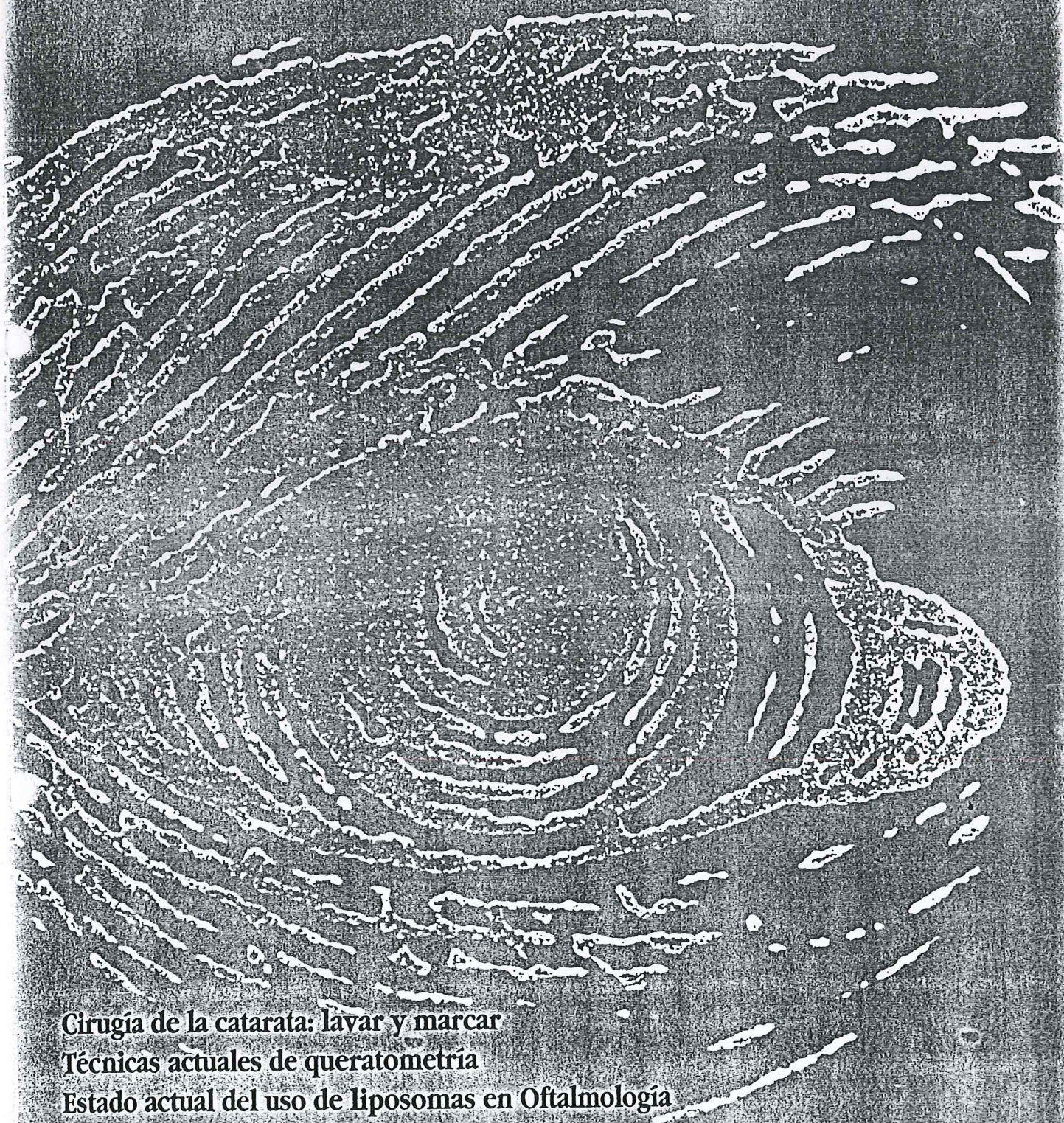


STUDIIUM OPHTHALMOLOGICUM



Cirugía de la catarata: lavar y marcar

Técnicas actuales de queratometría

Estado actual del uso de liposomas en Oftalmología

Afectación ocular en el SIDA

Mejora en la definición de la opacidad del cristalino mediante análisis colorimétrico digitalizado

Dres. Maldonado MJ, Arnau V¹, Pérez-Torregrosa V, Harlo MA, Rodríguez-Galietero A, Menezo JL

¹ Instituto de Robótica, Universidad de Valencia.

