

Aplicación de un sistema basado en casos para la identificación de opacidad en la cápsula posterior mediante imágenes del pentacam

Application of a case-based system for the identification of opacity in the posterior capsule using pentacam images

Michel Alvarez Cancio,^I Reyder Cruz de la Osa,^{II} Iván Hernández López^{III}

I Universidad de las Ciencias Informáticas, Carretera a San Antonio de los Baños, km 2 ½, Torrens, Boyeros, La Habana. E-mail: mcancio@uci.cu

II Universidad de las Ciencias Informáticas. E-mail: reyder@uci.cu

III Laboratorio Experimental, Instituto Cubano de Oftalmología, Cuba. E-mail: ivanhl@horpf.sld.cu

RESUMEN

La opacidad de la cápsula posterior (OCP) es actualmente uno de los aspectos más importantes en la cirugía de catarata de los tiempos modernos. Sigue siendo la complicación posoperatoria tardía más frecuente tras la cirugía de catarata asociada con disminución de la agudeza visual, deterioro de la sensibilidad al contraste y problemas de deslumbramiento que conllevan importantes repercusiones sociales, médicas y económicas. El software PANDOC provee al oftalmólogo de una herramienta por medio de la cual este es capaz de cuantificar numéricamente y detectar diferencias de opacidad (a veces imperceptibles para el ojo humano), logrando así una evaluación objetiva del grado de opacidad y de esta forma minimizar el sesgo de observación entre un médico y otro. Por ello surge la necesidad de identificar automáticamente la OCP en estas imágenes, para lo cual se diseña un sistema basado en casos. La presente investigación se enmarca en la aplicación de un sistema basado en casos integrado al software PANDOC, para identificar y cuantificar objetivamente OCP mediante el uso de las imágenes resultantes de la cámara Scheimpflug del Pentacam.

Palabras Clave: opacidad de la cápsula posterior, cataratas, PANDOC, PENTACAM, sistemas basados en casos, base de conocimientos.

ABSTRACT

The posterior capsule opacity (PCO) is nowadays one of the most important aspects in cataract surgery of modern times. It's still the most frequent post operator complication associated with visual acuity diminution, deterioration of contrast sensitivity and blinding problems that lead to social, medical and economic repercussions. PANDOC software is a tool for numerical quantification and detection of opacity differences (sometimes imperceptible for human eyes), reaching an objective evaluation of opacity degree and minimizing the observation bias between one doctor and another. For that reason is necessary to identify automatically PCO in these images, for which is designed a case-based system. The present research is oriented to the application of a case-based system for the PANDOC software, to identify and quantify objectively PCO using the resulting images of the Pentacam's Scheimpflug camera.

Keywords: posterior capsule opacity, cataract, PANDOC, PENTACAM, case-based systems, knowledge base.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad miles de personas de todo el mundo padecen de la enfermedad de cataratas, sufriendo como consecuencia la pérdida total o parcial de la visión. La catarata no es más que opacidad en el cristalino del ojo, trayendo como consecuencia que la luz se disperse dentro del ojo y no sea posible enfocar en la retina, de esta forma crea una serie de imágenes difusas. Las cataratas generan problemas con la apreciación de cambios de colores y cambios de contrastes. Es la causa más común de ceguera tratable con cirugía. Tiene diversas causas pero se le atribuye mayormente a la edad, acelerando este proceso si el paciente padece de enfermedades como la diabetes o hipertensión. Con mayor frecuencia esta enfermedad tiende a aparecer en pacientes mayores de cincuenta años de edad.¹

Tras una intervención quirúrgica el paciente puede recuperar su visibilidad total o parcialmente, pero no en todos los casos la cirugía es un éxito a largo plazo, pues en muchos de ellos el paciente puede presentar complicaciones postoperatorias. La complicación postoperatoria más frecuente a largo o mediano plazo es la Opacidad de la Cápsula posterior (OCP). La cápsula posterior es una estructura que anatómicamente queda por detrás de la lente intraocular implantada en el paciente operado de catarata. Para garantizar una buena recuperación visual del paciente es imprescindible la transparencia de esta estructura. La OCP trae consigo deterioro de la sensibilidad al contraste y problemas de deslumbramiento que conllevan importantes repercusiones sociales, médicas y económicas; esta complicación postoperatoria puede aparecer meses e incluso años después de realizada la cirugía. Su incidencia en la actualidad se encuentra entre 0,7 % y 47,6 % en los primeros cinco años de la cirugía, según un análisis de 90 estudios publicados, mientras que en Cuba asciende hasta el 50% de los casos.²

