

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Bioinformática
Recibido: 23/06/2014 | Aceptado: 01/07/2015

Componente de software para el cálculo del puntaje total de calcio en las arterias coronarias

Software component for computing the Coronary Artery Calcium Score

Alexander Rodríguez Bonet ^{1*}

¹ Facultad 2 - Universidad de las Ciencias Informáticas. Carretera a San Antonio de los Baños, km 2 ½, Torrens, Boyeros, La Habana, Cuba. CP.: 19370. abonet@uci.cu

* Autor para correspondencia: abonet@uci.cu

Resumen

Las enfermedades cardiovasculares constituyen la segunda causa de muerte en Cuba. Para combatirlas se destaca el uso de equipos de alta tecnología para la adquisición y procesamiento de imágenes médicas. En las modalidades de imágenes de cardiología, esas herramientas son especializadas y complejas. En los hospitales de Cuba, sólo están disponibles estas aplicaciones en los propios equipos médicos, condicionando su uso a esa estación y requiriendo la presencia del especialista en el lugar para su valoración e informe. En la Universidad de las Ciencias Informáticas, se construyeron aplicaciones para visualizar y procesar imágenes médicas con un propósito general. Debido a la necesidad de contar con herramientas especializadas para cardiología, se realizó esta investigación preliminar. Para ello se visitaron cardiocentros de la capital, con el fin de conocer funcionalidades de software de estos equipos que pudieran extenderse a otras computadoras. Además se conoció que si se adiciona a los factores de riesgo tradicionales, la puntuación de calcio en las arterias coronarias, mejora considerablemente la clasificación del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares. Basado en estos estudios, se desarrolló un componente para la puntuación de calcio en las coronarias con imágenes de tomografía. Para lograrlo se utilizó el método de Agatston, algoritmos de geometría computacional para el cálculo de áreas y segmentación de imágenes por umbralización y crecimiento de regiones. De esta manera se comprobó que es factible el desarrollo de aplicaciones de este tipo, que una vez introducidas, podrán optimizar los servicios especializados de cardiología, brindando soporte al estudio de estas patologías.

Palabras clave: componente, software, puntuación de calcio, arterias coronarias.

Abstract

Cardiovascular diseases are the second cause of death in Cuba. Among the resources for combat this problem, stands the purchase of high technology medical equipment for the acquisition and image processing. In the case of imaging modalities in cardiology, these tools are highly specialized and complex. In the Cubans healthcare centers, these applications are available only in the medical own equipment, conditioning its use to that station and requiring specialist presence in place for evaluation and report. At the University of Informatics Sciences, were built applications for displaying and processing medical imaging with a general purpose. Due to the need to count for specialized tools for cardiology, this preliminary research was conducted. For that, some Cardio centers were visited in the capital, with finally to know some software functionalities of these devices that could spread to other computers. Furthermore it was revealed that when Coronary Artery Calcium Score is added to traditional risk factors, it results in a significant improvement in the classification of risk for the prediction of coronary heart disease events in an asymptomatic population. Based on these studies, were developed a component for the Coronary Artery Calcium Score with CT images. To achieve this, were used the method of Agatston, algorithms of computational geometry to calculate areas and image segmentation by thresholding and regions growth. Thus it was found that it is feasible to develop these applications, which once introduced, can optimize the specialized services in cardiology, providing support studies these pathologies.

Keywords: *component, software, coronary artery calcium score.*

Introducción

Las arterias coronarias son una rama de la arteria aorta que irrigan de sangre al corazón. La calcificación de las paredes de las arterias, que se puede observar en las coronarias, en la propia aorta o en cualquier otra arteria de mediano o gran calibre, es un signo de arteriosclerosis desarrollada. La lesión se inicia en la pared de la arteria, donde se van depositando lípidos, como el colesterol, y células, formando la placa de ateroma, que posteriormente se va haciendo más fibrosa y puede llegar a calcificarse. La obstrucción de las coronarias por estas placas, es la causa principal del infarto (Fernández, 2014).