Servicio de Oftalmología, Hospital Universitario «La Fe» (Departamento de Cirugía, Universidad de Valencia).

Introducción

Aunque las cataratas hoy en día se diagnostican con la lámpara de hendidura, hasta ahora no se ha encontrado un método que sea accesible a la mayoría de los oftalmólogos para determinar de manera objetiva, precisa e intuitiva la magnitud de las mismas. Como consecuencia, la valoración más común de los cambios funcionales debidos a la catarata se ha basado en la evaluación de los cambios de la agudeza visual. Sin embargo, la correlación entre agudeza visual y la catarata observable en la lámpara de hendidura, resulta en muchas ocasiones escasa (1,2).

Intentos recientes de cuantificar la magnitud de las cataratas incluyen tanto métodos subjetivos como objetivos. Entre los primeros destacan los sistemas de clasificación basados en sistemas de fotograduación (3,4) y valoración de fotografías Scheimpflug (5). Entre los segundos se encuentran el análisis

densitométrico longitudinal de imágenes fotográficas (6), el método de sustracción del componente de color (7), el sistema Lensmeter 701 (8) y la autofluorescencia (9).

Las limitaciones descritas para los métodos de evaluación subjetivos incluyen la defectuosa graduación de las imágenes, la falta de relación entre la graduación del color y parámetros del color no contemplados como el tono, la saturación y la luminosidad, la falta de sensibilidad para la detección de cambios en estadios precoces y la falta de igualdad de los intervalos propuestos en las diferentes escalas (4). La mayoría de los métodos objetivos encuentran, por otro lado, difícil aplicación en la clínica diaria y resultan poco intuitivos.

Nuestro objetivo es establecer un estándar en el tratamiento y visualización de imágenes de cataratas, que sea fácilmente reproducible, de aplicación clínica y que aporte una objetiva mejora sobre la imagen obtenida en la lámpara de hendidura (10,11,12).

Material y métodos

El estudio se realizó sobre 15 cataratas nucleares juveniles de 9 pacientes cuya edad media fué 16 años (rango, 6-27 años). Partimos de imágenes fotográficas de cataratas nucleares obtenidas bajo midriasis, sin difusor y con la máxima apertura de hendidura (figura 1), sobre las cuales realizamos la digitalización y el análisis posterior utilizando: un ordenador PC-Compatibile, una placa digitalizadora PIP-1024 de la marca MATROX, una cámara CCD de Blanco/Negro de la marca RCA y un monitor de visualización en color marca SONY, tecnología trinitrón y modelo KX-14CP1 (esquema 1).

Con el fin de lograr una perfecta estandarización del método a aplicar, desglosamos el tratamiento sobre las imágenes

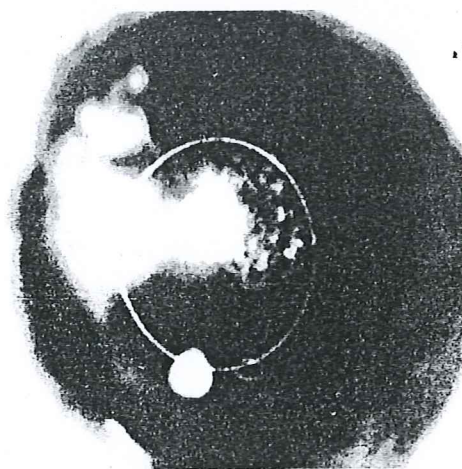
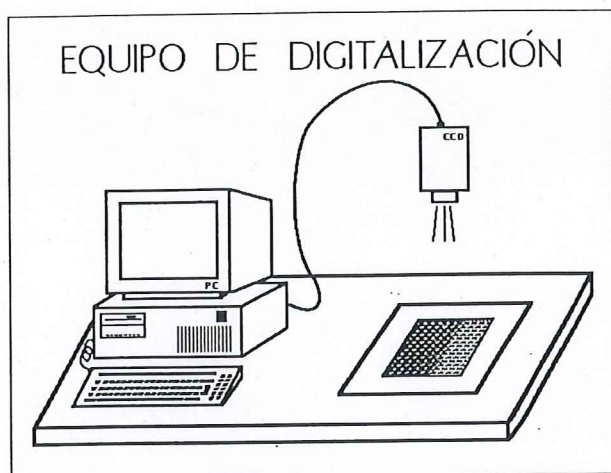


Fig. 1. Imagen de catarata nuclear bajo midriasis en niveles de gris.