Disímiles investigaciones se han realizado con el objetivo de identificar los principales factores que influyen en la aparición de esta anomalía postoperatoria, un importante factor es la biocompatibilidad de la lente intraocular en relación con

el saco capsular.³ En la comunidad médica internacional no existe consenso alguno acerca de la correcta cuantificación de la OCP, se deja a cada especialista la elección de alguna de las técnicas propuestas.²

En los últimos años se han desarrollado disímiles sistemas como POCO del inglés Posterior Capsule Opacification, EPCO (Evaluación de la opacidad de la cápsula posterior),⁴ AQUA (Cuantificación automática de catarata secundaria),⁵ y el sistema AA del inglés AslamAnalysis.⁶ Estos sistemas están basados en las imágenes en retroiluminación obtenidas por las lámparas de hendiduras,⁷ y han sido desarrollados con el objetivo de servir de apoyo a los médicos a la hora de dar un correcto diagnóstico. La mayoría de estos sistemas tienen en común una desventaja muy peculiar producto de las imágenes resultantes de la lámpara de hendidura, que es un efecto producido por la reflexión de la luz en la córnea, conocido como imágenes de Purkinje. Han sido desarrollados varios softwares propietarios para eliminar el efecto indeseable de dichas imágenes, con la función de múltiples imágenes de un mismo ojo,⁸ fotografiadas en direcciones ligeramente diferentes de la mirada,⁹ pero ello involucra una curva de aprendizaje muy larga, ya que es un procesamiento tedioso y engorroso para el paciente.

El Pentacam es un equipo oftalmológico de alta tecnología capaz de reconstruir imágenes tridimensionales de alta resolución del polo anterior del ojo. Estas imágenes son reconstruidas a partir de múltiples fotografías tomadas mediante una cámara rotacional del sistema Scheimpflug con que cuenta el equipo, la cual es capaz de capturar imágenes en múltiples meridianos (hasta 50 imágenes en 2 segundos) en un único escaneo automatizado.¹⁰ El análisis de estos tomogramas en 3D es de gran utilidad para la cuantificación objetiva de la OCP. Los tomogramas del Pentacam tienen además la ventaja de no presentar destellos de luz que interfieran con el análisis como sucede con las fotografías en retroiluminación, tomadas por los sistemas de adquisición de imágenes en lámpara de hendidura.^{3,11}

Existe además un software de libre descarga que es usado hoy en día para el cálculo de la densidad de OCP, en imágenes de tomogramas del Pentacam, desarrollado por el NIH (National Institute of Health, Bethesda, MD), y se denomina NIH ImageJ. Es un completo software de tratamiento de imágenes que brinda herramientas útiles para este propósito. Sin embargo, presenta algunas limitaciones para los propósitos de estudio de la OCP. Se puede utilizar la herramienta de selección circular, la cual extrae una región que debe ser definida previamente por el usuario, necesitando el mismo tener al menos conocimientos de informática y del uso de esta función del sistema, dificultando la obtención del resultado final esperado. Además este visor de imágenes médicas solo devuelve al usuario el resultado de la intensidad promedio del área circular seleccionada en la imagen teniendo en cuenta los píxeles azules de fondo que no pertenecen a la estructura ocular, ya que el mismo responde a un propósito más general.

En la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) se encuentra el Centro de Investigación AIRI (Artificial Intelligence Research and Innovation), el cual tiene como principal resultado y línea de investigación el software PANDOC (Programa Analizador de Opacidad Capsular), realizado en colaboración con el Instituto Cubano de Oftalmología "Ramón Pando Ferrer". El software PANDOC provee al oftalmólogo de una herramienta por medio de la cual este es capaz de cuantificar numéricamente y detectar diferencias de opacidad (a veces imperceptibles para el ojo humano), minimizando el sesgo de observación entre un médico y otro.

Como se pudo apreciar en la descripción del NIH Image J, para la cuantificación de la OCP el especialista debe seleccionar manualmente las regiones que considera de opacidad, cuando fuera deseable una detección automática que brinde los

resultados de cuantificación de la OCP de una manera más sencilla para el oftalmólogo menos avezado. En el presente trabajo se expone el resultado de la aplicación de un sistema basado en casos para la identificación automática de OCP y su posterior cuantificación, que pueda ser utilizada por la comunidad oftalmológica para la evaluación de las múltiples intervenciones que actualmente se investigan para reducir la incidencia de opacidad.