El riesgo de ser afectado por enfermedades coronarias aumenta con la edad, es más frecuente en hombres que en mujeres (especialmente en edades pre menopáusicas) y tiene mayor incidencia en la raza negra (Harwell, 2005). Otros indicadores importantes que constituyen factores de riesgo de enfermedades coronarias son: Tabaquismo (incluyendo

fumadores pasivos), dislipidemia, hipertensión arterial, trastornos metabólicos, obesidad, sedentarismo, diabetes y poseer historia familiar de enfermedad coronaria (Nasiff, 2009) (Pérez del Toro, 2009).

Se identificó que cuando se adiciona el *Calcio Score* (puntuación de calcio) coronario a los factores de riesgo tradicionales de la enfermedad coronaria, ocurre una significativa mejora en la clasificación del riesgo para la predicción de dicha enfermedad en pacientes asintomáticos. La incorporación del *Calcio Score* de los individuos, provocó una estimación más refinada del riesgo futuro de enfermedad coronaria que con los factores de riesgo tradicionales solamente, incluyendo más individuos en las categorías de riesgos más extremos. Este estudio proporcionó una fuerte evidencia de que es significativamente útil desde el punto de vista clínico, la reclasificación añadiendo el *Calcio Score* en la evaluación de riesgos en pacientes asintomáticos con riesgo intermedio. La reclasificación tuvo una mejora neta (NRI por sus siglas en inglés) de 0.25, con un 95% de confianza en el intervalo [0.16-0.34] (Polonsky, 2010). puntuación de calcio

En el año 1990, Agatston diseñó un método para cuantificar el calcio a través de la tomografía (Agatston, 1990). El *Calcio Score* introducido por Agatston tiene las ventajas de que no necesita ayuno del paciente, ni esfuerzo físico, tampoco requiere medicamentos ni sustancia contraste, es fácil de realizar y el resultado es inmediato aunque el paciente recibe pequeña dosis de radiaciones (Llerena, 2010). Esto permitió a los especialistas apoyarse en las nuevas tecnologías para la estratificación y diagnóstico de los pacientes, con menos afectación al paciente.

En otra investigación realizada en el Instituto de Cardiología y Cirugía Cardiovascular (ICCCV) de Cuba, se concluyó que la cuantificación del calcio en las coronarias a través de la tomografía de 64 cortes es una herramienta útil en la estratificación de los pacientes con sospecha de cardiopatía isquémica. En general los pacientes con *Calcio Score* de 0 UA (unidades Agatston) tienen baja probabilidad de presentar estenosis coronaria significativa (ECS). Los pacientes con *Calcio Score* mayor o igual que 400 UA se asocian con frecuencia a ECS y enfermedad multivaso; mientras mayor sea este mayor será la especificidad diagnóstica, aún en pacientes asintomáticos (Mendoza, 2010).

La enfermedad coronaria también es una causa frecuente de mortalidad en los destinatarios de trasplante hepático. La evaluación de este riesgo se realiza de manera efectiva a través del *Calcio Score* coronario con tomografía multicorte, que es un proceso no invasivo útil para los destinatarios de trasplante hepático (Kemmer, 2014).

Estos resultados favorecen la inclusión del *Calcio Score* coronario como rasgo predictivo para enfermedad coronaria en la implementación de sistemas basados en conocimientos que ayuden a la clasificación del riesgo de padecer esta enfermedad en pacientes asintomáticos. La evolución de los sistemas de diagnóstico asistido por computadoras (CAD

por sus siglas en inglés) ha traído enormes beneficios, por lo difícil y costoso de formar radiólogos experimentados y el incremento de la eficiencia y eficacia en la elaboración de los informes.

Cuba posee una esperanza de vida similar a la de países altamente industrializados. Así mismo, las enfermedades del corazón se convirtieron en la segunda causa de muerte en la isla, solo superada por el cáncer a partir del año 2012. Este hecho puede apreciarse en la Tabla 1, que muestra el número de fallecimientos en orden descendente según las primeras cinco causas de muerte en el 2013 (Dirección de Registros Médicos y Estadísticas de Salud, 2014). Dentro de estas patologías, la de mayor incidencia es la cardiopatía isquémica, por la que fallecen como promedio anual entre 15000 y 16000 cubanos (Obregón, 2009).

