

LA FISICO-MATEMÁTICA DE LA CIRUGÍA REFRACTIVA

Joaquín González Álvarez

Amplia difusión ha tenido la aplicación de la física a la medicina, tanto a nivel de publicación científica como divulgativa. En la medicina está presente la física, tanto en la relación directa con el paciente como en la labor de investigación científica especializada. Como especialidades más conocidas dentro de la medicina que aplican directamente los aportes de la física, podemos citar entre otras, la física nuclear, la radiología, la imagenología, la oftalmología y la optometría. En una rama de estas últimas nos detendremos para ocuparnos del fundamento físico-matemático de la cirugía refractiva.

Conocidos son los defectos visuales debidos a causas estructurales del órgano de la vista que motivan que el ojo como instrumento óptico biológico, no logren enfocar debidamente las imágenes de los objetos en la retina, membrana que en fondo del ojo, actúa como una placa fotográfica. El haz de rayos de luz provenientes de los objetos luminosos o iluminados entra al ojo por la pupila e incide en un sistema de superficies transparentes que a manera de lentes desvían, esto es, refractan los rayos uniéndolos en un foco, el cual en un ojo sin defectos, debe formarse en la retina. En un defecto visual de refracción como la miopía el foco se forma antes de llegar a la retina, y en otro defecto, la hipermetropía, el foco se formaría detrás de la retina si ésta no existiera, con lo cual en esta membrana lo que se forma es una mancha luminosa borrosa, En ambos casos se produce una visión defectuosa. Las lentes de espejuelos que corrigen estos defectos lo hacen refractando los rayos de modo que formen el foco en la misma retina y es así que se obtiene la óptima visión. En general los lentes consisten en un fragmento de vidrio limitado por dos superficies curvas, dependiendo de la mayor o menor curvatura de las mismas, el que el foco se forme más cerca o más lejos de ellas.

Una vez que el haz de rayos luminosos entra al ojo por la pupila como explicamos, incide en una serie de superficies con distintas curvaturas que a manera de una lente logran la formación del foco. Ya vimos que el enfoque óptimo se logra en la retina y su no ocurrencia en los defectos visuales, se debe principalmente a la no requerida curvatura de alguna o algunas de las superficies transparentes. En la actualidad se emplean con éxito métodos quirúrgicos para aumentar o disminuir la curvatura de la membrana refractora en la que primero incide el haz luminoso, llamada córnea, con el objetivo de lograr el enfoque en la retina. El valor de la curvatura C de una superficie esférica como las del sistema ocular y por tanto de la córnea, viene dada por la fórmula:

$$C=(n-1)/R \quad (1)$$

Donde R radio de la superficie y n índice de refracción de la misma.

Si existe defecto visual, la curvatura tendrá un defecto o un exceso ΔC . por lo cual (1) toma la forma:

$$C + \Delta C = (n-1)1/R \quad (2)$$

Alterando R en ΔR , es posible hacer $\Delta C=0$:

$$C = (n-1)1/(R + \Delta R) \quad (3)$$

Quirúrgicamente se logra suprimir ΔC , modificando mediante cincelado quirúrgico el radio en una magnitud ΔR que habrá que calcular a partir del valor de ΔC el cual se obtiene del examen visual igual al que se realiza para espejuelos expresado en dioptrías.

El cálculo de ΔR se realiza mediante la fórmula que resulta de restar las igualdades (2) y (3) y despejar:

$$\Delta R = R^2 \Delta C / (n-1-R\Delta C) \quad (4)$$

R se obtiene igual que para espejuelos mediante queratometría y como valor de n para la córnea se toma 1.34.

Un método llamado LASIK, actualmente muy utilizado para corregir quirúrgicamente los defectos de refracción consiste esencialmente en tallar mediante un fino haz de laser de 50 nanómetros de diámetro, en la córnea la corrección de su curvatura en el monto preciso para eliminar el defecto. Primeramente el haz de laser levanta un fino colgajo de tejido superficial dejando expuesta una zona en la cual se realiza el tallado corrector y una vez terminado éste, esa región se vuelve a cubrir con el colgajo que se adhiere sin necesidad de sutura.

