 \pm 1,05$, más próximo a la emetropía, aunque con tendencia hipermetrópica.

Todas las potencias estimadas de LIO muestran correlaciones tanto clínicas como estadísticas. Cabe destacar que la regresión miópica general ofrece una potencia más cercana al valor ideal, reflejando coherencia en los datos.

Sin embargo, al aplicar el análisis de concordancia de Bland y Altman (Figura 2), donde se considera $d \pm 1,96 \cdot DS$ (d = media de diferencias, DS = desviación estándar), se encontró que el valor máximo (7,61) supera los límites de confianza $[-4,02; 4,09]$, lo que sugiere una baja concordancia con la LIO ideal. Este patrón se repite en las regresiones de Haigis-L y la regresión general para miopía (Figura 1). Algunos casos atípicos, como el paciente número 43, influyen de forma significativa en estos resultados (Figura 3).

Con el test post-hoc de Bonferroni (Tabla 4), los errores de predicción fueron miópicos en los grupos de miopía baja y moderada. Sin embargo, los grupos de miopía alta y magna mostraron variaciones más notorias, con diferencias marcadamente significativas en este último. Para miopía baja, la regresión específica fue la más cercana a la emetropía, mientras que en el resto de los grupos destacó la regresión general de miopía (Figura 1). Algunos valores extremos destacan por su alejamiento de la media, lo cual puede atribuirse a características particulares de los sujetos analizados (Figura 3).

En el grupo hipermetrópico, el cálculo del IOL Master 700® con la fórmula Haigis-L se aproximó más a la emetropía. La diferencia con la fórmula publicada sugiere

una optimización específica para cirugía refractiva de hipermetropía.

Haigis W. (4) analizó 278 ojos operados post-cirugía refractiva: 222 miopes y 56 hipermetrópicas. Las LIO implantadas variaron entre 35 tipos y 64 cirujanos para miopes, y 13 tipos con 15 cirujanos para hipermetrópicas. Se empleó el IOLMaster para la biometría y K, utilizando la fórmula Haigis L desde la versión 4 del software. Los errores medios fueron de $-0,08 \pm 0,71$ D (miopes) y $-0,06 \pm 0,77$ D (hipermetrópicas), con medianas absolutas de 0,37 y 0,40 D respectivamente. Las tasas dentro de ± 2 D, ± 1 D y $\pm 0,5$ D fueron 98,6%, 82,9% y 59,9% para miopes y 96,4%, 82,1% y 58,9% para hipermetrópicas.

Al aplicar la misma metodología a nuestro estudio, con una muestra más limitada, los errores medios fueron $-1,52 \pm 1,15$ D (miopes) y $0,09 \pm 0,72$ D (hipermetrópicas), con medianas de $-1,29$ D y $0,22$ D. Los porcentajes dentro de ± 2 D, ± 1 D y $\pm 0,5$ D fueron 74,1%, 46,6% y 20,7% (miopes) y 100%, 84,6% y 69,2% (hipermetrópicas).

Al evaluar las distintas regresiones, se obtuvo un error medio de $-0,21 \pm 2,00$ D (miopes) y $0,6 \pm 1,44$ D (hipermetrópicas), con medianas de $-0,83$ D y $0,85$ D. Los porcentajes dentro de los mismos rangos fueron 81%, 43,1% y 24,1% (miopes), y 76,9%, 53,8% y 23,1% (hipermetrópicas).

Finalmente, con la regresión "solo miopía" (Fig. 1), el error medio fue de $-0,27 \pm 1,31$ D (miopes), mediana $-0,3$ D, con una tasa dentro de ± 2 D, ± 1 D y $\pm 0,5$ D del 86,2%, 72,4% y 50%, respectivamente, lo que la convierte en la mejor estrategia predictiva.

CONCLUSIONES

Se ha observado que al utilizar los valores de K proporcionados por el IOLMaster 700® dentro de la fórmula Haigis-L, se obtienen potencias de LIO más bajas, lo que deriva frecuentemente en un resultado refractivo hipermetrópico, con un error medio de $1,3 \pm 2,7$ D.

En el contexto de la cirugía de catarata, el objetivo principal es alcanzar una refracción postoperatoria cercana a la emetropía (≤ 0 D), priorizando la evitación de errores positivos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se recomienda utilizar la fórmula Haigis-L específicamente en pacientes que han sido sometidos a cirugía refractiva hipermetrópica. Para los casos con antecedentes de miopía leve (entre 0 y $-2,5$ D), la regresión correspondiente a este rango (ver Figura 1) parece ser la opción más adecuada. En cambio, para pacientes con miopías superiores a $-2,5$ D, se considera más fiable aplicar la regresión desarrollada exclusivamente para miopía (también mostrada en la Figura 1). No obstante, tal como se expuso previamente, sería necesario evaluar qué ajuste o factor correctivo podría implementarse para reducir el margen de error predic-

tivo y alcanzar resultados refractivos ≤ 0 D.

Cabe destacar que, según nuestros hallazgos, la fórmula Haigis L utilizada por el software del IOLMaster 700® parece haber sido adaptada o optimizada específicamente para pacientes con antecedentes de hipermetropía. Esta optimización, sin embargo, no ha sido documentada en la literatura científica consultada. Por tanto, se deberá esperar a futuras publicaciones que detallen de forma precisa cómo se realiza el cálculo de LIO en casos de hipermetropía corregida mediante cirugía refractiva láser empleando esta fórmula.

REFERENCIAS

1. Savini G, Barboni P, Zanini M. Correlation between attempted correction and keratometric refractive index of the cornea after myopic excimer laser surgery. *J Refract Surg.* 2007;23(5):461-466.
2. Haigis W, Lege B, Miller N, Schneider B. Comparison of immersion ultrasound biometry and partial coherence interferometry for intraocular lens calculation according to Haigis. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2000;238(9):765-773.
3. Haigis W. Intraocular lens calculation after refractive surgery for myopia: Haigis-L formula. *J Cataract Refract Surg.* 2008;34(10):1658-1663.
4. Haigis W. Challenges and approaches in modern biometry and IOL calculation. *Saudi J Ophthalmol.* 2012;26(1):7-12.

ABREVIATURAS

- LIO: Lente Intraocular
- P: Potencia
- K: Queratometría
- CCI: Coeficiente de Correlación Intraclase
- d: media de diferencias
- DS: Desviación estándar

Adaptación Pediátrica de Prótesis Ocular en Microftalmia Congénita

Pediatric Adaptation of Ocular Prosthesis in Congenital Microphthalmia

Laura Trívez Valiente, MSc^{1*}; Galadriel Giménez Calvo, PhD²; Jorge Andrés Navarro, MSc²;
María Ángeles Giménez Gimeno, MSc²; Ana Castro Manzanares, MSc³; Marta Sancho Larraz, MSc⁴;
María Sanz Gómez, MSc⁵; José Alejandro Bruñen Campos, MSc⁶

1: General Óptica, Zaragoza, España.

2: Servicio Aragonés de Salud, Zaragoza, España.

3: Clínica Oftalmológica Baviera, Zaragoza, España.

4: Biotech Vision SLP Spin off, Zaragoza, España.

5: Óptica Alain Afflelou, Zaragoza, España.

6: Óptica Visionlab, Zaragoza, España.

*trivez-1988@hotmail.com

Recibido: 7 de mayo del 2025

Aceptado: 19 de junio del 2025

Publicado: 25 de junio del 2025

Financiación: Ninguno de los autores declaran tener financiaciones.

Declaración de Conflictos de Intereses: Ninguno de los autores declaran tener conflictos de intereses.

Relevancia: Destacar la figura del ocularista dentro de nuestra profesión. Además, se ha escogido este caso en concreto ya que el paciente no ha sido sometido a una evisceración y está en edad pediátrica, donde la percepción propia cobra mucha importancia para su desarrollo personal, social y emocional.

Propósito: Describir el proceso completo de la toma de medidas y adaptación de la prótesis ocular en un paciente pediátrico con microftalmia congénita. Se hace hincapié en el impacto a nivel psicológico con su entorno más próximo, tanto familiar como escolar.

Informe de Caso Clínico: Paciente de 7 años con microftalmia congénita unilateral, acude a la renovación de su prótesis ocular. Fue remitido por el Servicio de oftalmología pediátrica del Hospital Miguel Servet para su primera adaptación de prótesis antes del primer año de vida. Al estar en continuo desarrollo, la prótesis debe ajustarse periódicamente para acompañar el crecimiento de la cavidad orbitaria, lo que supone un seguimiento exhaustivo por parte del ocularista. Tras la toma de medidas adecuadas, el paciente ya disfruta de su nueva imagen que acompaña a su desarrollo ocular.

Conclusión: Múltiples estudios han demostrado la mejora de confianza y autoimagen de sí mismos que ganan los pacientes tras una adaptación de prótesis ocular, siendo de vital importancia en la etapa infantil ya que están en pleno desarrollo de identidad y habilidades sociales.

Palabras clave: Microftalmia, Prótesis Ocular, Pediatría, Ocularista.

Relevance: To highlight the role of the ocularist within our profession. Furthermore, this specific case was chosen because the patient has not undergone evisceration and is of pediatric age, where self-perception is very important for personal, social, and emotional development.

Purpose: To describe the complete process of measuring and fitting an ocular prosthesis in a pediatric patient with congenital microphthalmia. Emphasis is placed on the psychological impact on the patient's immediate environment, both family and school.

Clinical Case Report: A 7-year-old patient with unilateral congenital microphthalmia attended a prosthesis replacement. He was referred by the Pediatric Ophthalmology Department at Miguel Servet Hospital for his first prosthesis fitting before his first birthday. Because the prosthesis is constantly developing, it must be adjusted periodically to monitor the growth of the orbital cavity, which requires close monitoring by the ocularist. After taking appropriate measures, the patient already enjoys their new image, which accompanies their ocular development.

Conclusion: Multiple studies have demonstrated the improvement in confidence and self-image that patients gain after fitting an ocular prosthesis. This is vitally important in childhood, as they are in the midst of developing their identity and social skills.

Keywords: Microphthalmia, Ocular Prosthesis, Pediatrics, Ocularist.

INTRODUCCIÓN

La microftalmia congénita se caracteriza por la presencia de un globo ocular subdesarrollado con una longitud axial por debajo de los 16 mm en el nacimiento y un diámetro corneal menor de 10 mm (1).

En nuestro paciente en particular, presenta una microftalmia congénita en el ojo izquierdo con ausencia de función retiniana, lo que implica una ceguera total en el ojo afectado.

Las características principales son:

- Globo ocular de tamaño reducido: con diámetro corneal < 10 mm y longitud axial < 16 mm al nacer.
- Orbita hipoplásica: provoca enoftalmos y aplasia palpebral con la consiguiente asimetría facial progresiva con el crecimiento y desarrollo del paciente (2).
- Sin percepción luminica: no existe tratamiento que regenere el tejido retiniano ni restaure la visión del paciente (2).

Cuenta con una prevalencia global que varía entre el 2 y 17 por 100.000 pacientes pediátricos con microftalmia aislada, alcanzando hasta un 30 por 100.000 cuando incluimos la anoftalmia y coloboma infantil. Se estima que la microftalmia contribuye al 3,2% - 11,2% de los casos de ceguera infantil, con variación según la región geográfica a estudio (3).

La etiología es multifactorial, involucrando factores tanto genéticos como ambientales. Mutaciones en genes que se consideran clave para el desarrollo ocular (SOX2, PAX6, OTX2 y CHD7), explican una gran mayoría de los casos de microftalmia congénita. Las agresiones teratogénicas como infecciones maternas (rubeola, toxoplasmosis, exposición a retinoides e ingesta de algún fármaco durante el primer trimestre) elevan el riesgo de malformación en la vía visual y desarrollo del globo ocular (1, 3).

El objetivo de adaptar una prótesis ocular en una microftalmia congénita es favorecer el crecimiento de

la órbita de una forma precoz con recambios frecuentes de la misma y, de éste modo, ir restaurando la simetría facial del paciente. Además de una mejora estética, se pretende también favorecer el bienestar del niño a nivel social y emocional (4).

Es aquí cuando entra en juego la figura del ocularista. La American Society of Ocularists define al ocularista como "un profesional especializado en fabricar y adaptar prótesis oculares hechas a medida, proporcionando una atención clínica continua a los pacientes que las utilizan" (5).

Las funciones de los oculistas incluyen:

- Anamnesis y evaluación clínica inicial del paciente: conocer los antecedentes médicos generales y oculares es básico para realizar una buena adaptación. Seguidamente se examina la cavidad orbitaria que presenta el paciente para adaptar la prótesis más adecuada.
- Toma de impresiones: con materiales de impresión elásticos como las siliconas de adición (polivinilsiloxano) se toma un molde preciso de la cavidad anoftálmica gracias a su capacidad de reproducir fielmente la muestra y gran tolerancia por parte de los pacientes (6).
- Fabricación de la prótesis ocular: es un trabajo muy artesano e individualizado, utilizando técnicas de pintura y escultura para asemejar la prótesis a su ojo contralateral.
- Adaptación y ajuste: una vez hecha la prótesis, el ocularista debe asegurarse de un correcto ajuste para evitar rotaciones o descentramientos indeseados para un buen resultado estético final.
- Seguimiento y mantenimiento: todos los casos tienen una continuación tras la prótesis definitiva. Cada 6 meses se recomienda hacer una revisión y una vez al año mantenimiento por si ha pedido brillo o necesita algún retoque.

En nuestro caso, trabajamos con ART-LENS® que es el laboratorio que se encarga de la fabricación en sí de la prótesis, ya que en nuestro centro óptico no es viable

tener un taller específico para realizar las prótesis a medida. Es una empresa con más de 45 años de experiencia especializados tanto en prótesis oculares, faciales como en lentes de contacto cosméticas. Incorporan técnicas de última generación para reproducir una prótesis lo más realista posible y con máxima comodidad, creando el color de iris en 3D y añadiendo una capa antialérgica que envuelve toda la prótesis. Para realizar nuestras adaptaciones, en lugar de trabajar con una toma de impresión, tenemos unos moldes ya impresos (de distintas formas, del lado derecho e izquierdo, con diferente volumen...) para poder ir probando e incluso modificarlos en caso que sea necesario para dar con el ajuste óptimo. El resto del trabajo y adaptación, lo realizamos en nuestro gabinete.

CASO CLÍNICO 1

Paciente de 7 años con microftalmia congénita unilateral acude al gabinete para hacer un recambio de su prótesis ocular. Antes de cumplir el primer año de vida, se le adaptó la primera prótesis para comprobar la tolerancia de la misma y favorecer el crecimiento de la órbita y la funcionalidad de los párpados. Esta investigación fue revisada por un Comité Ético independiente y cumple con los principios y las pautas aplicables para la protección de los sujetos humanos en la investigación biomédica.

Durante la gestación, la progenitora no refirió ninguna complicación, a excepción de una intoxicación alimentaria que le provocó un ingreso durante una semana por fiebre alta y problemas gastrointestinales. Estaba en la semana 16 de gestación. Tras múltiples pruebas, no vieron afección alguna en el feto y le dieron el alta. Las sucesivas ecografías transcurrieron con normalidad hasta el parto. En los primeros días de vida, se confirmó el diagnóstico de microftalmia en el ojo izquierdo del bebé.

Previamente, en el hospital infantil, se le realizó una

exploración clínica completa (incluyendo biometría, resonancia magnética para descartar anomalías cerebrales y así, evaluar la órbita completa (7)). Una vez constatado que no había lesiones a nivel cerebral, se nos remitió al gabinete para comenzar con la adaptación de la prótesis ocular.

Al principio, el seguimiento fue muy exhaustivo, ya que al conservar su globo ocular bajo la prótesis, hubo que valorar posibles roces de la misma que pudieran provocar alguna úlcera; posibles infecciones oculares (conjuntivitis muy frecuentes por el acúmulo de legaña bajo la prótesis o por factores ambientales como podía ser haber jugado en el arenero del parque); comprobar que la prótesis no giraba de su posición de origen por frotarse mucho los ojos... Cada tres meses se le hizo seguimiento hasta cumplimentar el año de porte de la misma.

Se le ha renovado la prótesis conforme ha ido creciendo para seguir favoreciendo la simetría facial. En el presente artículo se presenta el último cambio que se le ha realizado.

Exploración clínica

El primer paso es retirar la prótesis que porta el paciente para comprobar con la lámpara de hendidura el estado del globo ocular por debajo de la misma. Todas las fotos que se presentan a continuación, están avaladas por el consentimiento informado de los padres del menor. Como es un paciente al cual se le lleva haciendo seguimiento durante años, ya es conocida la ligera hiperemia asintomática que suele presentar, normalmente ocasionada por el roce de la prótesis. Por ello mismo, en la nueva adaptación, se pretende aumentar el volumen de la misma para evitar ese roce central y mejorar el confort para el paciente. Por otro lado se intentará levantar ligeramente el párpado superior para conseguir una simetría con el ojo contralateral, ya que actualmente se le ha quedado pequeña y le queda hundida provocando esa caída del párpado (Figura 1).