Tabla 1. Mortalidad en Cuba según primeras 5 causas de muerte, 2013

Causa	Número	Tasa (por 100 mil habitantes)
Tumores malignos	22 868	204,8
Enfermedades del corazón	22 651	202,9
Enfermedades cerebro- vasculares	9 011	80,7
Influenza y neumonía	6 091	54,6
Accidentes	4 932	44,2

Según la prioridad que se le brinda a la salud del pueblo, el Estado cubano ha llevado a cabo numerosas acciones para combatir esta especie de pandemia. Puede mencionarse el entrenamiento de los especialistas dentro y fuera del país, la modernización de las salas de cuidados intensivos en los hospitales, el acercamiento de servicios especializados a la comunidad a través de los policlínicos, el incremento del Sistema Integrado de Urgencias Médicas y la importación de costosos equipos de alta tecnología para la adquisición y procesamiento de imágenes médicas, como los angiógrafos, ecocardiógrafos y tomógrafos. Estos equipos permiten observar imágenes y videos de diferentes regiones anatómicas del corazón y extraer información valiosa de las mismas. “Esta tecnología provocó un cambio de la cardiología, tiene un impacto abrumador” (Méndez, 2009).

El análisis del Calcio *Score* en las arterias coronarias solo es posible realizarlo en Cuba en las estaciones de trabajo de los escasos equipos modernos de TAC, existentes en algunas instituciones hospitalarias de cabecera. El software que permite realizar este análisis viene empotrado con dichos equipos de TAC y su adquisición es considerablemente costosa e imposible de replicar en otra computadora.

En el Centro de Informática Médica de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) se construyó un software para la visualización, almacenamiento y transmisión de imágenes médicas (XaviaPACS). Su desarrollo inicial tuvo un propósito general, para poder procesar a un nivel básico las imágenes médicas de varias modalidades. Actualmente se han ido integrando al mismo en forma de *plugins* algunos componentes para el procesamiento específico de algunos datos en algunas modalidades de imágenes. En cuanto a las imágenes de tomografía del corazón, permite observarlas y realizar un conjunto de operaciones con las mismas, pero no es posible evaluar el Calcio *Score* en las arterias. De esta manera se planteó como objetivo de esta investigación **desarrollar un componente de software para el cálculo del puntaje total de calcio en las arterias coronarias.**

Materiales y métodos

La primera fase de la investigación constó de varias entrevistas con especialistas del Instituto de Cardiología y Cirugía Cardiovascular (ICCCV), y de los Cardiocentros del Hospital Hermanos Ameijeiras y del Centro de Investigaciones Médico – Quirúrgicas (CIMEQ). Además, allí se observaron varias de las técnicas más frecuentes en el procesamiento de imágenes de tomografía y angiografía que aporta esa moderna tecnología adquirida.

Consultando datos del Centro Nacional de Información de Ciencias Médicas, la Revista Cubana de Informática Médica, la red de INFOMED y otros materiales, se comprobó la elevada prevalencia de las enfermedades del corazón y la relación directa entre los indicadores que se obtienen de las imágenes adquiridas con estos equipos, con el grado y tipo de enfermedad presente en el paciente.

La fase posterior fue identificar las funcionalidades iniciales que se iban a implementar, teniendo en cuenta el grado de dificultad en su realización y la frecuencia de uso en este tipo de estudios. Luego se definieron los métodos y algoritmos necesarios para lograr los hitos que debían alcanzarse. En esta etapa se consultó bibliografía internacional sobre el cálculo del Calcio *Score* en las arterias coronarias utilizando imágenes de TAC (20 artículos y publicaciones en revistas como JAMA, JACC, Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas, Revista Cubana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular, Revista de la Federación Argentina de Cardiología, Revista Española de Cardiología y Archivos de Cardiología de México, entre otras fuentes). En 2012 se realizó un trabajo de diploma de un estudiante de la Universidad de las Ciencias Informáticas definiendo el algoritmo idóneo para identificar y cuantificar la presencia de calcio en las coronarias (García, 2012).