La descripción de la operación que he presentado es la que he encontrado en Internet, sin embargo no he podido acceder a los detalles geométricos del cincelado adecuado a la corrección necesaria que se efectúa en el tejido expuesto al levantar el colgajo. No obstante sólo con carácter especulativo pienso como profesor de Física y optometrista ya que no como oftalmólogo pues no lo soy, que en el caso de la miopía, el tallado tal vez pudiera tener la forma de un casquete esférico con la concavidad hacia fuera centrado en el ápex de la córnea, cuya sagita s , radio de la base r y el radio requerido R_1 obtenido a partir de los cálculos antes vistos, se relacionen mediante la fórmula

$$R_1 = (r^2 + s^2) / 2s.$$

Como es lógico s ha de ser convenientemente menor que el grosor de la córnea.

El procedimiento quirúrgico descrito (el que encontramos en Internet), fue ideado en principio por el oftalmólogo español doctor José Barraquer (1916-1998) quien es reconocido como el padre de la cirugía refractiva moderna.

Para la realización de los cálculos descritos los datos que se requieren del paciente son el resultado de la refracción y el de la queratometría. Eso datos servirían no sólo para un paciente determinado, sino para todos los que tuvieran el mismo radio corneal y la misma graduación, pudiéramos decir que el proceso de planificación fisico-matemática de la operación no está "personalizado". Sin embargo en el proceso de la refracción en el ojo, esto es, en la marcha de los rayos de luz a través de los medios refringentes se

producen desviaciones de los rayos y por lo tanto del frente de onda (superficie perpendicular común al haz luminoso), llamadas aberraciones de onda que conllevan a la formación de una imagen borrosa en la retina y por ende a una visión defectuosa no comprobable por los medios tradicionales de examen de agudeza visual. Las aberraciones de onda se deben a determinadas alteraciones en los frentes de onda las cuales a su vez son ocasionadas por alteraciones morfológicas casi siempre de la curvatura corneal, que varía de un sujeto de cada paciente a otro y que hay que detectar en cada persona, o lo que es lo mismo hay que personalizar el examen de aberraciones de onda. Este examen personalizado se realiza mediante sofisticados dispositivos y complejos cálculos matemáticos que se basan en los métodos de la llamada Óptica de Fourier. Mediante los datos numéricos de la marcha de los rayos de luz en el ojo, y utilizando los polinomios de Zernike, se calcula la llamada función pupila P en función de la aberración o distorsión del frente de onda. Mediante la Transformada de Fourier aplicada a P se obtiene una estimación de la borrosidad de los puntos de la imagen en la retina llamada *Función de Dispersión de Punto* y por último se determina la Función de Transferencia Óptica Modulada calculando la Transformada de Fourier de la Función de Dispersión de Punto. Con estos parámetros se realizan estudios estadísticos de sus valores en determinado grupo de individuos con similares características de edad, etnia, agudeza visual, etc., y se preparan tablas con las cuales se contrastan los datos tomados al paciente en particular que se va a operar o se va a chequear después de la operación con el objetivo de detectar personales aberraciones de onda y actuar en consecuencia profesionalmente.

Además de la destreza del cirujano, en el delicado proceso que hemos descrito, se necesita con igual grado de profesionalidad del aporte de quien maneje la física y la matemática que fundamentan cálculos análogos a los que hemos explicado en este trabajo. Y sumamente importante es la pericia y preparación científica del Optometrista que realiza el examen previo de refracción y aberración de onda, dado que una inexactitud en éstos significará el fracaso de la operación. Lo ideal es que en una misma persona se unan el físico y el optometrista.

Bibliografía

- Del Río, G.; Óptica Fisiológica Clínica. Toray S.A. 1977.
González, J, E. Moltó, et alt.; Óptica. Segunda Parte. Pueblo y Educación. 1984.
González, J.; Óptica Oftalmológica. Ciencias Médicas. 1989.
Leví. L.; Applied Optics. New York. 1968.

Joaquín GONZÁLEZ ÁLVAREZ
j.gonzalez.a@hotmail.com