Materiales y métodos

Un Sistema Basado en Casos (SBC), es una de las técnicas de Inteligencia Artificial (IA) más empleadas en la actualidad en los procesos de toma de decisiones, es un tipo de sistema experto que utiliza los casos como forma de representación del conocimiento y emplean el Razonamiento Basado en Casos (RBC) como mecanismo de inferencia.

Dentro de las técnicas de inteligencia artificial, el Razonamiento Basado en Casos (RBC) es un paradigma de solución de problemas que difiere de otros enfoques y técnicas por su capacidad de utilizar el conocimiento específico adquirido en situaciones previas y utilizarlo en la situación presente. El nuevo problema se resuelve buscando en su memoria, un caso similar a este que haya sido resuelto en el pasado. Además incrementa su conocimiento, almacenando el nuevo caso para ser usado en situaciones futuras.¹²

La arquitectura básica de un RBC consiste en una base de casos, un procedimiento para buscar casos similares y un procedimiento de adaptación para ajustar las soluciones de los problemas similares a los requerimientos del nuevo problema.¹²

El ciclo de vida de un RBC está formado esencialmente por los cuatro procesos siguientes:¹¹

- Recuperar el caso o casos pasados más similares, pues retoma la experiencia de un problema anterior que se cree es similar al nuevo.
- Reutilizar la información y conocimiento de este caso o casos recuperados para resolver el nuevo problema. Esto consiste en copiar o integrar la solución del caso o casos recuperados.
- Revisar la solución propuesta.
- Guardar la nueva solución una vez ha sido confirmada o validada. Se guardan aquellas partes de la experiencia de manera tal que sea útil para resolver problemas futuros.

En un sistema con RBC se incluirá información acerca de la especificación del problema y atributos del medio que describen el entorno del problema. La descripción del problema debe incluir:

- Las metas que se deben conseguir para resolver el problema.
- Las restricciones de estas metas.
- Las características de la situación del problema y las relaciones entre sus partes.

Otra información de vital importancia que se debe almacenar es la descripción de la solución, que será usado cuando se encuentre una situación similar [12].

Dependiendo de cómo el sistema razone con los casos, esta descripción puede incluir únicamente los hechos que llevan a la solución o información sobre pasos adicionales en el proceso de obtención de la solución. Además la descripción de la solución también podrá incluir:¹¹

- Las justificaciones de las decisiones tomadas en la solución.
- Soluciones alternativas que no fueron elegidas y por qué
- Soluciones no admisibles y la razón por la que fueron rechazadas.
- Expectativas acerca del resultado de la solución.

Es importante incluir una medida del éxito, si en la base de casos se han logrado soluciones con diferentes niveles de éxito o fracaso. También se debe incluir información acerca del resultado.¹¹

- Si el resultado cumple o no con las expectativas y una explicación del por qué.
- Si el resultado fue un éxito o un fracaso.
- Estrategia de reparación.

El conocimiento que almacena un caso es específico, no abstracto, y todo el conocimiento relacionado (es decir, conocimiento aplicable en una circunstancia concreta) se encuentra cerca en la base de casos, esto quiere decir que el conocimiento necesario para resolver un problema específico se encuentra agrupado en unos pocos casos o incluso en uno.¹²

En los sistemas RBC la base de casos es la memoria de casos almacenados. A la hora de construir la memoria se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:¹¹

- La estructura y representación de los casos.
- El modelo de memoria usado para organizar los casos.
- Los índices empleados para identificar cada caso.

En muchos sistemas RBC no se necesitan almacenar todos los casos existentes, sino que se sigue un criterio para decidir cuáles casos almacenar y cuales descartar.

Una vez elegida la representación de los casos, la elección del modelo de memoria es el siguiente paso. Existen principalmente dos estructuras de memoria, plana y jerárquica.¹¹ En una estructura plana de la base, los casos se almacenan secuencialmente, mientras que en una estructura jerárquica los casos se agrupan en categorías para reducir el número de casos a buscar en una consulta.^{11,13}

Componentes de un sistema basado en casos

Un sistema basado en casos consta de tres componentes principales: una BC, un analizador de problemas y un recuperador de casos; estos dos últimos conforman el

motor de inferencia (MI).¹⁴ A partir de dichos componentes se enuncia un conjunto de pasos para el desarrollo del mismo, con el objetivo de la identificación de opacidad en pacientes operados de cataratas.