ESQUEMA 1. La cámara CCD se halla conectada a una placa digitalizadora instalada en un ordenador PC compatible.

en dos fases. Una primera consistente en una normalización en escala de grises, que tuvo como fin minimizar las diferencias en las condiciones de luminosidad y apertura de diafragma en las distintas capturas de imagen. Otra segunda, en la que aplicamos pseudocolor a las imágenes modificadas para permitir que el ojo del oftalmólogo captara una mayor información de las variaciones tonales.

Cada imagen fotográfica al ser digitalizada en niveles de gris con el hardware específico incorporado al ordenador, se convirtió en una matriz de puntos de tamaño 512*512 y con una resolución de 256 niveles de gris por punto de imagen. Esta matriz es susceptible tanto de ser almacenada como visualizada en el ordenador. Sobre esta imagen digitalizada se pueden realizar infinidad de tratamientos con fines específicos. Para nuestro estudio

consideramos más útiles las técnicas de realce mediante modificación de histograma y la pseudocoloración (13).

Sobre la imagen inicial realizamos un estudio estadístico para conocer cuál fue la frecuencia de aparición de cada nivel de gris. La representación de este estudio estadístico constituyó el histograma de la imagen original (gráfico 1). Debemos tener en cuenta que una imagen está perfectamente contrastada sólo si el rango de variación de los niveles de gris abarca toda la amplitud de valores posibles (desde 0 a 255) (13). La variación de estos niveles de gris en las imágenes iniciales digitalizadas no se extendió al 100% de su rango de amplitud, lo cual indica que no estaban suficientemente contrastadas. Con el fin de obtener imágenes perfectamente contrastadas, modificamos el nivel de gris de cada punto de imagen para que la imagen final tuviera una distribución estadística que se extendiera a lo largo de todo el rango posible de intensidades (gráfico 2).

El siguiente tratamiento que realizamos sobre las imágenes acromáticas contrastadas fue la pseudocoloración. Este método consiste en asignar a cada uno de los 256 niveles de gris un color diferente. Se realizó asignado a cada nivel de gris un valor de coordenadas colorimétricas RGB (R=rojo, G=verde, B=azul). Teniendo en cuenta que cada una de estas coordenadas puede variar en un margen de 0 a 255, tuvimos la posibilidad de generar 16 millones de colores, de los cuales elegimos 256 que asignamos a cada nivel de gris, de forma no arbitraria sino persiguiendo unos ciertos objetivos: uniformidad en la asignación, colores fríos para intensidades bajas y cálidos para intensidades altas, abarcar una amplia gama de tonalidades cromáticas y

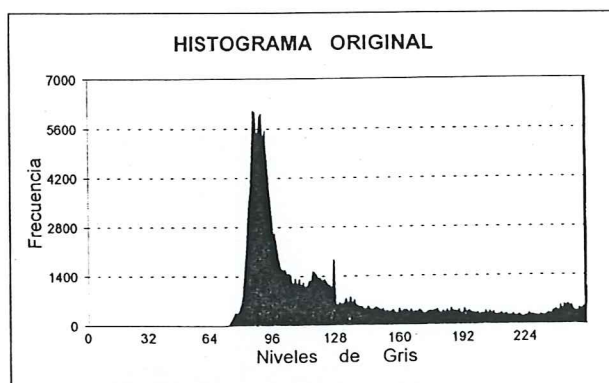


GRÁFICO 1. Histograma de niveles de gris de la imagen de la figura 1.