Para la construcción del componente se tomaron como base las estructuras implementadas anteriormente en el Centro de Informática Médica de la UCI para la lectura y visualización de imágenes DICOM. Esta ventaja, sumada a la experiencia del equipo en el procesamiento de imágenes y la tecnología utilizada, así como la definición previa del algoritmo a implementar, contribuyó a que se pudiera terminar una versión preliminar en solo 20 días.

La última etapa consistió en realizar algunas pruebas con estudios previamente analizados en el ICCCV para comparar el valor obtenido en los indicadores en cada caso.

Resultados y discusión

Entre las prioridades del sistema de salud cubano se encuentra la informatización del sector. Parte de este programa lo asume la Universidad de las Ciencias Informáticas con un centro dedicado al desarrollo de aplicaciones para esta tarea. Entre los elementos de software que ya se encuentran en explotación, están los sistemas para la gestión de información sobre estudios de imágenes médicas XAVIAPACS y XAVIARIS, provistos en algunas de las instituciones del país. Estos sistemas se encuentran además en explotación en hospitales venezolanos cumpliendo con acuerdos de exportación de software. La visualización y procesamiento de dichas imágenes a través de estos sistemas, tienen un propósito general. Actualmente se realizan investigaciones para el desarrollo de componentes para la especialización necesaria en algunas ramas como la Oftalmología, la Ortopedia y la Cardiología.

En el mundo, grandes empresas como LUMEDX, SIEMENS y PHILIPS han desarrollado tecnología de punta en equipos médicos y software como los sistemas PACS especializados en el área de Cardiología. Esta tendencia a la especialización se debe a las características específicas de cada área y tipo de estudio y a la necesidad de elevar el nivel de atención y la efectividad de los diagnósticos.

En Cardiología existe gran cantidad de funcionalidades que brindan los equipos médicos. Entre ellas están la puntuación de calcio en las arterias coronarias; la detección de estenosis, aneurismas, tumores y su cuantificación para evaluar el procedimiento a seguir. También se realizan tratamientos a algunas de estas afecciones guiados por las imágenes.

El estudio de algunas de estas funcionalidades y la referencia de las aplicaciones existentes en el mundo, ha permitido iniciar el desarrollo de algunas herramientas partiendo de trabajos realizados anteriormente que se están aprovechando como base. Entre ellas se encuentra un componente de software para analizar imágenes de tomografía multicorte del corazón, con el objetivo de cuantificar la presencia de calcio en las arterias coronarias según su localización. En la

Figura 1 se observa una vista general de los datos de salida del componente. Estas placas obstruyen dichas arterias, provocando insuficiencia cardíaca, y dada la alta prevalencia de estas enfermedades en Cuba, se evidencia la importancia de contar con exámenes que permitan detectarlas tempranamente y evaluar su progreso.



Figura 1. Vista general del componente de cuantificación de calcio en las coronarias

Para etiquetar los depósitos de calcio en las arterias coronarias, se desarrollaron dos métodos de segmentación de imágenes, uno por crecimiento de regiones y otro por umbralización (*thresholding*). El algoritmo implementado de crecimiento de regiones fue el *ConnectedThreshold*, que a partir de un punto inicial segmenta la región de interés, de acuerdo con un intervalo de valores de intensidad definido.

Para determinar el número que refleja el grado y la extensión de estos depósitos de calcio en las paredes de las arterias coronarias, a través de la tomografía computarizada del corazón, se implementó el método diseñado por Agatston. Este método consiste en multiplicar el área de la porción calcificada por el factor de atenuación de calcio de dicha región, como se muestra en la ecuación (1) (Agatston, 1990) (Stanford, 2004).

$$\text{Score} = \text{Área de la región} * \text{Factor de atenuación (1)}$$

La determinación del factor de atenuación depende de la densidad de la región (unidades Hounsfield), como puede apreciarse en la Tabla 2.