Secuencia de pasos para el desarrollo:

1. Definir los rasgos predictores y los rasgos objetivos.
2. Determinar el dominio de definición de cada rasgo.
3. Determinar el peso informacional de cada rasgo.
4. Definir las funciones de comparación de rasgos.
5. Definir las funciones de comparación de casos.
6. Representar los casos.
7. Obtener el nuevo caso a resolver.
8. Comparar el nuevo caso con la Base de Casos.
9. Obtener los 'k' casos más semejantes.
10. Seleccionar el rasgo objetivo, siendo este el paso fundamental para la solución.

Definición de los rasgos predictores y los rasgos objetivos

Los rasgos predictores se han definido en base a los conocimientos brindados por los especialistas, teniendo en cuenta su criterio de evaluación de la opacidad. Cada pixel será un nuevo caso a resolver teniendo en cuenta sus rasgos predictores y rasgo objetivo.

Se comienza por expresar la importancia de la región a evaluar dentro de la estructura ocular. Obteniéndose el rasgo: Región, la misma estará enfocada entre los 3 y 5 mm en correspondencia con el centro de la estructura ocular. La imagen se dividirá en 32 regiones equivalentes, lo que permitirá comparar la región que se encuentre en análisis y sus dos regiones vecinas con el objetivo de encontrar las semejanzas entre casos.

Cada pixel será tratado como un objeto o caso, siendo importante la composición RGB de colores primarios Rojo, Verde y Azul de cada uno de ellos, (RGB por sus siglas en inglés), este es otro dato comparable con importancia para el problema en cuestión. Surge así el rasgo: Intensidad, este resultado está dado por el promedio de la intensidad de los colores primarios que componen el pixel.

La cercanía del objeto al centro de la estructura ocular es de suma importancia a la hora de detectar opacidad, por lo que se obtiene el rasgo: Cercanía al centro. El valor de este rasgo está dado por el resultado del cálculo de la distancia euclidiana entre el punto y el centro de la estructura ocular a analizar.

En la descripción resalta además el comportamiento de los píxeles vecinos dentro de la imagen. Conocer si un pixel se encuentra aislado o si aparece dentro de una nube de opacidad, es significativo para la evaluación de si corresponde con un píxel

opaco, o es parte de la estructura ocular o simplemente es un pixel azul de fondo. Siendo necesarios adquirir los rasgos: Vecindad e Intensidad de los vecinos. El primero es analizado como un número binario de 8 cifras, representando cada elemento los 8 pixeles vecinos a analizar (1 si presenta variación el pixel y 0 en caso que sea un pixel de fondo o parte de la estructura ocular).

Como se muestra en la figura 1, el número binario es representado así: ABCDEFGH, siendo X el pixel analizado y el resto, los pixeles vecinos. El segundo rasgo resultante está dado por el promedio de la intensidad de la composición de los colores primarios que componen los pixeles vecinos.



Fig. 1. Representación del rasgo "Vecindad"

Luego de definidos los rasgos predictores se define el rasgo objetivo: Opacidad. Este rasgo devuelve el resultado del análisis final de si el objeto (pixel) representa o no opacidad dentro de la estructura ocular.

Dominio de definición de cada rasgo

En este paso se procede a determinar el dominio de definición de cada rasgo, expresados en la tabla 1:

Tabla 1. Dominio de definición de cada rasgo

Rasgo	Tipo de Valor	Dominio
Región	Entero	[1,...,32]
Intensidad	Entero	[100,...,230]
Cercanía al centro	Entero	[75,...,120]
Vecindad	Binario	[00000000,...,11111111]
Intensidad de los vecinos	Entero	[0,...,255]
Opacidad	Binario	[0,1]

Peso informacional de cada rasgo

Luego de tener los rasgos y el dominio de definición de los mismos, se hace necesario definir el peso informacional que posee cada uno de ellos para nuestro problema. Estos pesos fueron definidos teniendo en cuenta la información que brinda para el análisis cada uno de los rasgos. A continuación se muestra la conformación de dichos pesos en la tabla 2:

Tabla 2. Peso informacional de cada rasgo

Rasgo	Peso informacional {1,...,10}
Región	8
Intensidad	5
Cercanía al centro	10
Vecindad	5
Intensidad de los vecinos	2

Funciones de comparación de rasgos

A continuación se muestran las funciones para evaluar la semejanza de los rasgos que han sido extraídos del nuevo caso con los casos existentes en la BC, las cuales fueron tomadas del libro "Enfoque Lógico

Combinatorio al Reconocimiento de Patrones".¹⁵

Siendo la función

$$C_s(X_s(O_i), X_s(O_j)) = \begin{cases} 1 & \text{Si } X_s(O_i) = X_s(O_j) \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

un concepto de igualdad, donde (O_i) es el valor del rasgo X_s en el objeto O_i . Aplicable a los rasgos: *Región* y *Vecindad*.

La función

$$C_s(X_s(O_i), X_s(O_j)) = \begin{cases} 1 & \text{Si } X_s(O_i), X_s(O_j) \in [A_p, A_{p+1}] \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Es un concepto de intervalo, donde $X_s(O_i)$ es el valor del rasgo X_s en el objeto O_i , A_p, A_{p+1} , son los valores iniciales y finales del intervalo. Donde el conjunto de los

mismos sería, $M_{int} = [100,140] \cup [141,180] \cup [181,230]$ siendo esta aplicable al rasgo *Intensidad* de la siguiente forma:

- I. (100,140) Intensidad Baja

II. (141,180) Intensidad Media

III. (181,230) Intensidad Alta

Y la función
$$C_s(X_s(O_i), X_s(O_j)) = \begin{cases} 1 & \text{Si } (X_s(O_i) - X_s(O_j)) < \varepsilon_s \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

es un concepto de semejanza asociado a un umbral, donde $X_s(O_i)$ es el valor del rasgo X_s en el objeto O_i es el umbral asociado al rasgo X_s . Es aplicable a los rasgos:

Intensidad de los vecinos y Cercanía al centro con los siguientes valores de umbral:

Intensidad de los vecinos: $\varepsilon_s = 10.0$

Cercanía al Centro: $\varepsilon_s = 0.1$

Funciones de comparación de casos

Después de definidas las funciones de comparación de rasgos se procede a comparar el objeto (caso) nuevo con los existentes en la BC. La función de semejanza que se utiliza para la comparación de dichos casos, tomada del libro "Enfoque Lógico Combinatorio al Reconocimiento de Patrones"¹⁵ es:

$$\beta(\Omega(O_i), \Omega(O_j)) = (\sum_{X_i \in S} P(X_i) / \sum_{X_i \in \Omega} P(X_i))$$

Donde (X_s) es una magnitud asociada a cada rasgo X_s que refleja su relevancia (Peso Informacional), S es el conjunto de rasgos coincidentes entre los objetos (O_i, O_j) , es el conjunto total de rasgos que se consideran y $\Omega(O_i)$ es el conjunto de rasgos del objeto O_i . Esta función es utilizada debido a que todos los rasgos no contienen el mismo peso informacional (no aportan la misma información) y su medida de semejanza viene dada por el promedio de los pesos asociados a cada una de las variables, que en las respectivas descripciones de los objetos comparados resultaron ser semejantes. Como resultado se obtiene un valor porcentual de la semejanza de los mismos atendiendo al peso informacional de cada rasgo.

Representación de los casos

Esta etapa de almacenamiento consiste en registrar en la base de conocimiento la información derivada del nuevo caso.

El almacenamiento de los casos se realiza en una base de casos, la cual se nutre de los casos nuevos proporcionados por el sistema y los casos previamente almacenados en ella. Coexisten así los conocimientos, las experiencias brindadas por los especialistas y las recreadas por el sistema. En esta BC se almacena el conocimiento necesario para resolver los problemas del dominio de aplicación.

El conocimiento se representa a través de una tabla en la cual las columnas son etiquetadas por variables que representan los rasgos predictores y el rasgo objetivo (decisión) y las filas representan los casos. Para la representación de los casos, además de las columnas descritas existirá una columna con una variable (Valor Global) que mediante un valor numérico hace énfasis en la descripción general de

cada uno de los rasgos predictores del caso en cuestión. Esta variable nos beneficia en la organización de la base de casos en función de su valor.