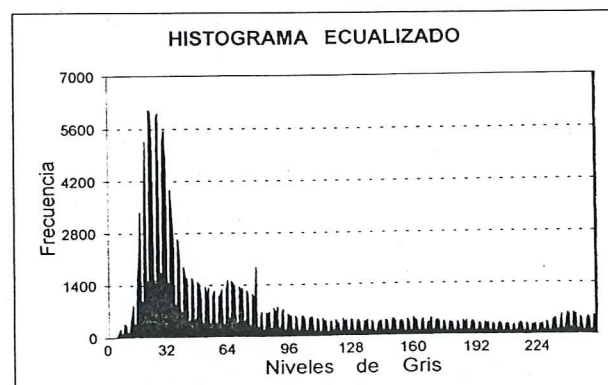


GRÁFICO 2. Histograma ecualizado a la máxima amplitud de niveles de gris.

respetar el color negro para el nivel de gris más oscuro.

Realizamos un estudio sobre tablas de pseudocolor citadas en libros de tratamiento de imagen y experimentamos a partir de ellas con tablas propias, hasta llegar a la conclusión de que la tabla del gráfico 3 reunía las anteriores cualidades.

Resultados

Obtuvimos una mejora considerable en la calidad de la imagen al aumentar el contraste de la misma. De la serie estudiada, conseguimos una media del $25.8 \pm 17\%$ de mejora en el rango de variación de los niveles de gris.

Se ilustra un caso en el que se aprecia la imagen acromática de la catarata nuclear antes y después del realce de intensidad aplicado (figura 1 y 2, respectivamente). En la figura 3 se muestra la pseudocoloración de la imagen original, no contrastada, en la que se observa que no todos los colores de la tabla de asignación se encuentran en la imagen. Al realzar la imagen de niveles de gris aplicando la normalización de histograma, obtuvimos imágenes pseudocoloreadas que abarcaron toda la gama de colores definidos en la paleta (figura 4).

La aplicación combinada de los dos tratamientos propuestos permitió obtener siempre unas tonalidades constantes e invariantes a las condiciones de captura de las imágenes, dependiendo tan sólo del grado de opacidad de las cataratas (figura 5). Las dos imágenes a la izquierda de la figura 5 (superior e inferior) resultan de codificar en color la fotografía de una misma catarata

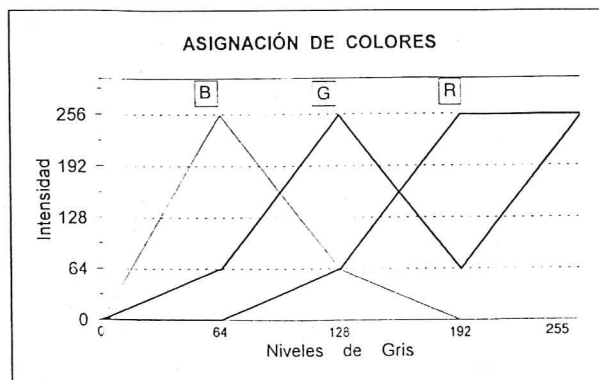


GRÁFICO 3. Asignación de color en espacio colorimétrico RGB a cada intensidad de gris (R=rojo, G=verde, B=azul).

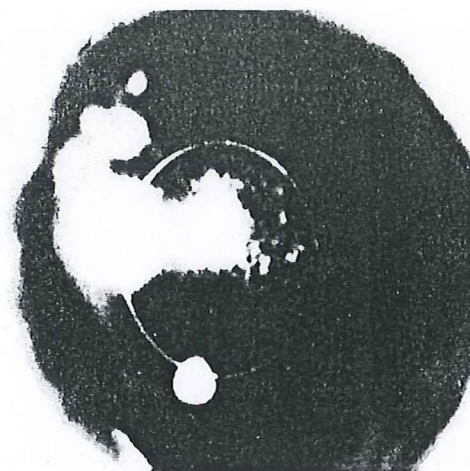


FIG. 2. Imagen en niveles de gris tras la aplicación de la ecualización digital del histograma.

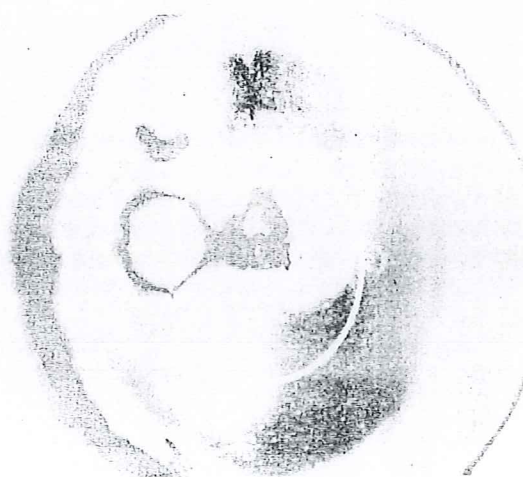


FIG. 3. Aplicación del pseudocolor a la imagen de catarata no contrastada.