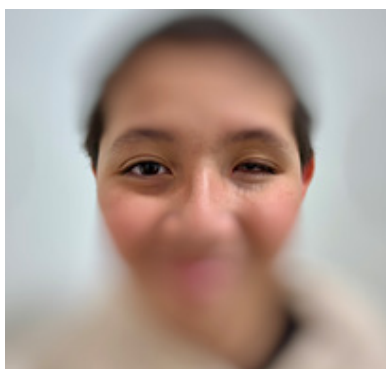


Figura 1: Ojo izquierdo del paciente con microftalmia

Toma de medidas

Estudio anatómico de la cavidad actual del paciente:

En primer lugar, elegiremos la nueva forma que va a configurar la prótesis definitiva. Normalmente se pueden probar diversas formas que hay de muestra según el espacio que nos encontremos en la cavidad. Como tenemos de base la forma que utiliza, y lo que queremos es un poco más de volumen para aumentar la apertura palpebral, se elige una muestra que cumple nuestros requisitos. En la Figura 2 se observa el aumento de volumen con respecto a su prótesis actual con el que pretendemos mejorar la adaptación y, por lo tanto, la estética final.

Debemos asegurarnos que hacemos un buen ajuste a la cavidad actual, ya que nos permitirá cierto movimiento dando más vitalidad y dinamismo a la adaptación.

El material de las prótesis es polimetilmetacrilato el cual se caracteriza por unas propiedades mecánicas muy favorables para una adaptación exitosa. Una vez

elegida la nueva forma, pasamos a los detalles más personalizados para crear una sensación más realista y conseguir un resultado final óptimo.

Diámetro de iris y pupila:

Para esta función, utilizamos el autorrefractómetro haciendo una foto de su ojo derecho y así medir el diámetro total del iris. El valor obtenido es de 11,1 mm. Los moldes donde se fabrican los iris varían en pasos de 0,25 mm, por lo que elegimos un diámetro total de iris de 11,0 mm.

En cuanto a la pupila, hay que tener en cuenta que no va a variar de tamaño como su ojo contralateral. Al ser un paciente pediátrico, puede observarse en la imagen anterior mencionada que tiene un diámetro bastante amplio (> 5 mm). Considerando las condiciones fotópicas y escotópicas en las que va a usar la prótesis, se decide elegir un diámetro pupilar de 3,5 mm con el que quedará cubierto en ambos casos, sin apreciarse una gran diferencia gracias a que el color de su iris es bastante oscuro.



Figura 2: Aumento de volumen (prótesis nueva a la izquierda VS prótesis antigua a la derecha)

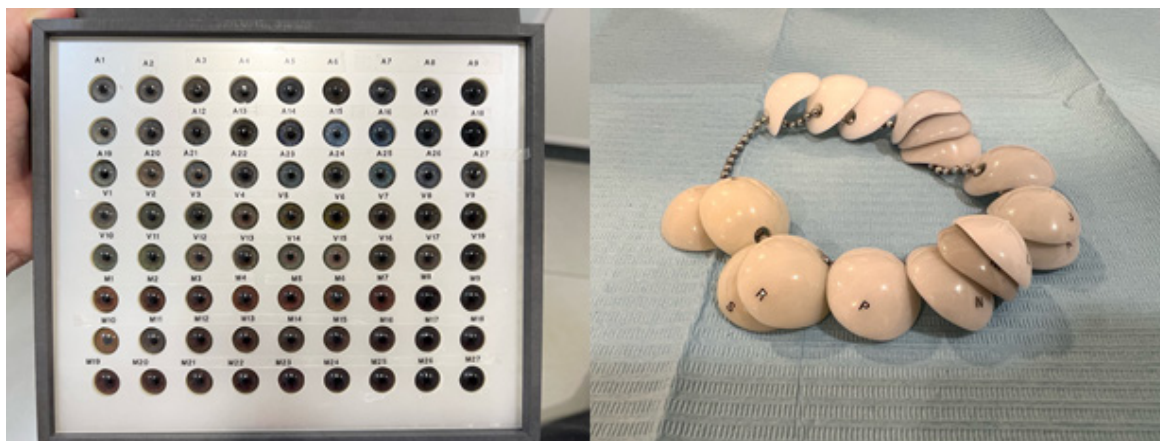


Figura 3: Muestras de iris (a la izquierda) y escaleras (a la derecha)

Color de iris:

El siguiente paso es elegir el color de iris, lo cual es fundamental para alcanzar el objetivo final estético deseado. En la Figura 3 se presentan las muestras de color con las que se trabajan, las cuales abarcan una amplia gama de colores y tonalidades de azules, verdes, marrones y grises. Cada uno de ellos está codificado para facilitar el traspaso de datos al laboratorio. En caso de no encontrar uno que se adapte a nuestras necesidades, se puede contactar con el laboratorio para que nos envíen muestras específicas de la tonalidad que deseamos. En este caso se elige el color M-20.

Esclera, venas y manchas:

Se dispone de una gama de muestras que abarca desde tonos de blanco puro (habitualmente empleados en pacientes pediátricos), pasando por matices como blanco roto, crema, marfil, hasta llegar a grises con matices azulados, adaptándose así a las necesidades de todos nuestros pacientes según su edad, raza, entre otros factores (Figura 3). Estas muestras están clasificadas alfabéticamente de la A a la V.

Para nuestra paciente, se ha seleccionado la esclera B. Respecto a la elección de venas y manchas, nos guiamos por un patrón en papel, aunque la experiencia nos indica que, en pacientes jóvenes, con pocas venas visibles y sin tratamientos oftalmológicos previos en el ojo sano, suele optarse por el modelo V-50, sin manchas. En este caso concreto, el paciente apenas presenta venas visibles, por ello, se selecciona el modelo V-50, y sin manchas.

Prueba de la prótesis definitiva

Una vez tomadas todas las medidas necesarias, se envía el estudio completo al fabricante. Tras unos 25 días de espera, llega la prótesis a medida. En la Figura 4 vemos la primera prueba que se realiza sin modificaciones. Se puede apreciar que tiene algo más de volumen

que su ojo derecho, pero en ese momento no se hizo ningún cambio. Si nos apresuramos y quitamos algo de volumen el primer día, es posible que cuando vuelva a la siguiente revisión, le haya quedado más pequeña porque se haya asentado en el nuevo espacio. El primer día de prueba, el paciente refirió notar un cuerpo extraño pero que no le producía dolor (algo común cada vez que hemos ido renovando la prótesis), cosa que con la suya no le pasaba. Es algo normal al aumentar de volumen y tamaño de la prótesis, por lo que se le explicó y se le citó en unos días para comprobar cómo evolucionaba la adaptación. Tras 15 días de uso de la misma junto con lágrima artificial, se comprueba que la alineación es correcta y el volumen óptimo. Por otro lado, se ha conseguido levantar el párpado dando más realismo a la nueva mirada. El paciente queda muy contento con su nueva prótesis y ya no refiere ninguna molestia.

CONCLUSIONES

Se presenta el caso de un paciente de 7 años con microftalmia congénita para renovar su prótesis ocular. Ha sido paciente nuestro desde antes de cumplir un año. Hemos seguido su caso muy de cerca para ir cubriendo sus necesidades a nivel estético y funcional. De este modo, se ha ido cambiando y renovando su prótesis ocular para ir aumentando el tamaño conforme ha ido creciendo y así favorecer la simetría facial. El presente trabajo muestra el proceso que se ha seguido en su última adaptación.

La labor del ocularista, sigue siendo desconocida para muchos pacientes que acuden a nuestro gabinete sin información previa sobre esta especialidad. Cada adaptación protésica se personaliza, atendiendo a las necesidades y condiciones particulares de cada

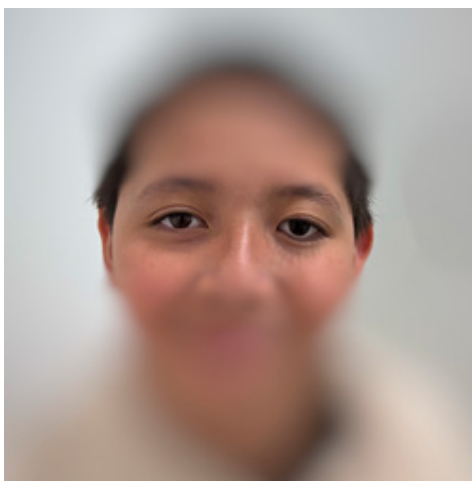


Figura 4: Prótesis definitiva

paciente.

La infancia se considera una etapa crucial para el desarrollo de la identidad personal y habilidades sociales. Por lo que se debe hacer especial hincapié en que el uso de la prótesis ocular no afecte al niño a nivel personal, social o educativo.

Un enfoque multidisciplinar que incluya apoyo psicológico y programas de sensibilización a nivel escolar, sería esencial para mejorar la calidad de vida e integración social del niño.

A través de este caso, queremos resaltar el papel del ocularista, cuya intervención puede transformar profundamente la vida de una persona y ser clave en su proceso de rehabilitación. En este caso, el acompañamiento no solo del niño, sino de los padres en este largo camino, ha sido un gran punto de apoyo para la familia y así sobrellevar mejor la situación, viendo como su hijo crece feliz y sin complejos.

REFERENCIAS

1. Russo M, Palmeri S, Zucconi A, Vagge A, Arioni C, et al. Management of anophthalmia, microphthalmia and coloboma in the newborn, shared care between neonatologist and ophthalmologist: a literature review. *Ital J Pediatr.* 2025;51:65.
2. Centers for Disease Control and Prevention. Anophthalmia/ Microphthalmia | Birth Defects. 2025. [Internet] citado el 29 de abril de 2025.
3. Goyal S, Tibrewal S, Ratna R, Vanita V. Genetic and environmental factors contributing to anophthalmia and microphthalmia: current understanding and future directions. *World J Clin Pediatr.* 2025;14(2):101982.
4. Frech S, Schulze Schwering M, Schittkowski MP, Guthoff RF. Clinical congenital anophthalmos and blind microphthalmos—Experiences of patients and their parents after more than 10 years of treatment. *Children (Basel).* 2022;10(1):34. doi:10.3390/children10010034.
5. American society of ocularists - HOME [Internet]. Ocularist.org. [citado el 16 de junio de 2025]. Disponible en: <https://ocularist.org>
6. Chaudhry IA, Shamsi FA. Manual of Ocular Prosthetics. Springer; 2012.
7. Guarnera M, De Simone S, Costa R, et al. Congenital malformations of the eye: A pictorial review and clinico-radiological correlations. *J Ophthalmol.* 2024;2024:5993083.

Tomografía corneal en pacientes intervenidos de LASIK con láser de femtosegundo. Estudio preoperatorio y postoperatorio a los 3 meses

Corneal Tomography in Patients Undergoing LASIK with Femtosecond Laser: Preoperative and 3-Month Postoperative Study

Ana Castro Manzanares, MSc^{1*}; Laura Trávez Valiente, MSc²; María Sanz Gómez, PhD³;
Marta Sancho Larraz, MSc⁴; José Alejandro Bruñen Campos, MSc⁵

1: Clínica Oftalmológica Baviera, Zaragoza, España.

2: Servicio Aragonés de Salud, Zaragoza, España.

3: Óptica Alain Afflelou, Zaragoza, España.

4: Biotech Vision SLP Spin off, Zaragoza, España.

5: Óptica Visionlab, Zaragoza, España

*anacastromanzanares@gmail.com

Recibido: 8 de junio del 2025

Aceptado: 7 de agosto del 2025

Publicado: 15 de septiembre del 2025

Financiación: Ninguno de los autores declaran tener financiaciones.

Declaración de Conflictos de Intereses: Ninguno de los autores declaran tener conflictos de intereses.

Relevancia: El estudio de la topografía corneal es imprescindible en el preoperatorio de *Laser assisted in Situ Keratomileusis* (LASIK). Un nuevo método de análisis protocolizado de los mapas topográficos sería útil para asegurar un buen resultado final de la intervención.

Propósito: Diseñar un nuevo método para el análisis normalizado de mapas tomográficos y utilizarlo para comparar los mapas de pacientes antes de ser intervenidos mediante la técnica LASIK, utilizando el láser de femtosegundos, y 3 meses después de la intervención.

Material y Métodos: Para la realización del estudio se seleccionaron 50 ojos de 25 pacientes que tuviesen tomografías precirugía y 3 meses después de la misma. A partir de ellas se tomaron los datos en 17 puntos corneales previamente definidos y los mismos en cada mapa: origen de coordenadas, 1, 2, 3, 4 mm temporal, nasal, inferior y superior. Dichos datos se volcaron en un archivo Excel para el posterior análisis. Los mapas corneales escogidos para el estudio fueron los de curvatura, elevación anterior y paquimetría.

Resultados: Se encontraron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre los valores pre y postoperatorios en todo el mapa de curvatura anterior y solamente en la parte temporal de curvatura posterior. En paquimetría se encontraron diferencias en todo el mapa excepto a 4 mm del origen de coordenadas. Por otro lado, existe una correlación fuerte entre las diferencias pre y postoperatorias en el radio de los mapas de curvatura anterior y el equivalente esférico corregido (a mayor ablación, mayor diferencia) y sólo una correlación leve en paquimetría.

Conclusiones: Este estudio establece una nueva aproximación de medida para analizar mapas tomográficos, con unos puntos predefinidos en córnea que serán siempre los mismos, y que permite estudiar la superficie corneal de una forma más precisa y normalizada a las propuestas hasta el momento.

Palabras clave: Pentacam, LASIK, Topografía, Elevación, Paquimetría.

Relevance: The study of corneal topography is essential in the preoperative assessment of Laser-Assisted In Situ Keratomileusis (LASIK). A new standardized method for the analysis of topographic maps would be useful to help ensure a successful surgical outcome.

Purpose: To design a new standardized method for the analysis of tomographic maps and use it to compare the maps of patients before undergoing LASIK surgery with femtosecond laser and three months after the procedure.

Methods: A total of 50 eyes from 25 patients were selected for the study. All had available tomographic data both before surgery and three months postoperatively. From these tomographies, data were extracted at 17 predefined corneal points, consistently located on each map: the coordinate origin, and at 1, 2, 3, and 4 mm in the temporal, nasal, inferior, and superior directions. These data were compiled in an Excel spreadsheet for further analysis. The corneal maps selected for evaluation included curvature, anterior elevation, and pachymetry.

Results: Statistically significant differences ($p < 0.05$) were found between preoperative and postoperative values across the entire anterior curvature map and only in the temporal area of the posterior curvature map. In pachymetry, significant differences were observed throughout the map except at 4 mm from the coordinate origin. Moreover, a strong correlation was identified between pre-postoperative differences in the anterior curvature maps' radius and the corrected spherical equivalent (greater ablation yielded greater differences), while only a weak correlation was found in pachymetric changes.

Conclusions: This study proposes a novel measurement approach for the analysis of tomographic maps, based on predefined and consistently used corneal points. This method enables a more precise and standardized evaluation of the corneal surface compared to previously available methodologies.

Keywords: Pentacam, LASIK, Topography, Elevation, Pachymetry.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, la cirugía refractiva se ha convertido en una alternativa a las gafas y a las lentes de contacto para la corrección de errores refractivos. Entre las distintas técnicas de cirugía refractiva, la más común es la *Laser-Assisted In Situ Keratomileusis* (LASIK), que consiste en crear un colgajo corneal o flap en la parte externa de la córnea y exponer el estroma anterior, donde se aplica directamente el láser excimer, creando una zona de ablación irreversible en córnea. La creación del colgajo corneal puede lograrse mediante un microqueratomo mecánico o un láser de femtosegundos. (1)

El láser de femtosegundo emite pulsos de energía precisos, de muy corta duración y con una longitud de onda próxima al infrarrojo, lo que le permite penetrar en los tejidos sin dañar las estructuras adyacentes. Gracias a su aplicación en cirugía LASIK, las complicaciones que anteriormente podían surgir con los instrumentos de corte mecánicos, como el microqueratomo, han desaparecido prácticamente (2,3). Los colgajos así obtenidos son de un espesor muy preciso y reducido

(73 a 78 μm) (4), obteniendo un flap de un diámetro determinado, uniforme, con independencia de la curvatura y del diámetro corneal. Esto permite aumentar el grosor de la córnea residual (el estroma residual mínimo que se debe dejar es 250 μm (5,6)) que se obtiene después de aplicar el láser de excimer, incrementando la estabilidad y seguridad del procedimiento (7).