Obtener el nuevo caso a resolver

La obtención del nuevo caso a resolver se desencadena cuando el usuario del sistema carga la imagen médica resultante de un tomograma Scheimpflug del PENTACAM. Los casos están vinculados a cada pixel de la imagen cuya variación de colores sea distinta a la del fondo y se encuentre entre los 4 y 6 mm de radio (área de interés donde se encuentra la opacidad) con respecto al centro de la estructura ocular, siendo cada uno de estos un nuevo caso a dar solución.

Comparación del nuevo caso con la Base de Casos

En la base de casos todos los datos estarán organizados de menor a mayor por el valor de la variable "Valor Global", de forma que para comparar el nuevo caso con los existentes en la base de casos, se seleccionan de la base de conocimiento aquellos valores cuya descripción se ajusta más a la información presentada en el nuevo caso. A estos casos más cercanos al valor del nuevo se le aplican las funciones de comparación de rasgos para comparar cada uno de los rasgos de los mismos, y después se utiliza la función de comparación de casos para comparar finalmente estos, definiendo posteriormente el valor del rasgo objetivo de este nuevo caso.

Obtención de los 'k' casos más semejantes

Después de la selección de los casos más semejantes de la base de casos y la comparación cada uno de estos con el nuevo caso, se procede a escoger los "k" casos más semejantes, para lo que se propone usar k=5 siendo la comparación en un espectro de casos más amplio demasiado costosa computacionalmente.¹⁴

Selección del rasgo objetivo

Para la selección del resultado del rasgo objetivo, revisaremos los "k" más semejantes ordenándolos de menor a mayor según su valor de semejanza. Después aplicamos la siguiente fórmula para obtener el resultado:

$$\theta(Ck) = \begin{cases} 1 & \text{Si } (\sum_{x=1}^k (Vn(Cx) * x) * V) > 0 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Donde $Vn(Cx)$ es una magnitud asociada a cada caso Cx develada por el resultado de su función de comparación $\beta(\Omega(Oi), \Omega(Oj))$ con el nuevo caso, K es el conjunto de los casos con mayor valor de coincidencia, V es un valor que denota la presencia de opacidad en el caso dado por el rasgo objetivo Opacidad del caso almacenado, el cual toma valor 1 si es opacidad y -1 en caso de ausencia de la misma, y el valor de $\theta(Ck)$ nos representa la presencia o la ausencia de opacidad en el caso en cuestión, representando este el resultado del rasgo objetivo.

Resultados y discusión

Se utilizó una muestra de 8 imágenes de prueba de cada ojo del Pentacam de pacientes operados de catarata que presentaban OCP para comprobar la efectividad en la detección automática realizada por el sistema PANDOC. Se realizó una comparación entre la identificación de la OCP por el especialista y la realizada por el software, obteniéndose resultados muy similares, como se puede apreciar en las figuras (2, 3, 4, 5, 6 y 7).