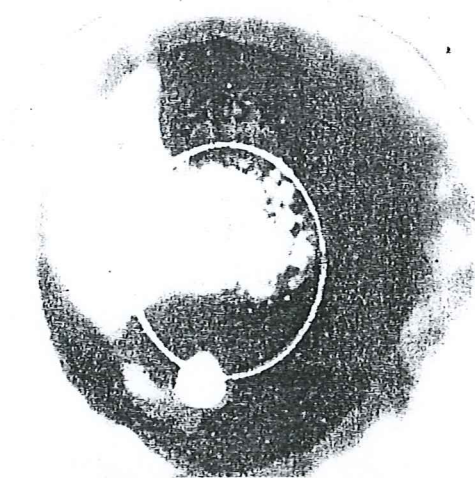


FIG. 4. Aplicación del pseudocolor a la imagen de catarata realizada con ecualización de histograma.

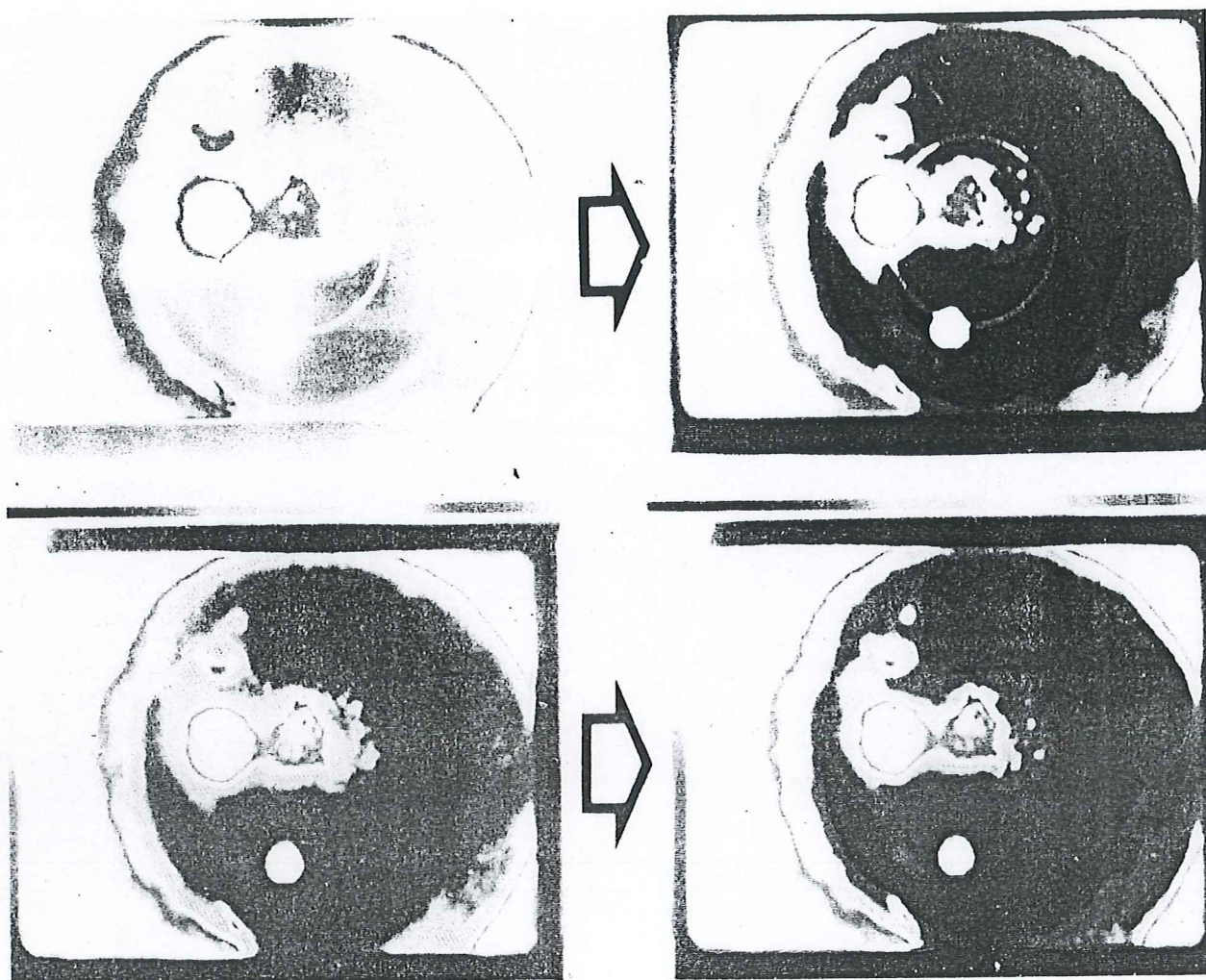


FIG. 5. Imágenes a izquierda con distinta apertura de diafragma. Imágenes correspondientes a la derecha con aplicación de normalización.

tomada bajo distintas aperturas de diafragma, previamente a la normalización. Se puede observar cómo, partiendo de dos imágenes aparentemente diferentes, la normalización del histograma facilita llegar a unas imágenes finales (a la derecha en la figura 5) que minimizan las diferencias previas.

Discusión

El método aquí descrito ha permitido obtener imágenes de cataratas en pseudocolor con unas tonalidades uniformes e invariantes a las condiciones de captura de las imágenes. Gracias a la normalización aplicada, se logra una estandarización en la visualización de la imagen que supera alguna de las dificultades

principales que presentan otros métodos de evaluación de la catarata (3-6). Esto queda perfectamente ilustrado en la figura 5 en la que, partiendo de imágenes de catarata obtenidas bajo distintas aperturas de diafragma, el resultado final es siempre una imagen con la misma gama de tonalidades.

El ojo humano distingue infinidad de colores y, sin embargo, tan sólo es capaz de diferenciar entre una o dos docenas de niveles de gris (13). Mediante la asignación de un color diferente a cada nivel de gris aumentamos extraordinariamente la sensibilidad del método en la detección de mínimas opacidades, haciéndolo útil en el diagnóstico y seguimiento de cataratas nucleares en estadios evolutivos iniciales (10,11,12).

Una de las ventajas del tratamiento aplicado es la potencialidad de ser reproducido y contrastado conociendo la técnica de realce aplicada y la tabla de colores propuesta (10,11,12). Con el tiempo, podría llegar a convertirse en un elemento diagnóstico en el que, gracias a la codificación de colores atribuida a cada nivel de intensidad de gris se pudiera comparar de manera intra e interindividual la magnitud y evolución de