En ocasiones, después de la intervención puede aparecer la denominada regresión miópica, que ocurre más frecuentemente en pacientes con alta miopía preoperatoria (por la profundidad de ablación) que en miopías bajas o moderadas. En estos casos, se puede recurrir a los retratamientos, los cuales se deben posponer hasta que la refracción sea estable. Así, los retratamientos para hiper o hipo correcciones después de un LASIK para miopía se pueden hacer a partir de los 6 meses postoperatorios. Por su parte, estudios previos, analizando los cambios corneales a los 3 meses después de la cirugía, documentan que, pasado este tiempo, la córnea se estabiliza a nivel estromal y epitelial (5,6).

Para saber si un paciente es apto para la cirugía refractiva es indispensable la realización de la denominada "topografía corneal", una prueba diagnóstica utilizada para conocer las características de la córnea. Dicha

prueba desarrolla un estudio del relieve de su superficie, cuyo objetivo es ver si existen irregularidades y conocer los radios de curvatura en los distintos meridianos. Su uso se ha vuelto indispensable en muchas aplicaciones optométricas, como la adaptación de lentes de contacto para ortoqueratología y, sobre todo, en ciertas intervenciones, como la cirugía de cataratas o la refractiva, en la que la córnea se ve directamente afectada. Por eso, es necesario realizar siempre un estudio de la córnea del paciente antes y después de la cirugía, pudiendo apreciar así los cambios inducidos en sus ojos.

El Pentacam® (Oculus Inc™, Wetzlar, Alemania) es un instrumento compuesto por una cámara Scheimpflug giratoria y luz monocromática (LED azul de 470 nm), combinada con una cámara estática, que proporciona un escaneo tridimensional y captura imágenes del segmento anterior del ojo. El dispositivo genera una imagen completa y un modelo virtual tridimensional del polo anterior, por lo que comúnmente se denomina tomógrafo corneal, para diferenciarlo del topógrafo basado en discos de Plácido, que sólo proporciona información de la cara anterior de la córnea. Este procedimiento de no contacto tiene una duración de aproximadamente 2 segundos y proporciona simultáneamente paquimetría corneal, topografía corneal (incluida la superficie corneal anterior y posterior), densitometría de opacidades de lentes y análisis de cámara anterior (profundidad, ángulo y volumen) (8,9). Además, existe un modo de escaneo con una resolución alta especial en 3D (HR), en el que la cámara toma 50 imágenes en un segundo y se evalúan 138.000 puntos. Este modo proporciona una mejor calidad de imagen con ópticas optimizadas y nuevas funciones de software como el módulo de adaptación de lentes de contacto o de simulación de lentes intraoculares fáquicas (3D pIOL) (10).

A lo largo de los años, varios estudios han analizado este instrumento para determinar la repetitividad (capacidad de un instrumento de dar el mismo resultado en mediciones repetidas con el mismo paciente y examinador) y reproducibilidad (capacidad de un instrumento de dar el mismo resultado en mediciones repetidas con el mismo paciente y distinto examinador) del mismo. Muchos de estos estudios (10,11,12) coinciden en la buena reproducibilidad y repetitividad del Pentacam® en cuanto a mapas paquimétricos, mapas de elevación y curvatura. Sin embargo, estos autores indican que algunas medidas, como los datos aberrométricos, estimación del eje del astigmatismo y paquimetría periférica, no son tan repetitivas y reproducibles.

A la hora de buscar artículos científicos que comparen tomografías pre y post LASIK, nos encontramos con que, por norma general, los cambios pre y post se evalúan de una forma muy concreta, centrándose en un parámetro topográfico específico o una zona limitada de la córnea. Por mencionar algunos, el del grupo de investigación de Li H et al. (13), cuyos autores sólo estudian la zona óptica, haciendo mediciones 1, 3 y 6 meses después de la cirugía; Huang JH (14), por su parte, recoge únicamente los datos de mapas de espesor corneal central, 1 mm y 2,5 mm superior, inferior, nasal y temporal, y determina mediante el software del Pentacam® el punto más delgado en córnea; Xu y colaboradores (15) también estudian la paquimetría, dividiendo la córnea en cuatro zonas: zona centro (2 mm de diámetro), zona pericentral concéntrica (2-5 mm), zona transicional (5-7 mm) y zona periférica (7-10 mm), y subdividiendo cada una de las zonas concéntricas en ocho sectores.

Tras revisar la bibliografía, pues, podemos concluir que los estudios precedentes que analizan los mapas tomográficos en córneas pre y post operadas de LASIK no fijan unos puntos predefinidos en córnea para poder comparar pre-post siempre en el mismo sitio y tener información más detallada, sino que se hacen grosso modo o basándose en índices muy específicos o zonas relativamente acotadas de la córnea.

En este estudio se ofrece una nueva forma de comparar mapas corneales. Nos basamos en un trabajo previo reciente (16), en el que se analizaron puntos corneales concretos y predefinidos (1, 2, 3, 4 mm nasal y 1, 2, 3, 4 mm temporal con respecto al origen de coordenadas) de mapas topográficos, para demostrar que el uso previo de lentes de ortoqueratología no era contraproducente para la cirugía LASIK, y se comparó con los resultados de un grupo control de usuarios previos de lentes de contacto blandas, que posteriormente también fueron operados de cirugía refractiva.

Por consiguiente, el objetivo principal del presente estudio consiste en desarrollar una nueva aproximación de medida para analizar mapas tomográficos y, a continuación, comparar los mapas de elevación (anterior y posterior), curvatura (anterior y posterior), y paquimetría, de sujetos antes de la intervención de LASIK utilizando el láser de femtosegundos y 3 meses después de la misma. Lo que se propone es el análisis de 17 puntos concretos de la córnea, que siempre serán los mismos para todos los pacientes, mapas y para pre-post cirugía.

MATERIAL Y MÉTODOS

Selección de la muestra

La muestra de este estudio incluyó 50 ojos de 25 pacientes, con edades comprendidas entre 23 y 42 años (15 mujeres y 10 hombres) escogidos de una lista de sujetos intervenidos con cirugía LASIK con láser de femtosegundos. La búsqueda de pacientes fue llevada a cabo a partir de la base de datos de Institut Català de Retina (Barcelona) y forma parte de un proyecto mayor que engloba el presente. Se trata de un estudio retrospectivo y observacional.

Los criterios de inclusión fueron: estar operado de cirugía LASIK con láser de femtosegundos, tener disponibles las tomografías previas a la cirugía con el topógrafo Pentacam® y 3 meses después de realizarse la misma, rango de refracción prequirúrgica de esferas entre -1,75 dioptrías (D) y -6,25 D y astigmatismos entre 0 D y -3 D. Por su parte, los criterios de exclusión fueron: hipermetropes, sujetos operados de catarata que se les trata con LASIK porque el resultado de la facoemulsificación no fue el esperado (Bioptics), graduaciones residuales postcirugía superiores a -1 D, pacientes operados con el objetivo refractivo de monovisión y pacientes con alteraciones en el segmento anterior ocasionadas por el flap corneal que pudiesen influir en la refracción y en la calidad visual.

Todos los pacientes fueron informados sobre los riesgos de la intervención, así como de las posibles ventajas e inconvenientes, firmando un consentimiento informado antes de la operación, según los principios de la declaración de Helsinki. Los datos se han tratado en todo momento de forma confidencial y anónima.

Procedimiento

En primer lugar, se procedió a una búsqueda sistemática de pacientes operados entre 2016 y 2017 de cirugía LASIK con láser femtosegundos, en cuyo historial hubiera tomografías pre y post LASIK realizadas con el tomógrafo Pentacam®. A partir de ahí, se generó una lista a la que se fueron aplicando los criterios de exclusión e inclusión citados anteriormente. La realización de la lista definitiva de pacientes llevó aproximadamente dos meses, obteniendo un total de 50 ojos, que se corresponden con los primeros 25 pacientes que cumplían con los criterios.

Se anotaron los siguientes datos de cada paciente: sexo, edad, graduación pre y postcirugía, agudeza visual pre y postcirugía. Posteriormente, se generaron y exportaron del Pentacam® los archivos en formato Excel correspondientes a los datos tomográficos de mapas de curvatura anterior y posterior, elevación anterior y posterior, y paquimetría, pre y postcirugía a los 3 meses, para cada punto corneal en pasos de 0,1 mm.

A partir de estos datos, se diseñaron puntos de medición

específicos. Así, a cada mapa topográfico se superpuso un juego de coordenadas cartesianas, tal y como muestra la Figura 1, tomando el centro del mapa como origen de coordenadas, y se seleccionaron los puntos corneales específicos que tomaríamos para el estudio: 1, 2, 3, 4 mm temporal con respecto al centro; 1, 2, 3, 4 mm nasal; 1, 2, 3, 4 mm superior, y 1, 2, 3, 4 mm inferior. Se obtienen un total de 17 puntos de medida para cada mapa, que nos permitirán la comparación directa y análisis posterior de datos.

Análisis de datos

Para el análisis estadístico se utilizaron las herramientas proporcionadas por la propia hoja de cálculo Excel, así como el programa estadístico IBM SPSS, en su versión 22. En primer lugar, se exploró la distribución de los datos con el test de Kolmogorov-Smirnov, hallándose, en la mayoría de las variables, una distribución normal. Por lo tanto, los resultados se describen en forma de promedio \pm desviación estándar (SD), si bien en algún caso también se presentan los valores de rango (mínimo – máximo).

Para la estadística inferencial se utilizó el test de la T de Student para grupos pareados. Así, se compararon los mapas pre y post LASIK para cada uno de los 17 puntos de medida de cada mapa por separado. Igualmente, para cuantificar mejor los cambios pre-post, se restó del valor obtenido en las medidas post el valor preoperatorio. Así, por ejemplo, un valor diferencial de radio positivo indicaba que, para ese punto específico y mapa, el valor del radio post LASIK era mayor (radio más plano) que el valor preoperatorio. Finalmente, se exploró la correlación entre el equivalente esférico corregido y la diferencia pre-post para cada uno de los puntos, con la hipótesis que a mayor corrección (ablación), mayor diferencia pre-post. Para ello se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, considerándose moderada una correlación con $r > 0,5$. En todo caso, se define una $p < 0,05$ como punto de corte de significación estadística.

RESULTADOS

Se muestran en la Tabla 1. La descripción demográfica de la muestra comprende 25 pacientes (15 mujeres y 10 hombres) con un rango de edad entre 23 y 42 años, con una edad promedio de $37,5 \pm 6,4$ años. El promedio de equivalente esférico (EE) de la refracción preoperatoria fue de $-4,29 \pm 0,86$ D, con un rango comprendido entre -2,25 D y -6,50.

Se presentan a continuación tres tablas correspondientes a los mapas de curvatura, elevación y paquimetría, con la siguiente información: el promedio y desviación

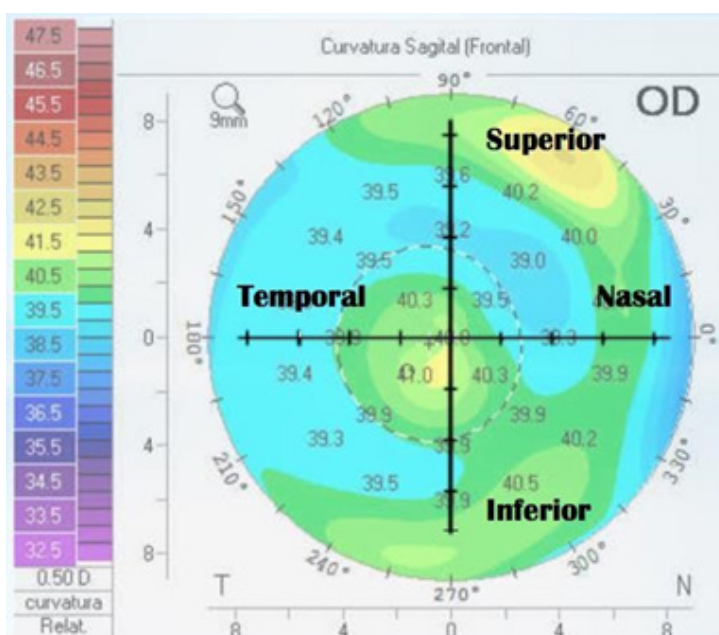


Figura 1: Ejemplo de mapa tomográfico representado con los correspondientes ejes de coordenadas a partir de los cuales se consideró dividir cada mapa para la posterior toma de datos. El centro de la pupila es tomado como origen de coordenadas.

estándar (SD) de todos los datos, el valor de la diferencia entre los datos postoperatorios y preoperatorios (igualmente como promedio \pm SD) y el valor p de la prueba de t de Student para grupos pareados, (los valores marcados en negrita representan diferencias estadísticamente significativas).

Apreciamos que en curvatura anterior todos los datos representan diferencias significativas, mientras que, en curvatura posterior, a partir de 1 mm nasal, ya no se encuentran diferencias. Se observa, además, que los radios postoperatorios son siempre mayores que los preoperatorios, incluso en la superficie posterior (diferencias positivas).

En el caso de la paquimetría (Tabla 2) vemos que se encuentran diferencias significativas en todos los puntos de medida, siendo los valores postoperatorios inferiores a los preoperatorios (diferencias negativas), excepto en 4 mm nasal, superior e inferior.

Finalmente, presentamos los datos de elevación (Tabla 3). En este caso, no se comparan los datos pre y postoperatorios, se comentarán en Discusión.

Por último, analizamos el coeficiente de Pearson entre cada una de las diferencias pre- post y el EE. En los mapas de curvatura anterior, observamos una correlación inversa fuerte ($>0,8$) en los puntos 2 temporal (T), 1T y una correlación inversa moderada ($>0,5$) en origen de

coordenadas, 1 nasal (N) y 2N. También destaca una correlación inversa moderada en 2 superior (S), 1S, 1 inferior (I), 2I. Se puede resumir indicando que, tanto en el eje horizontal como en el vertical, a medida que nos acercamos al origen de coordenadas, la correlación se hace más intensa. En curvatura posterior no hay correlación, dado que los valores del análisis estadístico son $<0,3$ y en paquimetría se observa cierta correlación en origen de coordenadas y en 1N y 1S.

Posición de medida	Curvatura anterior (mm±DE)				Curvatura posterior (mm±DE)			
	pre	3 meses post	Diferencia	p	pre	3 meses post	Diferencia	p
Temporal 4 mm	7,95±0,25	8,08±0,28	0,14±0,10	<0,01	6,51±0,28	6,56±0,27	0,04±0,11	0,01
Temporal 3 mm	7,79±0,24	8,25±0,29	0,46±0,14	<0,01	6,33±0,24	6,37±0,24	0,03±0,08	<0,01
Temporal 2 mm	7,73±0,23	8,39±0,30	0,67±0,19	<0,01	6,20±0,26	6,27±0,24	0,07±0,11	<0,01
Temporal 1 mm	7,71±0,22	8,33±0,30	0,62±0,21	<0,01	6,33±0,28	6,42±0,26	0,09±0,17	<0,01
Central	7,68±0,22	8,22±0,27	0,55±0,16	<0,01	6,34±0,28	6,39±0,28	0,05±0,13	0,01
Nasal 1 mm	7,73±0,22	8,35±0,27	0,61±0,17	<0,01	6,42±0,25	6,44±0,28	0,02±0,12	0,35
Nasal 2 mm	7,76±0,23	8,41±0,27	0,65±0,16	<0,01	6,30±0,25	6,31±0,26	0,01±0,12	0,47
Nasal 3 mm	7,82±0,23	8,26±0,28	0,44±0,15	<0,01	6,37±0,25	6,38±0,25	0,01±0,07	0,23
Nasal 4 mm	7,97±0,25	8,09±0,29	0,13±0,13	<0,01	6,51±0,27	6,53±0,30	0,02±0,12	0,26
Superior 4 mm	7,80±0,24	7,94±0,32	0,13±0,23	<0,01	6,62±0,29	6,61±0,28	0,01±0,14	0,79
Superior 3 mm	7,67±0,22	8,16±0,35	0,49±0,23	<0,01	6,14±0,26	6,15±0,24	0,01±0,11	0,39
Superior 2 mm	7,63±0,22	8,31±0,29	0,68±0,16	<0,01	6,02±0,25	6,05±0,26	0,04±0,14	0,09
Superior 1 mm	7,64±0,22	8,26±0,27	0,62±0,16	<0,01	6,12±0,33	6,17±0,32	0,05±0,18	0,05
Inferior 1 mm	7,62±0,24	8,23±0,33	0,61±0,20	<0,01	6,12±0,31	6,15±0,27	0,03±0,14	0,08
Inferior 2 mm	7,64±0,25	8,29±0,32	0,66±0,19	<0,01	6,10±0,27	6,13±0,24	0,03±0,12	0,11
Inferior 3 mm	7,68±0,27	8,10±0,32	0,43±0,17	<0,01	6,19±0,27	6,21±0,26	0,03±0,09	0,02
Inferior 4 mm	7,78±0,29	7,87±0,32	0,10±0,12	<0,01	6,32±0,30	6,34±0,28	0,01±0,11	0,57