Tabla 2. Determinación del factor de atenuación

Hounsfield (HU)	Factor de atenuación
130-200	1
201-300	2
301-400	3
>400	4

Para el cálculo del área de la región calcificada observable en la imagen, se desarrolló un algoritmo de geometría computacional: el Convex-Hull (envoltura convexa). Éste determina el polígono convexo más pequeño que incluye a todos los puntos de la región afectada seleccionada (Sirakov, 2006). Al concluir este algoritmo se tiene un conjunto con los puntos de la envoltura convexa, lo cual permite dividirla en triángulos, calcular el área de dichos triángulos interiores a la envoltura convexa y sumar estas áreas para hallar el área total.

Se realizaron pruebas con un estudio anteriormente analizado en la estación de trabajo de un tomógrafo multicorte SIEMENS del ICCCV, alcanzando valores similares en la cuantificación de calcio, con un error relativo inferior al 10% en todos los casos.

Para el desarrollo de este componente se implementó previamente un visor de imágenes médicas, que permite el tratamiento y análisis de dichas imágenes y ofrece funcionalidades como:

- Aplicar paletas de colores a las imágenes médicas a partir de LUT predefinidos.
- Filtrar imágenes por filtro de suavizado y de inversión de colores.
- Rotar imágenes a ángulos fijos.

Este componente de software constituye un paso de avance para el desarrollo posterior de otras herramientas específicas, que puedan brindar funcionalidades similares a las que se realizan en las estaciones de los equipos médicos, en cualquier estación de diagnóstico lejos de éste.

La realización de estas herramientas no tiene un costo elevado. En este sentido es importante apuntar la presencia de un equipo de desarrollo con más de 8 años de experiencia en el trabajo relacionado con el procesamiento de imágenes médicas. La fortaleza principal es la presencia del sistema XAVIAPACS que gana en estabilidad y funcionalidades.

Por otra parte, la herramienta obtenida como resultado de este trabajo tiene un gran impacto. La solución para la puntuación de calcio en las arterias coronarias, permitirá a los especialistas realizar estos estudios en cualquier

máquina de la red del hospital, generalizando este servicio, que solo era accesible en la estación de trabajo del tomógrafo. Así podrá revisarse en clases, en discusiones de casos o en consulta. Este dato tiene una relación directa con la oclusión de dichas arterias, que es la causa fundamental de infartos y otras consecuencias con elevada mortalidad. Su utilización también contribuye al ahorro de recursos, pues por esta vía puede descartarse la realización de la Coronariografía Invasiva, que tiene un costo 6 veces superior a los estudios de TAC (Mendoza, 2009).

Conclusiones

La atención de las enfermedades del corazón es prioridad en nuestro país debido a su alta prevalencia y elevada mortalidad. Además de las acciones preventivas, es necesario elevar la calidad de los servicios con el empleo de las nuevas tecnologías.

En la Universidad de las Ciencias Informáticas se cuenta con el personal capacitado para emprender tareas de desarrollo de componentes de software, que permitan aprovechar al máximo los equipos de adquisición y procesamiento de imágenes médicas.

Se realizó el desarrollo de componentes para visualización y procesamiento de imágenes y la puntuación de calcio en las arterias coronarias, que abren el camino a la especialización necesaria del sistema XAVIAPACS. El acoplamiento de estos componentes y otros similares que se están desarrollando, incrementan su valor competitivo en el mercado, la factibilidad de su uso por un mayor número de especialistas médicos, la sustitución de importaciones de aplicaciones como éstas y la calidad y eficiencia de diferentes servicios de salud de impacto para la población.

Como proyecciones de trabajo que dan continuidad a esta investigación, se encuentran el desarrollo de nuevos componentes de software para la evaluación de la función ventricular, la reconstrucción de arterias, la evaluación de las mismas en cuanto al cálculo del por ciento de estenosis y las mediciones de aneurismas, entre otros. Además se debe trabajar de inmediato en perfeccionar los algoritmos empleados para reducir el margen de error y luego identificar el procedimiento para validar y certificar el buen funcionamiento de estos componentes, para que se admita su uso con fines médicos.