la catarata. En hecho de que se logre minimizar los efectos de las diferencias en las condiciones de captación de las imágenes iniciales llegando a imágenes finales en las que la distribución del color obedece casi exclusivamente a la topografía de la opacidad cataratosa, valida nuestro método para la consecución de estos objetivos.

Conclusiones

El método aquí propuesto para el análisis de la catarata nuclear permite de manera objetiva una cuantificación del grado de opacidad del cristalino, haciéndolo extremadamente sensible a variaciones de densidad difícilmente perceptibles en la imagen original y reproducible en el espacio y el tiempo.

Resumen

Presentamos una técnica original que pretende lograr la estandarización de imágenes de catarata nuclear por medio de la codificación digital en color. Estudiamos las fotografías de 15 cataratas nucleares de 9 pacientes (edad media, 16 años). Con el fin de mejorar el contraste y la definición de la forma y densidad de las opacidades, realizamos un análisis estadístico de la imagen capturada en niveles de gris y extendimos el rango de variación a todos los niveles de intensidad (256). Entonces, asignamos colores diferentes a las distintas intensidades que marcan la distribución de las opacidades dentro de la pupila midriática. Conseguimos una media del $25.8 \pm 17\%$ de mejora de intensidad en la escala de grises. Obtuvimos diversas imágenes de las opacidades codificadas en color utilizando tablas de color originales. Encontramos que la imagen codificada en color final era principalmente el resultado de la distribución de las densidades

cataratosas más que de las condiciones ambientales existentes en el momento de la adquisición de la imagen. Este método mejoró los detalles finos de las imágenes de cataratas nucleares y resultó también ser sensible a pequeños incrementos de opacificación. La reproducibilidad y viabilidad del método fueron también buenas y la información se mostró de una manera intuitiva. Por todo ello, nuestra técnica parece ser útil en la evaluación objetiva de las cataratas nucleares.