Tabla 1: Valores de curvatura anterior y posterior preoperatorios y a los 3 meses tras la intervención. Se presenta la diferencia de valores post-pre operatorio y el resultado del análisis estadístico con el test T de Student para grupos pareados. DE: Desviación Estándar

Posición de medida	Paquimetría ($\mu\text{m} \pm \text{DE}$)			
	pre	3 meses post	Diferencia	p
Temporal 4 mm	713,76 \pm 50,21	703,04 \pm 55,347	-10,72 \pm 20,87	0,01
Temporal 3 mm	640,34 \pm 39,90	613,80 \pm 45,99	-26,54 \pm 17,63	<0,01
Temporal 2 mm	586,44 \pm 33,97	535,30 \pm 39,44	-51,14 \pm 16,94	<0,01
Temporal 1 mm	556,58 \pm 30,66	489,70 \pm 35,61	-66,88 \pm 16,43	<0,01
Central	548,64 \pm 29,99	477,28 \pm 34,82	-71,36 \pm 17,24	<0,01
Nasal 1 mm	555,64 \pm 32,46	489,62 \pm 36,63	-66,02 \pm 16,82	<0,01
Nasal 2 mm	581,88 \pm 36,50	534,36 \pm 40,93	-47,52 \pm 16,77	<0,01
Nasal 3 mm	632,66 \pm 43,69	611,22 \pm 48,35	-21,44 \pm 17,50	<0,01
Nasal 4 mm	705,92 \pm 55,75	701,72 \pm 57,36	-4,20 \pm 22,66	0,20
Superior 4 mm	745,23 \pm 49,05	741,50 \pm 52,79	-4,19 \pm 23,84	0,26
Superior 3 mm	669,84 \pm 39,12	647,06 \pm 48,23	-22,78 \pm 26,30	<0,01
Superior 2 mm	602,88 \pm 33,62	552,94 \pm 43,78	-49,94 \pm 24,34	<0,01
Superior 1 mm	563,80 \pm 30,91	496,70 \pm 38,09	-67,10 \pm 20,49	<0,01
Inferior 1 mm	554,18 \pm 30,91	488,18 \pm 32,78	-66,00 \pm 15,97	<0,01
Inferior 2 mm	581,08 \pm 33,62	534,52 \pm 31,18	-46,56 \pm 15,94	<0,01
Inferior 3 mm	632 \pm 37,12	611,94 \pm 32,76	-20,06 \pm 20,07	<0,01
Inferior 4 mm	704,73 \pm 42,85	696,58 \pm 35,31	-6,69 \pm 27,98	0,10

Tabla 2: Valores de paquimetría preoperatorios y a los 3 meses tras la intervención. Se presenta la diferencia de valores post-pre y el resultado del análisis estadístico con el test T de Student para grupos pareados. DE: Desviación Estándar

Posición de medida	Elevación anterior ($\mu\text{m} \pm \text{DE}$)		Elevación posterior ($\mu\text{m} \pm \text{DE}$)	
	pre	3 meses post	pre	3 meses post
Temporal 4 mm	106 \pm 39,16	1036,68 \pm 42,98	1422,80 \pm 78,34	1410,12 \pm 84,04
Temporal 3 mm	607,06 \pm 21,25	559,06 \pm 22,35	768,68 \pm 43,13	759,32 \pm 48,98
Temporal 2 mm	264,28 \pm 8,29	243,28 \pm 9,79	329,16 \pm 21,25	324,44 \pm 25,90
Temporal 1 mm	65,46 \pm 2,28	60,64 \pm 2,99	79,42 \pm 9,12	78,58 \pm 11,68
Central	0	0	0,20 \pm 0,46	0,60 \pm 0,926
Nasal 1 mm	64,78 \pm 2,28	60,34 \pm 2,90	77,70 \pm 9,12	78,08 \pm 11,48
Nasal 2 mm	262,56 \pm 8,31	242,32 \pm 8,97	321,82 \pm 21,12	322,22 \pm 25,74
Nasal 3 mm	602,34 \pm 19,49	557,36 \pm 20,80	754,60 \pm 43,26	754,32 \pm 49,34
Nasal 4 mm	1098,92 \pm 38,379	1033,28 \pm 39,91	1406,04 \pm 79,42	1404,68 \pm 85,11
Superior 4 mm	1122,27 \pm 37,23	1049,26 \pm 51,36	1478,53 \pm 77,42	1468,70 \pm 88,05
Superior 3 mm	613,12 \pm 18,58	563,18 \pm 25,84	812,98 \pm 39,08	804,86 \pm 53,90
Superior 2 mm	266,26 \pm 7,80	244,40 \pm 10,88	350,06 \pm 18,17	345,46 \pm 28,10
Superior 1 mm	65,54 \pm 2,05	60,50 \pm 3,73	87,30 \pm 6,06	85,80 \pm 10,82
Inferior 1 mm	66,20 \pm 2,85	61,84 \pm 3,70	77,32 \pm 6,43	78,30 \pm 10,45
Inferior 2 mm	267,76 \pm 10,137	247,34 \pm 11,58	327,26 \pm 19,57	328,12 \pm 24,35
Inferior 3 mm	614,92 \pm 24,06	568,82 \pm 26,37	769,86 \pm 43,74	769,54 \pm 46,90
Inferior 4 mm	1126,76 \pm 48,29	1060,90 \pm 52,24	1443,08 \pm 87,96	1438,79 \pm 88,45

Tabla 3: Valores de elevación anterior y posterior preoperatorios y a los 3 meses tras la intervención. DE: Desviación Estándar

DISCUSIÓN

Según lo citado anteriormente, el tratamiento quirúrgico LASIK ejerce su mayor acción sobre la superficie corneal anterior, por lo tanto, cabe esperar encontrar diferencias estadísticamente significativas en los mapas de curvatura anterior. Sin embargo, no ocurre lo mismo en los de curvatura posterior, donde vemos que sólo se aprecian cambios significativos en la zona temporal, mientras que en el resto del mapa no existen tales diferencias. Esto coincide con algunos estudios (17), que describen la existencia de evidentes cambios en la superficie corneal anterior después de la cirugía, mientras que en la superficie corneal posterior estos cambios son mucho menores. Asimismo, otros autores (18,19) observaron los cambios en la elevación corneal posterior después de LASIK y no encontraron diferencias significativas en la parte posterior de la córnea.

Una posible razón por la que se aprecian tales diferencias sólo en la parte temporal de curvatura posterior podría ser la posición de la "bisagra" donde el flap se mantiene unido al resto de la córnea. Sin embargo, en nuestro caso, todas las bisagras del flap se realizaron en la posición superior, por lo que los hallazgos del presente trabajo no son fáciles de explicar por la posición del flap y requieren futuros estudios.

Por otra parte, en cuanto a la Tabla 3, correspondiente a los datos de elevación, se ha optado por obviar los resultados estadísticos y la comparación directa pre-post. Los mapas de elevación indican la diferencia en cada punto entre la córnea del paciente y una esfera perfecta de referencia o *best fit sphere* (BSF), por tanto, dan una idea de la "irregularidad superficial" de la córnea que se analiza. Esta esfera de referencia la genera el propio software del topógrafo en función de la geometría corneal de esa captura, por lo que suele ser distinta entre un paciente y otro, e incluso para un mismo paciente antes y después de la intervención. Además, en el momento de exportar los datos de elevación en formato Excel, el software define una línea tangente que pasa por el ápex corneal, indicando para cada punto la distancia vertical entre esta línea y la superficie corneal. Dado que la posición del ápex también puede variar entre un paciente y otro, y más específicamente entre antes y después de la intervención, la comparación directa de los mapas de elevación requiere de un proceso de normalización de los datos que se encuentra más allá de los objetivos del presente estudio.

En paquimetría, también se observan cambios significativos en casi todo el mapa, excepto en los puntos más alejados del centro de coordenadas. Esto

se explica por la ablación ocasionada, ya que el láser destruye tejido del estroma corneal en la zona central que se corresponde con la pupila, y disminuye el efecto a medida que nos alejamos de ella. En el estudio de Xu y colaboradores (15), citado anteriormente, se concluyó que la repetibilidad y reproducibilidad de valores de paquimetría en la córnea central fue muy buena, mientras que las zonas periféricas superiores tenían valores más pobres. Por consiguiente, las medidas de paquimetría en la periferia de la córnea deben ser interpretadas con cautela ya que los valores no son tan repetibles en córneas operadas de LASIK. Sin embargo, otros autores (14) afirman que el Pentacam® muestra una alta repetibilidad para mediciones tanto de espesor corneal central como periférico en sujetos operados de LASIK. De nuevo, son necesarios futuros estudios para arrojar luz a este debate.

El objetivo principal de analizar el coeficiente de Pearson es determinar si a mayor ablación, mayores cambios en la superficie corneal. Según lo estudiado anteriormente, se puede esperar que dicha afirmación sea cierta, y encontremos cambios en las córneas postcirugía con respecto a la precirugía. Una *r* positiva indica que la correlación es directa (variables directamente proporcionales), y una *r* negativa es correlación inversa (variables inversamente proporcionales).

Observamos correlaciones más destacadas en los mapas de curvatura anterior, en los que vemos que hay varios puntos de correlación inversa fuerte, lo que indica que a mayor EE negativo, mayor diferencia, es decir, cuanto mayor graduación tenga el paciente, la ablación será más profunda y, por tanto, la diferencia resultante será mayor. En cuanto a los datos de curvatura posterior, por lo general, no se observa correlación significativa. En el caso de los mapas de paquimetría existe una leve correlación, aunque no es tan relevante como en el caso de curvatura anterior. Un ejemplo de correlación entre EE y diferencia de valores de curvatura anterior pre-post se muestra en la Figura 2.

Como posibles limitaciones del estudio encontramos la falta de un ápex corneal común a todos los mapas de elevación, sin la cual el análisis estadístico comparativo de estos mapas no es posible. En futuros trabajos se analizarán estrategias para normalizar los datos de elevación procedentes de esferas de referencia o ápex en posiciones distintas, para así facilitar la comparación entre el mismo paciente en el tiempo o entre pacientes distintos.

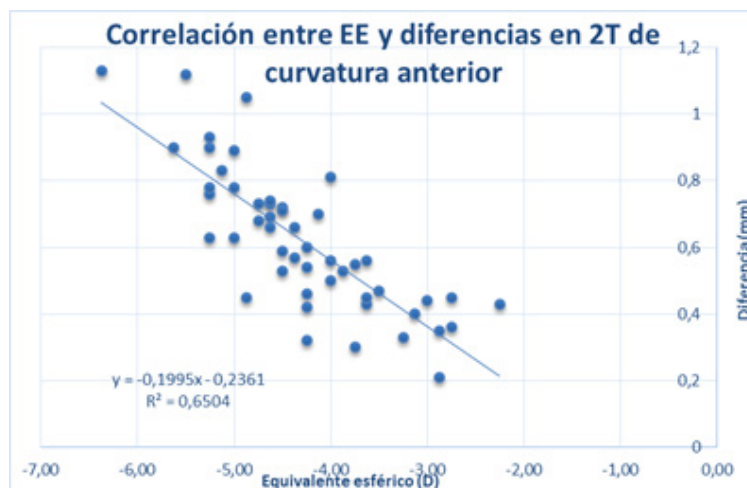


Figura 2: Ejemplo de correlación entre los valores de EE (en D) y la diferencia entre los valores preoperatorios y postoperatorios en el mapa de curvatura anterior en posición 1T (en mm). La correlación, inversa, indica que a mayor EE (valores negativos), mayor cambio de curvatura (valores positivos).

CONCLUSIONES

Se puede afirmar que los mayores cambios corneales, comparando la córnea post LASIK respecto a la pre LASIK, se encuentran en curvatura anterior corneal, mientras que en curvatura posterior apenas hay cambios. En las paquimetrías se observan cambios en toda la córnea, excepto en los puntos tomados más alejados del centro de coordenadas. Cabe señalar que este estudio establece una nueva aproximación de medida para analizar mapas tomográficos, con unos puntos predefinidos en córnea que serán siempre los mismos, y que permite estudiar la superficie corneal de una forma distinta, más precisa y normalizada a las propuestas en la literatura hasta el momento.

REFERENCIAS

1. Farjo AA, Sugar A, Schallhorn SC, Majmudar PA, Tanzer DJ, Trattler WB, et al. Femtosecond lasers for LASIK flap creation: a report by the American Academy of Ophthalmology. *Ophthalmology* 2013; 120(3):5–20.
2. Kahuam-López N, Navas A, Castillo-Salgado C, Graue-Hernandez EO, Jimenez- Corona A, Ibarra A. Femtosecond laser versus mechanical microkeratome use for laser- assisted in-situ keratomileusis (LASIK). *Cochrane Database Syst Rev* 2018; 2.
3. Xia LK, Yu J, Chai GR, Wang D, Li Y. Comparison of the femtosecond Laser and mechanical microkeratome for flap cutting in LASIK. *Int J Ophthalmol* 2015; 8(4):784-790.
4. Kim CH, Song JH, Na KS, Chung SH, Joo C-K. Factors Influencing Corneal Flap Thickness in Laser In Situ Keratomileusis with a Femtosecond Laser. *Korean J Ophthalmol* 2011;25(1):8-14.
5. Gimbel HV, Penno EE. Complicaciones en LASIK. In: Peters T, Iskander N. Barcelona: ESPAXS S.A; 2003.
6. American Academy of Ophthalmology. Cirugía refractiva. Curso de ciencias básicas y clínicas. Sección 13. Barcelona: ELSEVIER España S.L; 2009
7. Zheng Y, Zhou Y, Zhang J, Liu Q, Zhai C, Wang Y. Comparison of laser in situ keratomileusis flaps created by 2 femtosecond lasers. *Cornea* 2015; 34:328–333.
8. Li X, Wang Z, Cao Q, Hu L, Tian F, Dai H. Pentacam could be a useful tool for evaluating and qualifying the anterior chamber morphology. *Int J Clin Exp Med* 2014; 7(7):1878-1882
9. Al-Ageel S, Al-Muammar AM. Comparison of central corneal thickness measurements by Pentacam, noncontact specular microscope, and ultrasound pachymetry in normal and post-LASIK eyes. *Saudi J Ophthalmol* 2009; 23: 181–187.
10. Dong J, Tang M, Zhang Y, Jia Y, Zhang H, Jia Z, Wang X. Comparison of anterior segment biometric measurements between Pentacam HR and IOLMaster in normal and high myopic eyes. *PLoS ONE* 2015;10(11):1-10.
11. McAlinden C, Khadka J, Pesudovs K. A comprehensive evaluation of the precision (repeatability and reproducibility) of the Oculus Pentacam

HR. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011; 52(10).

12. Piñero D, González CS, Alió JL. Intraobserver and interobserver repeatability of curvature and aberrometric measurements of the posterior corneal surface in normal eyes using Scheimpflug photography. *J Cataract Refract Surg* 2009; 35:113–120.
13. Li H, Chen M, Tian L, Li DW, Peng YS, Zhang FF. Study on the change of optical zone after femtosecond laser assisted laser in situ keratomileusis. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi* 2018 Jan 11; 54(1):39-47.
14. Huang JH, Ge LN, Wen DZ, Chen SH, Yu Y, Wang QM. Repeatability and agreement of corneal thickness measurement with Pentacam Scheimpflug protography and Visante optical coherence tomography. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi* 2013 Mar; 49(3):250-256.
15. Xu Z, Peng M, Jiang J, Yang C, Zhu W, Lu F, Shen M. Reliability of Pentacam HR thickness maps of the entire cornea in normal, post-laser in situ keratomileusis, and keratoconus eyes. *Am J Ophthalmol* 2015.
16. Queirós A, Villa-Collar C; Morim-de-Sousa A; Gargallo B; Gutiérrez AR; González- Méijome JM. Corneal morphology and visual outcomes in LASIK patients after orthokeratology and soft lens wear: a pilot study. Presentado en XXXV Congress of the ESCRS Lisbon, 2017.
17. Khairat YM, Mohamed YH, Moftah I ANO, Fouad NN. Evaluation of corneal changes after myopic LASIK using the Pentacam. *Clin Ophthalmol* 2013; 7: 1771–1776.
18. Ciolino JB, Belin MW. Changes in the posterior cornea after laser in situ keratomileusis and photorefractive keratectomy. *J Cataract Refract Surg* 2006; 32:1426– 1431.
19. Pérez-Escudero A, Dorronsoro C, Sawides L, Remón L, Merayo-Llodes J, Marcos S. Minor influence of myopic laser in situ keratomileusis on the posterior corneal surface. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009; 50:4146–4154

ABREVIATURAS

- LASIK: Laser-Assisted In Situ Keratomileusis
- EE: Equivalente esférico
- SD: Desviación estándar
- BSF: Best fit sphere
- D: dioptrías
- DE: Desviación Estándar
- S: Superior
- N: Nasal
- T: Temporal
- I: Inferior

Microscopía Brillouin

Brillouin Microscopy

María Ángeles Giménez Gimeno, MSc^{1*}; Laura Trávez Valiente, MSc²; Galadriel Giménez Calvo, PhD²

1: Hospital Universitario Miguel Servet, Zaragoza, España.