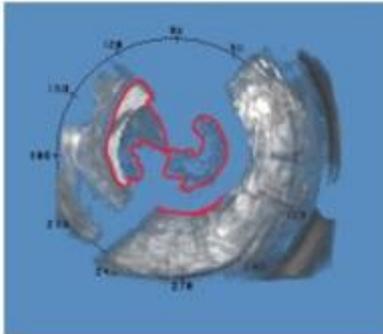


Fig. 2. Región de opacidad detectada por el especialista en el paciente 1



Fig. 3. Región de opacidad detectada por el software en el paciente 1

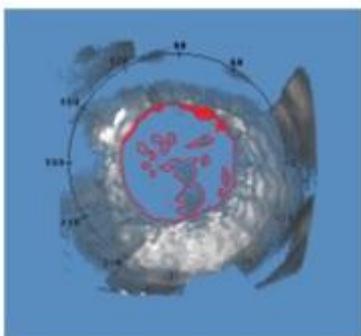


Fig. 4. Región de opacidad detectada por el especialista en el paciente 2



Fig. 5. Región de opacidad detectada por el software en el paciente 2

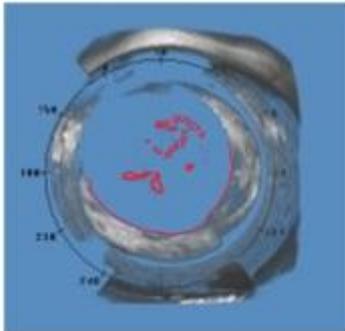


Fig. 6. Región de opacidad detectada por el especialista en el paciente 3



Fig. 7. Región de opacidad detectada por el software en el paciente 3

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado la aplicación de un sistema basado en casos para la identificación automática de la opacidad de la cápsula posterior mediante tomogramas SCHEIMPFLUG del PENTACAM en pacientes operados de catarata. A partir del análisis de las imágenes del PENTACAM y la validación de los expertos se definen los rasgos que identifican cada uno de los casos, su dominio y el valor informacional de cada uno de estos. Se definieron las funciones de semejanza entre los rasgos y casos y quedando determinado el mecanismo de recuperación y la elección del resultado en el rasgo objetivo del nuevo caso a analizar.

A partir de lo expuesto se concluye lo siguiente:

Los sistemas basados en casos constituyen una herramienta efectiva para la cuantificación de la opacidad de la cápsula posterior.

La identificación de las distintas regiones con opacidad dentro de la imagen médica, pueden ser utilizadas para expresar el valor de densidad de la opacidad de la cápsula posterior del paciente.

El sistema podrá ser utilizado en el análisis de tomogramas Scheimpflug por parte del personal menos experimentado y como software de apoyo en investigaciones médicas del campo de la OCP.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acosta R, Hoffmeister L, Roman R, Comas M, Castilla M, Castells X. "Revisión sistemática de estudios poblacionales de prevalencia de cataratas". Ingeniería Mecánica, Vol.81, s. n., pp. 509 - 516, Barcelona, 2006.
2. Hernández I; Hernández JR; Castro Y; Garcés A; Veitía Z; Pérez E. "Estrategias de prevención de la opacidad de la cápsula posterior". Revista Cubana de Oftalmología, Vol.23, s. n., 2010.
3. Findl O; Buehl W; Bauer P; Sycha T. "Intervenciones para la prevención de la opacificación de la cápsula posterior". Biblioteca Cochrane Plus, 2010.
4. Barman SA. "Quantification of posterior capsular opacification in digital images after cataract surgery". Vol.3979, s. n., 2000.
5. Findl O; Buehl W. "Comparison of 4 methods for quantifying posterior capsule opacification". Journal of Cataract & Refractive Surgery, Vol 29, 2003.
6. Tariq A; Patton N; Dhillon B. "Assessment of systems of analyzing PCO". Journal of Cataract & Refractive Surgery. Vol.31, 2005.
7. Friedman DS; Duncan DD. "Digital image capture and automated analysis of posterior capsular opacification". Investigative Ophthalmology and Visual Science. Vol 40, 2010.
8. Findl O; Buehl W. "Reproducibility of standardized retroillumination photography for quantification of posterior capsule opacification". Journal of Cataract & Refractive Surgery. Vol 28, 2002.
9. Tezt M; Gerd U; Sperker M; Blum M; Völcker HE. "Comparison of 4 methods for quantifying posterior capsule opacification". Journal of Cataract & Refractive Surgery. Vol 10, 1997.
10. Hernández I. "Cuantificación objetiva de la opacidad de la cápsula posterior mediante tomogramas Scheimpflug del Pentacam". Revista Cubana de Oftalmología. Vol.24, s. n., 2011.
11. Lozano L; Fernández J. Razonamiento basado en casos: una visión general, España, 2008.

12. Gutiérrez I; Bello RE; Tellería A. "Un sistema basado en casos para la toma de decisiones en condiciones de incertidumbre". Vol.23, Santa Clara, 2002.

13. Martínez N; García MM; García ZZ; Ferreira G. "El paradigma del razonamiento basado en casos en el ámbito de los sistemas de enseñanza/aprendizaje inteligentes". Revista Electrónica de Tecnología Educativa, ISSN: 1135-9250. Santa Clara, 2009.

14. Alvarez M; Rodríguez R, Hernández I. "Diseño de un sistema basado en casos para la identificación de opacidad mediante el Pentacam". UCIENCIA, La Habana, 2014.

15. Shulcloper JR; Guzmán A; Martínez JF. "Selección de variables y clasificación supervisada"[aut. libro] José Ruiz Shulcloper Enfoque Lógico Combinatorio al Reconocimiento de Patrones, México: Instituto Politécnico Nacional, 1999, pág. 150.

Recibido: 22 de marzo de 2016.

Aprobado: 12 de mayo de 2016.