Palabras clave

Cataratas nucleares, análisis digital de imagen, codificación en color.

Abstract

We present an original technique that aims to standardize images of nuclear opacification by means of digital colour codification. We studied the photographs of 15 nuclear cataracts in 9 patients (mean age, 16 years). To enhance contrast and definition of the shape and density of the opacities, we performed statistical analysis of the image captured in grey scale and spread the histogram of intensities to the full range of intensity levels (256). Then, we assigned different colours to the different intensities which outline the distribution of lens opacities over the mydriatic pupil. We produced a mean enhancement of the grey scale intensity level of $25.8 \pm 17\%$. We yielded numerous colour-coded images of the lens opacities after using original colour tables. We found that the final colour-coded image was mainly dependant upon the distribution of the cataractous densities rather than the environmental conditions in the image acquisition. This method enhanced the detailed features of images of nuclear cataracts and was also sensible to little increments of opacification. Reproducibility and feasibility were good and the information was showed in an intuitive way. For all this, our technique appears to be useful for objective evaluation of nuclear cataracts.

Key words

Nuclear cataract, digital image analysis, colour codification.

Bibliografía

1. SPARROW JM, BRON AI, BROWN MAP, AYLIEFF W, HILL AR: *The Oxford clinical cataract classification and grading system*. Int Ophthalmol. 1986; 9: 207-225.
2. GUTHAUSER U, FLAMMER J: *Quantifying visual field damage caused by cataract*. Am J Ophthalmol. 1988; 106: 480-484.
3. CHYLACK LTJR, LESKE MC, MCCARTHY D, KHU PM, KASHIWAGI T, SPERDUTO R: *Lens Opacities Classification System II (LOCS II)*. Arch Ophthalmol. 1989; 107: 991-997.
4. CHYLACK LTJR, et al: *Lens Opacities Classification System III (LOCS III)*. Arch Ophthalmol. 1993; 111: 831-836.
5. HOCKWIN O, LERMAN S, OHRLOFF C: *Investigations of lens transparency and its disturbances by microdensitometric analysis of Scheimpflug photographs*. Curr Eye Res. 1984; 3: 15-22.
6. ROUHIAINEN P, ROUHIAINEN H, NOTKOLA IL, SALONEN JT: *Comparison of the Lens Opacities Classification System II and Lensmeter 701*. Am J Ophthalmol. 1993; 116: 617-621.
7. KHU PM, KASHIWAGI T: *Quantitative Nuclear Opacification in Color Scheimpflug Photographs*. Invest Ophthalmol Vis Sci. 1993; 34: 130-136.
8. FLAMMER J, BEBIE H: *Lens opacity meter. A new instrument to quantify lens opacity*. Ophthalmologica. 1987; 195: 69-74.
9. VAN BEST JA, et al: *In vivo assessment of lens transmission for blue-green light by autofluorescence measurement*. Ophthalmic Res. 1985; 17: 90-95.
10. MALDONADO MJ, RODRÍGUEZ-GALIERO A, MUÑOZ G, MENEZO JL: *A diagnostic approach to the digital imaging of developmental cataracts*. Cataract'93. Melbourne, Australia. 1993.
11. MALDONADO MJ, CORTINA P, ARNAU V, MENEZO JL: *Objective assessment of cataract using digital colour codification*. JERMOV, Joint European Research Meetings in Ophthalmology and Vision. Montpellier, Francia. 1994.
12. MALDONADO MJ, ARNAU V, PÉREZ-TORREGROSA V, RODRÍGUEZ-GALIERO A, HARTO MA, MENEZO JL: *Codificación en color y análisis de la catarata nuclear*. Arch Soc Españ Oftalmol. 1995. En prensa.
13. GONZALEZ RC, WINTZ P: *Digital Image Processing*. Second ed. USA: Addison-Wesley Publishing Company. 1989: 191-197.