2: Hospital Nuestra Señora de Gracia, Zaragoza, España.

*magimenezgimeno@gmail.com

Recibido: 23 de junio del 2025

Aceptado: 14 de agosto del 2025

Publicado: 14 de octubre del 2025

Financiación: Ninguno de los autores declaran tener financiaciones.

Declaración de Conflictos de Intereses: Ninguno de los autores declaran tener conflictos de intereses.

Relevancia: La microscopía Brillouin representa un avance significativo en el estudio de la biomecánica corneal, al ofrecer un análisis tridimensional y no invasivo de la viscoelasticidad del tejido, con aplicaciones diagnósticas prometedoras.

Resumen: El estudio de la biomecánica corneal permite la detección de alteraciones en la estructura de la córnea facilitando el diagnóstico de patologías como el queratocono y otras ectasias. Las técnicas de aplanación forzada son ampliamente utilizadas, pero no permiten calcular la elasticidad del tejido. El reciente desarrollo de la microscopía Brillouin (MB) permite estimar la viscoelasticidad del tejido corneal mediante el cambio de frecuencia de la luz que lo atraviesa, obteniéndose un mapa tridimensional de toda la córnea sin contacto directo.

Otras aplicaciones de esta tecnología abarcan desde el diagnóstico de distrofias corneales a la evaluación post cirugía refractiva corneal. Sin embargo, las fluctuaciones de su precisión en función del estado de hidratación de la córnea y el tiempo requerido para su uso suponen las principales limitaciones de este método. Una combinación de tomografía de coherencia óptica y MB parece orientar el futuro de la investigación de la biomecánica corneal.

Esta revisión bibliográfica pretende proporcionar una recopilación de las principales funciones de esta técnica en el ámbito de la oftalmología y la optometría clínica. Para ello, se identificaron 681 estudios, siendo seleccionados 211 documentos correspondientes a los cinco últimos años, de los cuales 183 pertenecían a artículos científicos, 27 a revisiones y 1 a revisión sistemática, utilizando los buscadores y bases de datos Cochrane, Scopus, PubMed, Dialnet, SciELO y Web of Science, con palabras clave como "Brillouin microscopy", "Brillouin spectroscopy", "corneal biomechanics", "mechanical anisotropy" y "corneal cross-linking". Finalmente, de los artículos seleccionados se recopilieron 24 que comprendían los aspectos más relevantes para la elaboración de este trabajo.

Palabras clave: Biomecánica corneal, Microscopía Brillouin, Queratocono.

Relevance: Brillouin microscopy represents a major advance in the investigation of corneal biomechanics, enabling three-dimensional, non-invasive assessment of tissue viscoelasticity and showing considerable potential for diagnostic applications.

Abstract: The study of corneal biomechanics enables the detection of structural alterations in the cornea, facilitating the diagnosis of pathologies such as keratoconus and other ectatic disorders. Forced-applanation techniques are widely used; however, they do not allow for the direct assessment of tissue elasticity. The recent development of Brillouin microscopy (BM) provides a means to estimate the viscoelastic properties of corneal tissue by detecting frequency shifts

in light as it traverses the cornea, thereby generating a three-dimensional, non-contact map of the entire structure.

Beyond its application in ectasia detection, this technology has also been investigated for the diagnosis of corneal dystrophies and the evaluation of post-refractive surgical outcomes. Nevertheless, variations in measurement accuracy due to corneal hydration status, as well as the time required for data acquisition, remain key limitations. A multimodal approach combining optical coherence tomography with BM appears to represent a promising direction for future research in corneal biomechanics.

The aim of this literature review is to provide a comprehensive overview of the main applications of this technique in the fields of ophthalmology and clinical optometry. A total of 681 studies were initially identified, of which 211 documents published within the last five years were selected: 183 original research articles, 27 narrative reviews, and 1 systematic review. The databases consulted included Cochrane, Scopus, PubMed, Dialnet, SciELO, and Web of Science. Search strategies employed keywords such as "Brillouin microscopy," "Brillouin spectroscopy," "corneal biomechanics," "mechanical anisotropy," and "corneal cross-linking." Ultimately, 24 of the selected articles were analyzed in detail, covering the most relevant aspects for the preparation of this paper.

Keywords: Corneal biomechanics, Brillouin microscopy, Keratoconus.

INTRODUCCIÓN

La córnea es un componente crucial de la potencia óptica total del ojo, ya que actúa como superficie refractiva primaria junto con la película lagrimal. Las anomalías o alteraciones en su morfología pueden causar profundos efectos en la formación de la imagen óptica. Los glicosaminoglicanos (GAG) y los proteoglicanos (PG) de la matriz extracelular, así como las láminas de colágeno del estroma, confieren a la córnea cualidades viscoelásticas. De este modo, la córnea es capaz de absorber y disipar energía en forma de calor cuando se deforma en respuesta a una carga externa (1).

Las propiedades biomecánicas de la córnea permiten cuantificar su viscoelasticidad y, por tanto, su implicación en la adaptación de lentes de contacto de ortoqueratología (2), en la predicción de resultados quirúrgicos y en el diagnóstico de enfermedades como el queratocono y otras ectasias. Las principales propiedades son la histéresis corneal (HC), que describe la capacidad de amortiguación viscosa de la córnea, y el factor de resistencia corneal (FRC), un indicador de la resistencia global de la córnea (1).

Durante las últimas décadas, la colaboración interdisciplinaria entre investigadores en ingeniería óptica, modelado biomecánico analítico e investigación clínica ha permitido ampliar nuestro conocimiento sobre la biomecánica corneal (2,3). Así pues, para su medición pueden utilizarse varios métodos *in vivo*. El más utilizado en la práctica clínica es el Ocular Response Analyzer® (ORA) (Reichert, Depew, NY), una tonometría

de aplanación bidireccional que utiliza un haz infrarrojo para registrar los cambios en un área central de 3 mm de la córnea producidos por un soplo de aire sobre la misma (4). Sin embargo, presenta limitaciones, ya que puede no detectar cualquier irregularidad más periférica, y aquellas de la superficie central pueden causar dispersión de la luz que distorsione la forma de la onda especular, haciendo que el instrumento confunda la respuesta tisular con una respuesta superficial (1).

Otro método unidimensional basado en la tonometría de aire es el Corvis ST® (Oculus, Wetzlar, Alemania), que ofrece un mayor nivel de detalle sobre la respuesta corneal mediante el uso de imágenes Scheimpflug de alta velocidad, y proporciona un valor denominado índice biomecánico corneal (IBC) que mejora la detección del queratocono. Sin embargo, al igual que el ORA, no mide la elasticidad corneal y carece de la capacidad de cartografiar tridimensionalmente la córnea (1).

Existen otros métodos como la elastometría de ondas superficiales por ultrasonidos (EOSU), la elastografía de coherencia óptica (ECO) y la elastografía por resonancia magnética (ERM), pero su aplicación a la cartografía de la superficie corneal es escasa debido a la falta de resolución adecuada y a la dificultad para determinar los límites de las lesiones corneales (1). Pese a los avances en la tecnología, como con la aparición de la tomografía de coherencia óptica de alta resolución (UHR-OCT) de 1 a 4 μm (5), debido a la necesidad de mejorar la sensibilidad de estos instrumentos y solventar sus limitaciones con la biomecánica corneal, la aplicación de la MB supone una alternativa de interés que merece un estudio detallado.

DISCUSIÓN

Microscopía Brillouin

El físico francés Lèon Brillouin (1889 – 1964) descubrió por primera vez en 1922 el concepto de ondas luminosas que interactúan con las ondas naturales dentro de un material. El campo de la MB se estableció hace aproximadamente 20 años, gracias al desarrollo de espectrómetros ópticos de alta resolución sin barrido. Se basa en el principio de dispersión de luz Brillouin (DLB), un proceso de dispersión inelástica en el que la luz interactúa con ondas acústicas de gigahercios a una frecuencia dada. Debido a esta interacción, la frecuencia de la luz dispersa sufre un desplazamiento de exactamente la frecuencia acústica Ω_B . La detección de dicho desplazamiento de frecuencia, denominado desplazamiento de frecuencia de Brillouin (DFB), y su forma de línea espectral puede proporcionar información valiosa sobre las propiedades viscoelásticas locales de las muestras biológicas (6).

Como método sin contacto, la MB es adecuada para la obtención de imágenes 3D in vivo e in situ de una amplia gama de sistemas biológicos, que pueden representar las estructuras de la muestra y ayudar a caracterizar la morfología tisular. Estos logros hacen de la MB una técnica prometedora en aplicaciones como el diagnóstico biomédico, la ingeniería de tejidos y la caracterización de materiales (6). Una de sus peculiaridades reside en la resolución espacial efectiva de las imágenes mecánicas ya que, a diferencia de la microscopía óptica de campo lejano, donde el límite de difracción de Abbe define las resoluciones espaciales longitudinales y transversales alcanzables cuando se conoce la configuración óptica, en la espectroscopía Brillouin la luz interactúa con fotones acústicos y, como resultado, la onda luminosa cambia de frecuencia o nivel de energía por pérdida o ganancia de energía fotónica a través de un proceso llamado formación o absorción de cuasipartículas (1,6).

Según la naturaleza de la muestra biológica y la aplicación prevista, la configuración de la MB puede basarse en una sola fuente láser, como en la MB espontánea, o en múltiples láseres, como en la MB estimulada. En aplicaciones biomédicas se utilizan técnicas de dispersión espontánea de Brillouin, como la microscopía confocal, en la que la espectroscopía Brillouin se basa en la interferometría de barrido de etalón Fabry-Pérot para describir células vivas, fibras de colágeno, hidrogeles, biopelículas, la córnea y el cristalino (6).

Para lograr mediciones de MB de alta calidad, se deben

considerar: la longitud de onda del láser, la potencia, el ancho de banda espectral y las características de ruido.

En particular, se busca que las longitudes de onda dentro de la región de transparencia biológica (650 – 800 nm) sean ideales para evitar dañar la muestra. Además, cabe destacar que las señales de Brillouin son intrínsecamente débiles y requieren de un filtrado adicional de banda de Rayleigh para ser detectadas (6). Asimismo, se han desarrollado diferentes estrategias con seguimiento de movimiento in vivo para corregir los perfiles Brillouin desordenados a causa de artefactos provocados por el movimiento del paciente (7).

Aplicaciones

La principal aplicación de la MB es en el campo de la oftalmología, especialmente en la caracterización de la biomecánica corneal para el queratocono y otras ectasias que cursan clínicamente con un adelgazamiento y aumento de curvatura de la córnea. Las córneas sanas son mecánicamente fuertes gracias a las fibras de colágeno estromal densamente empaquetadas que mantienen la forma bajo la acción de la presión intraocular (PIO) hacia fuera. Por el contrario, las córneas con ectasia presentan una organización del colágeno alterada y un número reducido de entrecruzamiento de sus fibras que constituye un debilitamiento focal.

La MB representa un método excepcionalmente capaz de medir la pérdida de resistencia mecánica en estas córneas in vivo (6), con una probable independencia a los cambios de la PIO, así como a la hora de distinguir entre queratocono subclínico o precoz y queratocono normal, y monitorizar su progresión, resultando incluso mejor que cualquier métrica clínica de tomografía corneal como la de Scheimpflug (8 -11), lo que es de vital importancia para identificar córneas con riesgo de complicaciones postoperatorias como la ectasia iatrogénica tras cirugía refractiva láser (12).

El cross-linking corneal es el único tratamiento aprobado médicamente para mejorar las propiedades biomecánicas de la córnea y preservar su transparencia. Consiste en la interacción de riboflavina con luz ultravioleta A (UVA) a una longitud de onda de 365 nm, lo que induce la generación de especies reactivas de oxígeno y promueve la creación de nuevos enlaces cruzados de fibras de colágeno de la córnea mejorando así su rigidez. Mediante la microscopía tridimensional Brillouin, investigaciones recientes han estudiado los cambios de las propiedades biomecánicas tras cross-linking corneal en comparación con los de un láser de femtosegundo en el infrarrojo cercano, demostrando resultados muy similares, por lo que el láser supone una alternativa prometedora ya que permite reducir el riesgo

de daño endotelial (13). La MB ha permitido demostrar incluso que el cross-linking realizado sobre el colgajo LASIK en ectasias iatrogénicas genera un efecto de rigidez significativamente mayor que el aplicado bajo el colgajo tras la elevación del mismo (14). En este sentido, esta técnica ofrece, además, una mejor evaluación de la eficacia a largo plazo de estos procedimientos, debido a su sensibilidad a la anisotropía mecánica del estroma, incluso en córneas altamente hidratadas (14–18).

La hidratación no afecta únicamente a la transparencia, sino también a su módulo elástico ya que, cuanto más hidratado esté el tejido corneal, menor será su módulo elástico, lo que puede deberse a una alteración de la unión del colágeno a los PG y/o GAG basada en su interacción iónica (19). Estudios recientes han establecido que los cambios de frecuencia Brillouin están modulados por la concentración de agua, por lo que la MB también puede resultar beneficiosa para comprender el papel que desempeña la dinámica de fluidos en diferentes trastornos corneales como la Distrofia Endotelial de Fuchs, así como posiblemente para monitorizar los injertos corneales después de una queratoplastia endotelial con membrana de Descemet (DMEK) (20).

Otra aplicación prometedora de la MB está relacionada con la presbicia causada por el endurecimiento del cristalino. La pérdida de la acomodación con la edad se compensa fundamentalmente con gafas o lentes de contacto, pero éstas no permiten restaurar la amplitud acomodativa, lo que ha llevado recientemente a un gran esfuerzo para desarrollar fármacos que se dirijan a la biomecánica del cristalino. En este sentido, la MB ha demostrado la capacidad de medir los cambios relevantes que ocurren en el cristalino y, por tanto, puede representar una herramienta fundamental para el desarrollo de fármacos en estudio (6, 21). Y más allá de los cambios estructurales debidos a la edad, la MB ha resultado también un método eficaz para la evaluación de los efectos a largo plazo de la lente de colámero implantable (ICL) sobre las propiedades biomecánicas y morfológicas del cristalino, concluyendo que no se ven alteradas significativamente (22).

Los avances en la espectroscopía Brillouin han facilitado incluso la investigación no destructiva de las propiedades biomecánicas de la retina que pueden verse afectadas por diversas enfermedades, lo que ha supuesto un reto, debido a su fragilidad y ubicación dentro del globo ocular. Así pues, la MB puede utilizarse para caracterizar la distribución de la rigidez de las capas de la retina y para diferenciar el tejido en diferentes condiciones según sus propiedades biomecánicas (23).

Ventajas y limitaciones

Además de su alta repetibilidad (24), la mayor ventaja de la MB, que comparte con otras técnicas de elastografía óptica, es que se trata de una técnica que permite la exploración cuantitativa de las propiedades de los materiales dentro de las células, tejidos y organismos. Pero, mientras que la MB aprovecha las fluctuaciones de densidad inherentes impulsadas térmicamente, otros métodos de elastografía óptica aplican externamente una deformación conocida a frecuencias dadas, lo cual tiene consecuencias importantes. La opción de elegir las frecuencias de excitación significa que la respuesta mecánica puede evaluarse en modo de cizallamiento y en escalas de tiempo más cercanas a las comúnmente utilizadas en técnicas no ópticas, como la nanoindentación (0,1 – 10 kHz), que está lejos de las frecuencias de gigahercios relevantes en la MB, que se traducen en una mayor resolución espacial subcelular, mientras que otras técnicas ópticas a menudo tienen dificultades para lograr una resolución incluso celular (6).

No obstante, el excesivo tiempo de adquisición, en comparación con otras técnicas de microscopía, su coste y su tamaño, constituyen un obstáculo importante para su adopción generalizada en la práctica clínica.

CONCLUSIONES

Con futuros avances que refuercen sus principales aplicaciones y solventen sus retos más importantes, como el elevado coste y el tiempo de adquisición de las imágenes, se espera que la MB integrada con inteligencia artificial permita generar protocolos para el diagnóstico, tratamiento y seguimiento de diversos trastornos, no solo del segmento anterior del ojo, mediante la evaluación de las propiedades viscoelásticas de la córnea, cruciales para comprender afecciones como el queratocono y para evaluar la viabilidad de la adaptación de ortoqueratología y los resultados de las cirugías refractivas, sino también de estructuras más internas de importante relevancia para la función visual, como el cristalino y la retina. Todo ello convierte a la MB en una tecnología muy prometedora para la oftalmología y la optometría clínica.

REFERENCIAS

1. Loveless BA, Moin KA, Hoopes PC, et al. The Utilization of Brillouin Microscopy in Corneal Diagnostics: A Systematic Review. *Cureus*. 2024 Jul 30.
2. Zhang PP, Zhang XY, Li XF, et al. Analyzing corneal biomechanical response in orthokeratology with differing back optic zone diameter: A comparative finite element study. *Contact Lens and Anterior Eye*. 2025 Jul 1 [cited 2025 Jun 23];48(4).
3. Lan G, Twa MD, Song C, et al. In vivo corneal elastography: A topical review of challenges and opportunities. *Comput Struct Biotechnol J*. 2023 Jan 1;21:2664.
4. Ramirez-Miranda A, Mangwani-Mordani S, Arteaga-Rivera JY, et al. Importance and use of corneal biomechanics and its diagnostic utility. *Cirugia y Cirujanos*. 2023 Nov 1;91(6):848–57.
5. Han SB, Liu YC, Mohamed-Noriega K, et al. Advances in Imaging Technology of Anterior Segment of the Eye. *J Ophthalmol*. 2021.
6. Kabakova I, Zhang J, Xiang Y, et al. Brillouin microscopy. *Nature Reviews Methods Primers*. 2024 Dec 1;4(1).
7. Zhang H, Asroui L, Randleman JB, et al. Motion-tracking Brillouin microscopy for in-vivo corneal biomechanics mapping. *Biomed Opt Express*. 2022 Dec 1;13(12):6196.
8. Nair A, Ambekar YS, Zevallos-Delgado C, et al. Multiple Optical Elastography Techniques Reveal the Regulation of Corneal Stiffness by Collagen XII. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2022 Nov 1;63(12):24.
9. Esporcatte LPG, Salomão MQ, Lopes BT, et al. Biomechanical diagnostics of the cornea. *Eye and Vision*. 2020 Dec 1;7(1):1–12.
10. Zhang H, Asroui L, Tarib I, et al. Motion-Tracking Brillouin Microscopy Evaluation of Normal, Keratoconic, and Post-Laser Vision Correction Corneas. *Am J Ophthalmol*. 2023 Oct 1;254:128–40.
11. Randleman JB, Zhang H, Asroui L, et al. Subclinical Keratoconus Detection and Characterization Using Motion-Tracking Brillouin Microscopy. *Ophthalmology*. 2024 Mar 1;131(3):310–21.
12. Seiler TG, Geerling G. Brillouin Spectroscopy in Ophthalmology. *Klin Monbl Augenheilkd*. 2023 Mar 8;240(6):779–82.
13. Iriarte-Valdez CA, Wenzel J, Baron E, et al. Assessing UVA and Laser-Induced Crosslinking via Brillouin Microscopy. *J Biophotonics*. 2025 May 1.
14. Zhang H, Roozbahani M, Piccinini AL, et al. Depth-dependent analysis of corneal cross-linking performed over or under the LASIK flap by Brillouin microscopy. *J Cataract Refract Surg*. 2020 Nov 1;46(11):1543.
15. Webb JN, Zhang H, Roy AS, et al. Detecting mechanical anisotropy of the cornea using brillouin microscopy. *Transl Vis Sci Technol*. 2020;9(7):1–11.
16. Heisterkamp A, Wenzel J, Iriarte C, et al. Techniques for In Vivo Assessment of Corneal Biomechanics: Brillouin Spectroscopy and Hydration State - Quo Vadis? *Klin Monbl Augenheilkd*. 2022 Dec 9;239(12):1427–32.
17. Lopes BT, Elsheikh A. In Vivo Corneal Stiffness Mapping by the Stress-Strain Index Maps and Brillouin Microscopy. Vol. 48, *Current Eye Research*. Taylor and Francis Ltd.; 2023. p. 114–20.
18. Eltony AM, Shao P, Yun SH. Measuring mechanical anisotropy of the cornea with Brillouin microscopy. *Nat Commun*. 2022 Dec 1;13(1).
19. Komninou MA, Seiler TG, Enzmann V. Corneal biomechanics and diagnostics: a review. *Int Ophthalmol*. 2024 Dec 1;44(1):132.
20. Eltony AM, Clouser F, Shao P, et al. Brillouin Microscopy Visualizes Centralized Corneal Edema in Fuchs Endothelial Dystrophy. *Cornea*. 2020 Feb 1;39(2):168–71.
21. Ma Y, Cao J, Yu Y, et al. A Brillouin microscopy analysis of the crystalline lenses of Chinese adults with myopia. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. 2024 Oct 1;262(10).
22. Ma Y, Cao J, Yu Y, et al. Brillouin assessment of the crystalline lens in patients with high myopia after long-term implantable collamer lens V4c implantation. *Acta Ophthalmol*. 2024.
23. Ambekar YS, Singh M, Scarcelli G, et al. Characterization of retinal biomechanical properties using Brillouin microscopy. *J Biomed Opt*. 2020 Sep 26;25(9):090502.
24. Vinciguerra R, Palladino S, Herber R, et al. The KERATO Biomechanics Study 1: A Comparative Evaluation Using Brillouin Microscopy and Dynamic Scheimpflug Imaging. *Journal of Refractive Surgery*. 2024 Aug 1;40(8):e569–78.

ABREVIATURAS

- DLB: Dispersión de Luz Brillouin
- DMEK: Descemet Membrane Endothelial Keratoplasty
- DFB: Desplazamiento de Frecuencia de Brillouin
- ECO: Elastografía de Coherencia Óptica
- EOSU: Elastometría de Ondas Superficiales por Ultrasonidos
- ERM: Elastografía por Resonancia Magnética
- FRC: Factor de Resistencia Corneal
- GAG: Glicosaminoglicanos

Ventajas e inconvenientes de SMILE vs LASIK

Advantages and disadvantages of SMILE vs LASIK

Jennifer Muñoz Mugüerza, MSc^{1*}

1: Universidad de Valencia, España

*jenny_add@hotmail.com

Recibido: 17 de junio del 2025

Aceptado: 4 de agosto del 2025

Publicado: 11 de septiembre del 2025

Financiación: Ninguno de los autores declaran tener financiaciones.

Declaración de Conflictos de Intereses: Ninguno de los autores declaran tener conflictos de intereses.

Relevancia: Comparar las técnicas de cirugía refractiva *laser in situ keratomileusis* (LASIK) frente a *small incision lenticule extraction* (SMILE), ayuda a determinar cuál de las dos técnicas tiene más ventajas y menos inconvenientes en general, y cuál puede ser más aconsejable para cada paciente específico según sus características.

Resumen: El objetivo de este trabajo es comparar las ventajas e inconvenientes de LASIK y SMILE. La técnica LASIK es la más popular en el mundo, pero no exenta de complicaciones, se busca una alternativa con la técnica SMILE, aunque sus resultados, en comparación con LASIK, son controvertidos.

Se realizó una búsqueda bibliográfica en la base de datos Pubmed. Se encontraron 364 artículos y se seleccionaron los más recientes, que compararan uno o varios aspectos de LASIK y SMILE, resultando un total de 30 artículos. Los artículos que comparaban la eficacia y seguridad de ambas técnicas coincidieron en que LASIK y SMILE presentan una buena y similar eficacia y seguridad para la corrección de la miopía y astigmatismo miópico, pero SMILE presenta una recuperación más tardía. SMILE consiguió mejores resultados en los parámetros de ojo seco. En cuanto a la biomecánica corneal, los resultados son variados, pero en general no hay diferencias significativas entre ambas técnicas; lo mismo sucede con las aberraciones de alto orden, hay diversidad de resultados, pero en el total de aberraciones no se observan diferencias significativas.

SMILE tiene las ventajas de evitar las complicaciones relacionadas con el flap y menor incidencia de ojo seco; pero también tiene los inconvenientes de no estar disponible para la hipermetropía, la posibilidad de complicaciones relacionadas con la extracción del lenticulo, una recuperación visual más lenta y la imposibilidad de retoques utilizando la misma técnica.

Palabras clave: LASIK, SMILE, FS-LASIK, flap, lenticulo.

Relevance: Comparing the refractive surgery techniques of laser in situ keratomileusis (LASIK) versus small incision lenticule extraction (SMILE) helps determine which of the two techniques has more advantages and fewer disadvantages in general, and which may be more advisable for each specific patient based on their characteristics.

Abstract: The objective of this study is to compare the advantages and disadvantages of LASIK and SMILE. LASIK is the most popular technique worldwide, but it is not without complications. An alternative is being sought with SMILE, although its results compared to LASIK are controversial.

A literature search was conducted in the PubMed database. 364 articles were found, and the most recent ones that compared one or more aspects of LASIK and SMILE were selected, resulting in a total of 30 articles. The articles

comparing the efficacy and safety of both techniques agreed that LASIK and SMILE present good and similar efficacy and safety for the correction of myopia and myopic astigmatism, but SMILE results in a slower recovery.

SMILE achieved better results in dry eye parameters. Regarding corneal biomechanics, the results are mixed, but overall there are no significant differences between the two techniques. The same applies to higher-order aberrations. There is a variety of results, but no significant differences are observed in the total aberrations. SMILE has the advantages of avoiding flap-related complications and a lower incidence of dry eye; however, the disadvantages are that it is not available for hyperopia, the possibility of complications related to lenticule extraction, slower visual recovery, and the impossibility of touch-ups using the same technique.

Keywords: LASIK, SMILE, FS-LASIK, flap, lenticule.

INTRODUCCIÓN

El objetivo para el que se ha realizado este trabajo es comparar las técnicas de cirugía refractiva *laser in situ keratomileusis* (LASIK) frente a *small incision lenticule extraction* (SMILE), especificando las ventajas e inconvenientes de cada una.

Se realizó una búsqueda bibliográfica en la base de datos Pubmed. Se buscaron artículos en cuyo título y/o resumen figurasen los términos "LASIK" o "laser in situ keratomileusis"; los términos "SMILE" o "small incision lenticule extraction" y algún término referido a ventajas, inconvenientes, resultados, términos de eficacia, seguridad, ojo seco, denervación corneal y aberración. Se utilizaron los operadores booleanos "AND" y "OR".

Se obtuvieron 364 resultados. En una primera fase de cribado se excluyeron los que estaban escritos en idiomas diferentes del español y el inglés, estudios con animales y artículos muy genéricos, seleccionando 114 artículos. En el segundo cribado, se excluyeron los anteriores a los últimos 5 años y los que no tenían acceso libre ni se pudieron desbloquear, quedando 80 artículos. En una tercera fase, leyendo los artículos completos, se incluyeron aquellos que compararan más específicamente uno o varios aspectos de LASIK versus SMILE, incluyéndose 30 artículos en el trabajo.

En la Figura 1 se muestra el esquema de búsqueda y clasificación de los artículos.

Se estima que el error de refracción afectará a casi 6.000 millones de personas en el año 2050 (1). El número de pacientes con miopía ha aumentado, pasando de una prevalencia de 2.620 millones en el año 2020, a una previsión de 3.361 millones para el año 2030.

La cirugía refractiva se ha convertido en uno de los principales tratamientos para los pacientes con miopía (2).

La corrección de la visión con láser es la cirugía refractiva

más comúnmente realizada en el mundo (1,3). La extracción de lentículo mediante incisión pequeña (SMILE) y la queratomileusis in situ asistida por láser de femtosegundo (FSLASIK) se han convertido en las opciones más populares en cirugía refractiva corneal (4-8).

La técnica LASIK consiste en crear en la córnea un colgajo laminar o flap con una bisagra mediante un microqueratomo mecánico o con un láser de femtosegundo, levantar el colgajo, aplicar láser excímer al lecho estromal y volver a colocar el colgajo (2). Fue aprobada por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos de América (FDA) en 1998, es la técnica refractiva láser más comúnmente realizada (1).

La introducción de láseres de femtosegundo para la creación del flap ha hecho que la cirugía LASIK tenga menos complicaciones intraoperatorias relacionadas con el flap, como la creación de colgajos libres, incompletos, irregulares o desplazados. Se consigue un grosor más delgado y uniforme del colgajo y una mayor precisión, lo que reduce el riesgo de ectasia (1,2,9,10).

El LASIK guiado por topografía utiliza mediciones de topografía corneal preoperatoria para crear una ablación personalizada, minimizando las irregularidades corneales inducidas quirúrgicamente, mejorando la calidad visual del paciente (3,11).

La cirugía SMILE se ha realizado ampliamente a nivel internacional y está ganando popularidad (7,8). SMILE es una técnica refractiva láser sin colgajo, que utiliza un único sistema de láser de femtosegundo con el que se crea un lentículo intraestromal, que se extrae a través de una pequeña incisión de 3 a 4 mm. La plataforma utilizada es el sistema láser de femtosegundo VisuMax® de 500 kHz (Carl Zeiss Meditec AG™, Jena, Alemania). La plataforma VisuMax® fue aprobada por la FDA en 2016 para el tratamiento de la miopía y en 2018 fue aprobada para el tratamiento del astigmatismo miópico (1,7). SMILE no está todavía aprobada por la FDA, ni cuenta

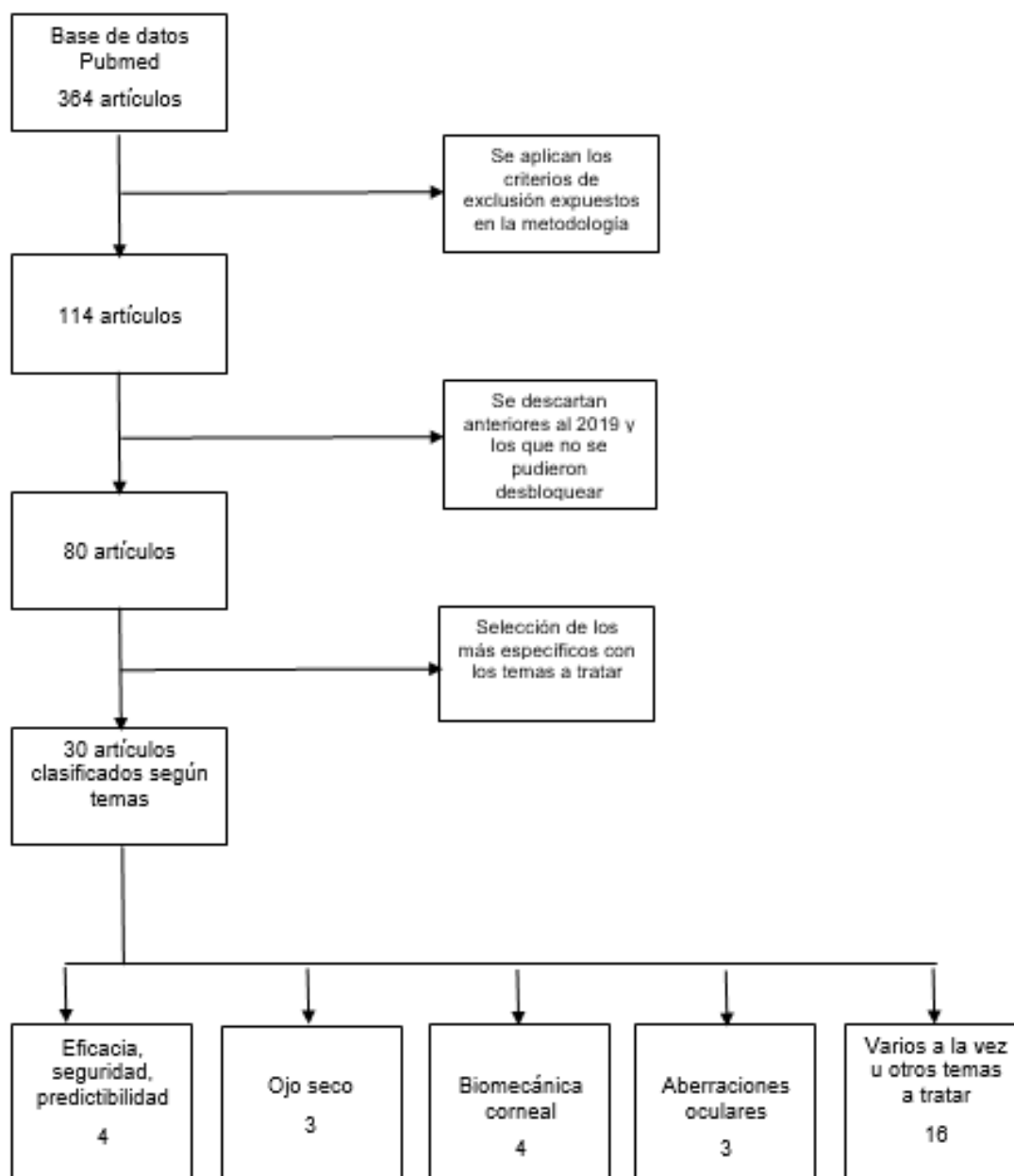


Figura 1: Esquema del plan de búsqueda bibliográfica

con la conformidad europea para el tratamiento de la hipermetropía (12), aunque un estudio publicado en 2019 por Majid Mohisfara y colaboradores (7) concluyó que, aunque es limitado el número de estudios, estos han demostrado que SMILE tiene resultados visuales y tasas de regresión similares al LASIK para la hipermetropía. La técnica SMILE elimina las complicaciones y riesgos relacionados con el flap, pero la curva de aprendizaje para los cirujanos es más desafiante, lo que puede llevar a extracción fallida del lentículo, retención de fragmentos del lentículo corneal, cicatrices e irregularidades en la interfaz, conduciendo a resultados visuales inferiores (9,13,14).

En el caso de que haya necesidad de retratamiento, con LASIK hay posibilidad de retratar mediante un relifting del colgajo, en cambio, el retratamiento con SMILE no está aprobado y se realiza en raras ocasiones; como sustituto, las alternativas de retratamiento son la ablación de superficie, la conversión de capuchón a colgajo utilizando el programa CIRCLE en la plataforma VisuMax® y el LASIK de colgajo fino, lo que resulta en combinar los inconvenientes de más de una técnica (15,16).

En el año 2020, Jorge Luis Alío del Barrio et al. (8) publican un estudio prospectivo observacional sobre la evolución del espesor corneal y densidad óptica tras

LASIK frente a SMILE para la corrección de la miopía con o sin astigmatismo. Dicho estudio comprendió 78 ojos de 42 pacientes. Se definieron 3 regiones para medir la densidad óptica (DO): estroma del colgajo/capuchón, lecho estromal residual (RSB) y todo el estroma.

Los resultados fueron que el espesor central medio aumentó significativamente durante los 3 meses de seguimiento tanto en LASIK como en SMILE. No se observaron diferencias significativas en los valores de DO entre ambas técnicas en ningún momento, aunque SMILE mostró una tendencia a valores de DO más altos que LASIK dentro del primer mes postoperatorio, probablemente relacionado con la recuperación visual tardía observada en SMILE en comparación con LASIK.

Un estudio publicado en el año 2024 por Kayvon A. Moin et al. (11) estudia los resultados durante 3 meses de LASIK guiado por topografía (TG-LASIK) versus SMILE, para miopía y astigmatismo miópico. En este ensayo controlado, contralateral, aleatorizado y prospectivo, 34 pacientes (68 ojos) recibieron TG-LASIK en un ojo al azar y SMILE en el otro. Al día siguiente de la operación, los ojos de TG-LASIK mostraron una recuperación visual más rápida, con un 100%, 63%, 37% y 6% de los ojos llegando a una agudeza visual de 20/20, 20/16, 20/12,5 y 20/10 respectivamente, en comparación con el 66%, 34%, 3% y 0% de los ojos en el grupo SMILE ($p < 0,05$). Se observaron hallazgos similares a la semana. En ambos grupos, el 97% de los pacientes lograron una agudeza visual a distancia sin corrección de 20/20 o superior a los 3 meses.

Eficacia, seguridad y predictibilidad

La eficacia, la seguridad y la calidad visual, siempre han sido los objetivos de la cirugía refractiva, y las técnicas LASIK y SMILE han demostrado ser seguras, predecibles y eficaces (2-6,17).

Un estudio publicado en el año 2020 por Yishan Qian et al. (14) compara la eficacia y resultados visuales tras SMILE y FS-LASIK para la miopía alta. Este estudio comparativo prospectivo incluyó a 93 pacientes asignados aleatoriamente a uno u otro grupo de tratamiento. Se analizaron los resultados postoperatorios al mes, 3 meses y 6 meses. Después de la operación, no se encontraron diferencias significativas en la agudeza visual sin corrección entre ambos grupos en los tres puntos temporales. No se encontraron diferencias significativas en la diferencia entre esfera intentada y lograda en los 3 puntos temporales ni en LASIK ni en SMILE.

Aunque las medias aritméticas del astigmatismo postoperatorio no fueron significativamente diferentes entre los dos grupos, las medias vectoriales postoperatorias del astigmatismo fueron menores en el grupo SMILE que en el grupo FS-LASIK en los tres puntos

temporales postoperatorios. Las diferencias entre la zona de extracción de tejido durante la cirugía (ROZ) y la zona óptica funcional (FOZ) postoperatoria, fueron más pequeñas en el grupo SMILE que en el grupo FS-LASIK, lo que sugirió que SMILE podría brindar mejor visión escotópica para alta miopía.

En 2022, Jiaxin Song et al (18) realizan una revisión sistemática y metaanálisis sobre la corrección del astigmatismo de SMILE versus LASIK. Se incluyeron 17 estudios (5 estudios aleatorizados y 12 estudios de cohorte), que sumaron un total de 1.985 ojos. Para la corrección del astigmatismo bajo a moderado, SMILE tuvo un índice de corrección más pequeño y un vector de diferencia más grande que LASIK. En la agudeza visual y la refracción no hubo diferencia significativa entre procedimientos.

En 2019, Weiming Yang et al. (19) publican un estudio comparativo prospectivo de los resultados de SMILE y LASIK para alta miopía. Se reclutaron 52 ojos de 34 pacientes. Los resultados visuales se analizaron antes de la operación y 6 meses después. El índice de seguridad (cociente entre la agudeza visual corregida [CDVA] a los 6 meses de la operación y la agudeza visual corregida preoperatoria) fue de $1,13 \pm 0,18$ en el grupo FS-LASIK y de $1,07 \pm 0,13$ para el grupo SMILE. El índice de eficacia (cociente entre la agudeza visual sin corrección a los 6 meses [UDVA] y la agudeza visual con corrección preoperatoria) fue de $1,09 \pm 0,17$ para el grupo FS-LASIK y de $1,04 \pm 0,14$ para el grupo SMILE. En cuanto a la corrección del astigmatismo, el 100% de los ojos del grupo FS-LASIK y el 97% de los del grupo SMILE tuvieron astigmatismo postoperatorio dentro de 0,25 dioptrías.

En un estudio publicado en 2024, C Wei et al. (20) llevan a cabo una revisión sistemática y metaanálisis que compara LASIK guiado por frente de onda (WFG-LASIK) y SMILE para la corrección de la miopía y el astigmatismo, en términos de eficacia, seguridad y calidad visual. Se incluyeron un total de 976 ojos de 8 estudios. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la proporción de ojos que alcanzaron una agudeza visual sin corrección de 20/20 o mejor ($P = 0,18$); en la proporción de ojos dentro de $\pm 0,50$ dioptrías de la refracción objetivo después de la operación ($P = 0,10$); ni en la magnitud postoperatoria del cilindro ($P = 0,10$). Con respecto al análisis vectorial del astigmatismo de Alpins, no hubo diferencias estadísticamente significativas en la magnitud quirúrgica del error ($P = 0,09$) entre ambos grupos. WFG-LASIK tuvo un ángulo quirúrgico de error menor ($P = 0,002$) y un índice de corrección quirúrgica del cilindro mayor ($P = 0,03$) que SMILE.

Ojo seco

Los nervios corneales regulan el reflejo del parpadeo, así como la producción y secreción de lágrimas. En la cirugía refractiva corneal láser hay una extirpación quirúrgica del tejido corneal, lo que hace que el plexo corneal se dañe en diversos grados, conduciendo a una superficie ocular neuropática postoperatoria, con manifestaciones clínicas que van desde la pérdida de la sensibilidad corneal y disminución de la secreción lagrimal, hasta erosiones epiteliales corneales con epitelopatía neurotrófica o queratopatía en casos graves. Algunos estudios han informado que hasta el 95% de pacientes sometidos a una cirugía refractiva experimentan síntomas de ojo seco (21).

Chang Liu et al. (22), en 2023, estudian el impacto del poder refractivo corregido en la denervación corneal y la superficie ocular en SMILE y en LASIK. Participaron en el estudio 88 ojos sometidos a SMILE o LASIK. Se encontró que cuando el equivalente esférico refractivo manifiesto (MRSE) corregido aumentó una dioptría, la densidad de la rama total de la fibra nerviosa (CNBD) se redujo 4,9 % después de SMILE, mientras que fue 6,1 % después de LASIK; y el área de fibras nerviosas corneales (CNFA) se redujo 4 % después de SMILE, pero 9,1% después de LASIK.

Un artículo publicado en 2019 por Angela HY Wong y colaboradores (23) estudia el ojo seco después de SMILE. Se incluyeron estudios originales o metaanálisis. Demirok et al. (24) no informaron cambios significativos con respecto al inicio ni entre ambos grupos en los síntomas subjetivos, prueba de Schirmer II, tiempo de ruptura lagrimal (TBUT) y osmolaridad lagrimal después de 1 semana, 1, 3 y 6 meses de la operación.

Por el contrario, varios estudios informaron mejores resultados en SMILE:

Li et al. (25) llevaron a cabo un estudio prospectivo no aleatorizado; el grupo SMILE tuvo mejores resultados en cuanto a TBUT y tinción corneal. Ganesh y Gupta realizaron un estudio prospectivo, aleatorizado; ambos grupos demostraron una disminución en los valores de la prueba de Schirmer I, prueba de Schirmer II y TBUT; estos valores postoperatorios fueron significativamente menores en FS-LASIK. Xia et al. (26) realizaron un estudio que involucró 128 ojos en 65 pacientes que mostró resultados favorables hacia SMILE; el grupo FS-LASIK tuvo valores más bajos del test de Schirmer y el TBUT y valores superiores del índice de enfermedad de la superficie ocular (OSDI).

Arturo Ramírez-Miranda et al. (9) publican en 2024 un estudio de cohorte, aleatorizado de ojos pareados, en el que comparan los resultados visuales de SMILE

versus LASIK. En cuanto al TBUT, el test de Schirmer y la estesiometría, se observó una disminución de la sensibilidad corneal con ambas técnicas, sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre ambos grupos en el seguimiento a los 12 meses.

Biomecánica corneal

La ectasia corneal iatrogénica es una posible complicación después de la cirugía refractiva corneal. Aunque su prevalencia es del 0,04 al 0,06 %, amenaza gravemente la visión. La investigación biomecánica de la córnea juega un importante papel en la identificación de pacientes con alto riesgo de desarrollar ectasia iatrogénica (27-29).

Shengyu He et al. (6), en 2022, estudian la biomecánica corneal tras SMILE y FS-LASIK en un estudio comparativo y prospectivo en pacientes con alta miopía. 50 pacientes se sometieron a cirugía SMILE en un ojo y FS-LASIK en el contralateral. Se midieron parámetros biomecánicos corneales, el espesor corneal central (CCT) y el volumen corneal (CV) de la región de 10 mm de diámetro. Se midieron 4 parámetros: espesor relacional de Ambrosio con el perfil horizontal (ARTh), el parámetro de rigidez A1 (SP-A1), la relación de amplitud de deformación (DA) a 2mm y el radio integrado (IR). El ARTh y el SP-A1 fueron significativamente mayores en SMILE que en FS-LASIK en todas las visitas de seguimiento ($P < 0,05$). No se observaron diferencias significativas en otros parámetros biomecánicos entre los dos grupos. El espesor corneal central CCT en SMILE fue mayor que en FS-LASIK a los 15 meses de la operación ($435,94 \pm 29,93 \mu\text{m}$ frente a $425,65 \pm 30,33 \mu\text{m}$; $P < 0,001$). El volumen corneal CV fue mayor en SMILE que en FS-LASIK en todas las visitas de seguimiento ($59,68 \pm 3,98 \text{ mm}^3$ frente a $59,03 \pm 4,04 \text{ mm}^3$; $P < 0,001$).

En el año 2023 Songbai Chen et al. (28) realizan una revisión sistemática y metaanálisis sobre la biomecánica corneal tras SMILE y FS-LASIK. Se incluyeron 16 estudios (3 ensayos clínicos aleatorizados y 13 ensayos controlados no aleatorizados). No hubo diferencias estadísticamente significativas entre SMILE y FS-LASIK en la histéresis corneal y factor de resistencia corneal tres meses después de la cirugía.

Un estudio publicado en 2024 por Xiangtao Hou et al. (30) compara el consumo corneal real y los cambios biomecánicos corneales después de SMILE y FS-LASIK en ojos con alto astigmatismo miópico en un estudio prospectivo y aleatorizado. A los 6 meses de la operación, la reducción media real de espesor del estroma central (CST) lograda con SMILE fue significativamente menor que la que se logró con FS-LASIK. Los CV 3mm y CV 5 mm en SMILE, fueron significativamente mayores que

los de FS-LASIK, mientras que no se encontró diferencia significativa en el CV 7 mm y el CV 10 mm. La velocidad de primera aplanación (A1V) y la longitud de primera aplanación (A1L) fueron significativamente más pequeños, mientras que SP-A1 fue significativamente más grande en el grupo SMILE, pero que no se observó ninguna diferencia significativa en otros parámetros biomecánicos entre las dos cirugías.

Grace Huang y Samir Melki (1), en 2021, hicieron una revisión de la literatura sobre los resultados de la cirugía SMILE. Cao et al. (31) informaron una mayor relación DA (1 y 2 mm) después de la creación del lentículo en comparación con la creación del colgajo, lo que indica una biomecánica más débil en SMILE. Khamar et al. (32) descubrieron que la creación del colgajo LASIK provocó un mayor cambio biomecánico que la tapa SMILE.

Cao et al. (31), Khamar et al. (32), Raevdal et al. (33) y Zhang et al. (34) informaron que no hubo diferencias significativas en los parámetros biomecánicos entre SMILE y FS-LASIK. Guo et al. (27) encontraron valores más altos de histéresis corneal (CH) y factor de resistencia corneal (CRF) postoperatorios en pacientes con SMILE, pero ninguna diferencia en la prueba CST.

Xia et al. (35) no encontraron diferencias en CH, pero CRF fue significativamente mayor en SMILE. Elmohamady et al. (36) informaron que tanto CH como CRF fueron significativamente mayores en SMILE.

Aberraciones oculares

El aumento de la aberración esférica y el coma después de la cirugía refractiva se correlaciona con una disminución de la sensibilidad al contraste y problemas de calidad visual (3).

Shengyu He et al. (5), en 2022, publican un artículo en el que hacen una comparación prospectiva, aleatorizada de ojos contralaterales, de la zona óptica funcional y calidad visual después de SMILE y FS-LASIK para alta miopía. Se realizó SMILE en un ojo y FS-LASIK en el contralateral en 92 ojos de 46 pacientes. La zona óptica funcional (FOZ) para SMILE ($5,62 \pm 0,31$ mm) fue mayor que para FS-LASIK ($5,35 \pm 0,28$ mm, $P < 0,001$). El descentrado total para SMILE ($0,29 \pm 0,14$ mm) fue mayor que en FS-LASIK ($0,22 \pm 0,11$ mm; $P < 0,001$). Hubo mejor sensibilidad al contraste bajo la condición mesópica para SMILE que para FS-LASIK ($P = 0,024$). Sin embargo, no se encontró diferencia significativa en las puntuaciones de calidad de visión entre los dos grupos. Después de la operación, el cambio inducido en la aberración esférica fue significativamente mayor en los ojos que se sometieron a FS-LASIK ($0,14 \pm 0,11$ μ m) que en aquellos que se sometieron a SMILE ($0,09$

$\pm 0,01$ μ m; $P < 0,001$). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las aberraciones de alto orden totales, coma vertical, coma horizontal, coma RMS (todos $P > 0,05$).

En el año 2023, He Tian y colaboradores (3) realizaron un artículo de revisión sobre los resultados clínicos y aberraciones de orden superior del LASIK guiado por frente de onda y SMILE para la corrección de la miopía. Se incluyeron 1.385 ojos de 12 estudios. El metaanálisis demostró que la aberración esférica fue menor en el grupo SMILE que en grupo WFG-LASIK y que los valores del coma vertical fueron mayores en el grupo SMILE. No se encontraron diferencias significativas entre los dos grupos en las aberraciones totales de orden superior. Weiming Yanga y colaboradores (19) publicaron en 2019 un artículo sobre los resultados visuales después de SMILE y FS-LASIK para miopía alta. En este estudio comparativo prospectivo, se reclutaron un total de 52 ojos de 34 pacientes. No se detectaron diferencias estadísticamente significativas en los cambios de aberraciones de alto orden (HOA), aberraciones esféricas, coma horizontal, trébol horizontal y trébol vertical entre los dos grupos, excepto para el coma vertical ($p < 0,01$) que fue más alto en SMILE.

En 2020, Tian Han y colaboradores (37) estudiaron el impacto de la corrección refractiva con SMILE y FS-LASIK en la calidad de vida de los pacientes 3 años después de la intervención de miopía. Los pacientes completaron una prueba de visión común y un cuestionario sobre el impacto de la corrección refractiva en la calidad de vida (QIRC), junto a una encuesta subjetiva sobre satisfacción quirúrgica y síntomas adversos. No se encontraron diferencias significativas en la puntuación total del QIRC ni en la satisfacción quirúrgica entre ambos grupos.

Kevin K. Ma y Edward E. Manche (38) publican en 2023 un artículo sobre la calidad de visión reportada por el paciente después de la cirugía SMILE y LASIK. Se trata de un ensayo clínico prospectivo aleatorizado de ojo contralateral. Los pacientes informaron de la presencia y gravedad de síntomas visuales adversos a través del Patient-Reported Outcomes With Laser In Situ Keratomileusis questionnaire. No hubo diferencia en la presencia o severidad de visión doble, glare, halos o starbursts entre ambos grupos ($P > 0,85$).

Nathalie PY Chiam y colaboradores (39), en 2019, en un artículo de revisión, compararon los resultados informados por los pacientes sobre el tratamiento con LASIK y SMILE mediante el cuestionario QIRC. Una puntuación QIRC más alta representa una mejor calidad de vida. Incluyeron el estudio de Ang et al. (40), en el que encontraron que las puntuaciones QIRC funcionales

y emocionales de los pacientes LASIK y SMILE no fueron significativamente diferentes al mes y a los 3 meses. En el estudio de Klokova et al. (41) en el sexto mes después de la operación, los pacientes que se sometieron a SMILE estaban más satisfechos con su calidad visual que los pacientes FS-LASIK.

DISCUSIÓN

Los estudios de Jorge Luis Alió del Barrio et al. (8) y Kayvon A. Moin et al. (11) coinciden en que SMILE tiene tasas más altas de recuperación que pueden deberse a los mayores niveles de energía utilizados en SMILE y a una mayor manipulación quirúrgica.

Todos los estudios coincidieron en que SMILE y LASIK aportan resultados predecibles, eficaces y seguros para la corrección de la miopía y el astigmatismo, aunque en SMILE hay una ligera tendencia a la hipocorrección para el astigmatismo.

Chang Liu et al. (22) concluyeron que la naturaleza sin colgajo y la pequeña incisión en SMILE causaron menos truncamiento nervioso corneal en comparación con LASIK. Angela HY Wong y colaboradores (23) informaron de mejores resultados de ojo seco para SMILE que para LASIK. Arturo Ramírez-Miranda et al. (9) no informaron diferencias significativas a los 12 meses en las pruebas de ojo seco.

Shengyu He et al. (6) informaron que SMILE podría preservar más tejido corneal que FS-LASIK al corregir errores refractivos similares en pacientes con alta miopía. Xiangtao Hou et al. (30) informaron resultados parecidos respecto al consumo corneal real en ojos con alto astigmatismo miópico. Songbai Chen et al. (28), en su revisión, no encontraron diferencias significativas en la biomecánica corneal entre LASIK y SMILE, sin embargo, Grace Huang y Samir Melki (1) encontraron variedad de resultados: algunos favorables a SMILE, otros a LASIK y otros sin diferencias significativas, aunque predominando los favorables a SMILE.

En los estudios que analizan las aberraciones, SMILE obtiene mejores resultados para la aberración esférica y LASIK para el coma y el trébol, aunque en las aberraciones totales de alto orden y en las puntuaciones de calidad de vida, no se aprecian diferencias significativas.

CONCLUSIONES

Las ventajas que tiene SMILE respecto a LASIK son: evita las complicaciones relacionadas con el flap, por ejemplo, para pacientes que practiquen deportes de

contacto sería más aconsejable SMILE. Otra ventaja es que SMILE produce menor denervación corneal, y con ello menor incidencia de ojo seco, por lo que sería más recomendable en casos de ojo seco. Los inconvenientes de SMILE son: las complicaciones intraoperatorias que pueden surgir en la extracción del lentículo, que no está aprobado aún para la corrección de la hipermetropía, la imposibilidad de hacer retoques con esa misma técnica y que parece tener una recuperación más lenta; en casos que precisen una recuperación rápida, sería preferible LASIK.

Las dos técnicas presentan valores de eficacia, seguridad, predictibilidad y estabilidad similares. En cuanto a la biomecánica corneal, aunque SMILE parece alterar los valores en menor medida que LASIK, las diferencias no son estadísticamente significativas. En SMILE se han obtenido valores menores de aberración esférica y mayores de coma y trébol; pero en el total de aberraciones de alto orden y en la calidad visual referida por los pacientes, no hay diferencias significativas entre SMILE y LASIK.

SMILE, de momento, no ha conseguido imponerse a LASIK, ya que las ventajas no son evidentes, y no está exenta de complicaciones.

REFERENCIAS

- Huang G, Melki S. Small Incision Lenticule Extraction (SMILE): Myths and realities. *Seminars in Ophthalmology*. 2021; 36: 140-148
- Chang JY, Lin PY, Hsu CC, Liu CJL. Comparison of clinical outcomes of LASIK, Trans-PRK, and SMILE for correction of myopia. *Journal of Chinese Medical Association*. 2021; 85: 145-151
- Tian H, Gao W, Xu C, Wang Y. Clinical outcomes and higher order aberrations of wavefront-guided LASIK versus SMILE for correction of myopia: A systemic review and meta-analysis. *Acta Ophthalmologica*. 2023; 101: 606-618
- Fu Y, Lu Y, Yin Y, Fu Q, Wu X, Hu T, Li Y, Du K, Wen D, Xiang A. Clinical outcomes after small-incision lenticule extraction versus femtosecond laser-assisted LASIK for high myopia: A meta-analysis. *PLoS ONE*. 2021; 16 (2): e0242059
- He S, Luo Y, Chen P, Ye Y, Zheng H, Lan M, Zhuang J, Yu K. Prospective, randomized, contralateral eye comparison of functional optical zone and visual quality after SMILE and FS-LASIK for high myopia. *Transl Vis Sci Technol*. 2022; 11(2): 13
- He S, Luo Y, Ye Y, Chen P, Liu C, Lei L, Zhuang J, Yu K. A comparative and prospective study of corneal biomechanics after SMILE and FS-LASIK performed on the contralateral eyes of high myopia patients. *Annals of Translational Medicine*. 2022; 10(13): 730
- Moshirfara M, Brunerd CD, Skanchye D, Shah T. Hyperopic small-incision lenticule extraction. *Wolters Kluwer Health*. 2019; 30: 4
- Alio JL, Parafita-Fernandez A, Canto-Cerdán M, Teus M. Evolution of corneal thickness and optical density after laser in situ keratomileusis versus small incisión lenticule extraction for myopia correction. *Br J Ophthalmol*. 2020; 0: 1-5
- Ramirez- Miranda A, De la Mota A, De la Rosa G, Serna-Ojedal J, Valdez-García J, Fábregas-Sánchez D, Navas A, Jiménez-Coronal A, Graue-Hernández E. Resultados visuales y refractivos posterior a SMILE versus FS-LASIK: estudio de ojos pareados. *Cirugía y Cirujanos*. 2023; 92(6): 758-768
- Shah R. History and Results: Indications and Contraindications of SMILE compared with LASIK. *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*. 2019; 8: 371-376
- Moin K, Manion G, Pandiri S, Hoopes P, Moshirfar M. Three-Month Comprehensive Outcomes of Topography-Guided LASIK versus Keratorefractive Lenticule Extraction (KLEx): A Prospective Contralateral Study. *Ophthalmol Ther*. 2024; 13: 2265-2284.
- Teo ZL, Ang M. Femtosecond laser-assisted in situ keratomileusis versus small-incision lenticule extraction: current approach based on evidence. *Wolters Kluwer Health*. 2024
- Ang M, Htoon HM, Mehta JS. Randomized clinical trial comparing femtosecond laser in-situ keratomileusis and small lenticule extraction. *Ophthalmology*. 2019; 19
- Qian Y, Chen X, Krishnan R, Zhou X. Comparison of efficacy and visual outcomes after SMILE and FS-LASIK for the correction of high myopia with the sum of myopia and astigmatism from 10,00 to 14,00 dioptres. *Acta Ophthalmologica Scandinavica Foundation*. 2020; 98: 161-172.
- Reinstein D, Archer TJ, Vida R, Carp G. Suction stability management in small incisión lenticule extraction: incidence and outcomes of suction lost in 4000 consecutive procedures. *Acta Ophthalmologica Scandinavica Foundation*. 2020. 98: 72-80
- Siedlecki J, Luft N, Priglinger S, Dirisamer M. Enhancement Options After Myopic Small-Incision Lenticule Extraction (SMILE): A Review. *Asia-Pacific Academy Ophthalmology*. 2019; 8: 406-411
- Cui G, Di Y, Yang S, Chen D, Li Y. Efficacy of small-incision lenticule extraction surgery in high astigmatism: A meta-analysis. *Frontiers in Medicine*. 2023; 9: 1100241.
- Song J, Cao H, Chen X, Zhao X, Zhang J, Wu G, Wang Y. Small Incision Lenticule Extraction (SMILE) versus Laser Assisted Stomal in Situ Keratomileusis (LASIK) for Astigmatism Corrections: A Systematic Review and Meta-analysis. *Elsevier*. 2022
- Yang W, Liu S, Li M, Shen Y, Zhou X. Visual Outcomes after Small Incision Lenticule Extraction and Femtosecond Laser-Assisted LASIK for High Myopia. *Ophthalmic Research*. 2019
- Wei C, Liu J, Zhang C, Liu JY, Lu YM. Clinical outcomes of SMILE and WFG-LASIK used to treat myopia and astigmatism: A systematic review and meta-analysis. *Elsevier Massons SAS*. 2024
- Sambhi R, Sambhi G, Mather R, Malvankar-Mehta M. Dry eye after refractive surgery: A meta-analysis. *Canadian Ophthalmological Society*. 2019; 10: 1-7
- Liu C, Tzu-Yu M, Xin Yu Lee I, Mehta J, Liu Y. Impacto of corrected refractive power on the corneal denervation and ocular surface in small incisión lenticule extraction and LASIK. *Wolters Kluwer Health*. 2023; 49: 1106-1113
- Wong A, Cheung R, Kua N, Shih K, Chan T, Wan K. Dry Eyes After SMILE. *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*. 2019; 8: 397-405
- Demirok A, Ozgurhan EB, Agca A. Corneal sensation after corneal refractive surgery with small incision lenticule extraction. *Optom Vis Sci*. 2013; 90: 1040-1047
- Li M, Zhao J, Shen Y. Comparison of dry eye and corneal sensitivity between small incision lenticule extraction and femtosecond LASIK for myopia. *PLoS One*. 2013; 8: 77797-177797
- Xia L, Zhang J, Wu J. Comparison of corneal biological healing after femtosecond lasik and small incision lenticule extraction procedure. *Curr Eye Res*. 2016; 41: 1202-1208
- Guo H, Hosseini M, Hodge W. Corneal biomechanical properties after SMILE versus FLEX, LASIK, LASEK or PRK: a systematic review and meta-analysis. *BMC Ophthalmology*. 2019; 19: 167
- Chen S, Ma H, Zhao C. Corneal biomechanics after incisión lenticule extraction and femtosecond laser in situ keratomileusis: A systematic review and meta-analysis. *Medicine*. 2023; 102: 32
- Pniakowska Z, Jurowski P, Wierzbowska J. Clinical Evaluation of Corneal Biomechanics following Laser Refractive Surgery in Myopic Eyes: A review of the literatura. *Journal of Clinical Medicine*. 2022; 12: 243
- Hou X, Chen P, Yu N, Luo Y, Wei H, Zhuang J, Yu K. A comparative and prospective study of corneal consumption and corneal biomechanics after SMILE and FS-LASIK performed on the contralateral eyes with high myopic astigmatism. *Translational Vision Science & Technology*. 2024; 13(11): 29

31. Cao K, Liu L, Yu T, Chen F, Bai J, Liu T. Changes in corneal biomechanics during small-incision lenticule extraction (SMILE) and femtosecond-assisted laser in situ keratomileusis (FS-LASIK). *Lasers Med Sci.* 2019; 35(3): 599–609
32. Khamar P, Shetty R, Vaishnav R, Francis M, Nuijts R, Sinha Roy A. Biomechanics of LASIK Flap and SMILE Cap: a Prospective, Clinical Study. *J Refract Surg.* 2019; 35(5): 324–332
33. Raevdal P, Grauslund J, Vestergaard AH. Comparison of corneal biomechanical changes after refractive surgery by noncontact tonometry: small-incision lenticule extraction versus flap-based refractive surgery - a systematic review. *Acta Ophthalmology.* 2019; 97(2): 127–136
34. Zhang J, Wang Y, Chen X. Comparison of moderate- to high-astigmatism corrections using wavefront-guided laser in situ keratomileusis and small-incision lenticule extraction. *Cornea.* 2016; 35(4): 523–530
35. Xia LK, Ma J, Liu HN, Shi C, Huang Q. Three-year results of small incision lenticule extraction and wavefront-guided femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis for correction of high myopia and myopic astigmatism. *Int J Ophthalmology.* 2018; 11 (3): 470–477
36. Elmohamady MN, Abdelghaffar W, Daifalla A, Salem T. Evaluation of femtosecond laser in flap and cap creation in corneal refractive surgery for myopia: a 3-year follow-up. *Clinic Ophthalmology.* 2018; 12: 935–942
37. Han T, Xu Y, Han X, Shang J, Zeng L, Zhou X. Quality of life impact of refractive correction (QIRC) results three years after SMILE and FS-LASIK. *Health and Quality of Life Outcomes.* 2020; 18: 107
38. Ma K, Manche E. Patient-reported quality of vision in a prospective randomized contralateral-eye trial comparing LASIK and small-incision lenticule extraction. *Wolters Kluwer on behalf of ASCRS and ESCRS.* 2023
39. Chiam N, Mehta J. Comparing Patient-Reported Outcomes of Laser In Situ Keratomileusis and Small-Incision Lenticule Extraction: A Review. *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology.* 2019; 8: 377-384
40. Ang M, Ho H, Fenwick E. Vision-related quality of life and visual outcomes after small-incision lenticule extraction and laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg.* 2015; 41: 2136–2144
41. Klokova OA, Sakhnov SN, Geydenrikh MS, Damashauskas RO. Quality of life after refractive surgery: ReLEx SMILE vs Femto-LASIK. *Clin Ophthalmology.* 2019; 13: 561–570

ABREVIATURAS

- LASIK: laser in situ keratomileusis
- SMILE: small incision lenticule extraction
- FSLASIK: queratomileusis in situ asistida por láser de femtosegundo
- FDA: Administración de Alimentos y Medicamentos de los EEUU
- DO: densidad óptica
- RSB: lecho estromal residual
- TG-LASIK: LASIK guiado por topografía
- FOZ: zona óptica funcional
- ROZ: zona de extracción de tejido durante la cirugía
- CDVA: agudeza visual corregida
- UDVA: agudeza visual sin corrección
- WFG-LASIK: LASIK guiado por frente de onda
- MRSE: equivalente esférico refractivo manifiesto
- CNBD: densidad de la rama total de la fibra nerviosa
- CNFA: área de fibras nerviosas corneales
- TBUT: tiempo de ruptura lagrimal
- OSDI: índice de enfermedad de la superficie ocular
- CCT: espesor corneal central
- CV: volumen corneal
- ARTh: espesor relacional de Ambrosio con el perfil horizontal
- SP-A1: parámetro de rigidez A1
- DA 2 mm: relación de amplitud de deformación 2mm
- IR: radio integrado
- CST: espesor del estroma central
- A1V: velocidad de primera aplanación
- A1L: longitud de primera aplanación
- CH: histéresis corneal
- CRF: factor de resistencia corneal
- HOA: aberraciones de alto orden
- QIRC: cuestionario sobre el impacto de la corrección refractiva en la calidad de vida



Revista Optimetría Clínica y Ciencias de la Visión (OCCV)

Sociedad Aragonesa de Optimetría y Contactología
(SAOCO)

Volumen 4 - Número 2 - Segundo semestre 2025

EDITOR-IN-CHIEF: Dr. Alejandro Blasco Martínez

COMITÉ EDITORIAL: Dr. Carlos Serrano Bernal, Dra. Gema Insa Sánchez, Dr. Juan Carlos Viñuela Rodríguez, D. Javier Pérez Velilla, Dña. Arianna Di Maro, Dr. Muhammad Qasim.

SECRETARÍA TÉCNICA: Dña. Azucena Gracia Calvo, Dña. Marta Casero Pontaque

CONTACTO: editorial@revistaoccv.com

COLABORA: Universidad de Zaragoza



Universidad
Zaragoza

1542