Agradecimientos

Es importante agradecer las enseñanzas y colaboraciones de los doctores Ángel Gaspar Obregón Santos, Vladimir Mendoza Rodríguez, Tomás Méndez Peralta, Jesús M. Pérez del Toro, Héctor Conde Cerdeira y Ronald Aroche

Aportela de los Hospitales CIMEQ, Hermanos Ameijeiras e Instituto de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Otro agradecimiento especial para los Ingenieros en Ciencias Informáticas Filiberto López Palenzuela y Luis Carlos González Bárcenas, que ya no trabajan en la UCI, pero colaboraron con la realización de este trabajo.

Referencias

- FERNÁNDEZ, JA Páramo. La arteriosclerosis en el siglo XXI. *Angiología*, 2014, vol. 66, no 3, p. 109-111.
- HARWELL, T. S., OSER, C. S., OKON, N. J., C. C., HELGERSON, S. D., GOHDES, D. Defining Disparities in Cardiovascular Disease for American Indians. *Circulation*, 2005, 112 (15): p. 2263-2267.
- NASIFF, A. Las lipoproteínas en el riesgo de enfermedad coronaria. En: *Intervencionismo Cardiovascular 2009*. La Habana: 2009.
- PÉREZ DEL TORO, J. M. Simposio: Intervencionismo Coronario Percutáneo en el Síndrome Coronario Agudo sin elevación del ST. En: *Intervencionismo Cardiovascular 2009*. La Habana: 2009.
- POLONSKY, TAMAR S., MCCLELLAND, ROBYN L., JORGENSEN, NEAL W., BILD, DIANE E., BURKE, GREGORY L., GUERCI, ALAN D., GREENLAND, PHILIP. Coronary artery calcium score and risk classification for coronary heart disease prediction. *Jama*, 2010, 303 (16): p. 1610-1616.
- AGATSTON, A. S., JANOWITZ, W. R., HILDNER, F. G., ZUSMER, N. R., VIAMONTE, M., DETRANO, R. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *Journal of the American College of Cardiology*, 1990, 15 (4): p. 827-832.
- LLERENA ROJAS, L. R. Aspectos polémicos, limitaciones y perspectivas del estudio de las arterias coronarias por tomografía computarizada. *Revista Cubana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular*, 2010, 16(2): p. 118-122.
- MENDOZA RODRÍGUEZ, V.; LLERENA ROJAS, L. R.; TORRES MIRANDA, S.; OLIVARES AQUILES, E. W.; CABRERA REGO, J. O.; FERNÁNDEZ HERRERA, K.; LINARES MACHADO, R. Utilidad del score de calcio en el diagnóstico de enfermedad coronaria obstructiva. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 2010, 29 (4): p. 403-416.
- KEMMER, N.; CASE, J.; CHANDNA, S.; NEFF, G. W. The Role of Coronary Calcium Score in the Risk Assessment of Liver Transplant Candidates. En *Transplantation Proceedings*. Elsevier, 2014. p. 230-233.

DIRECCIÓN DE REGISTROS MÉDICOS Y ESTADÍSTICAS DE SALUD. Anuario Estadístico de Salud 2013. [En línea]. Estadísticas de Salud. 2014, [Consultado el: 10 de junio de 2014] p. 31. Disponible en: <http://www.sld.cu/sitios/dne/>

OBREGÓN SANTOS, ÁNGEL G. Entrevista realizada por A. Rodríguez Bonet, La Habana, 2009.

MÉNDEZ PERALTA, T. Entrevista realizada por A. Rodríguez Bonet, La Habana, 2009.

GARCÍA BAYATE, ELOY. Algoritmo para la Identificación de Calcificaciones en las Arterias Coronarias. Trabajo de Diploma. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana. 2012.

STANFORD, W., THOMPSON, B. H., BURNS, T. L., HEERY, S. D., BURR, M. C. Coronary Artery Calcium Quantification at Multi-Detector Row Helical versus Electron-Beam CT. Radiology, 2004, 230 (2): p. 397-402.

SIRAKOV, NIKOLAY M. A new active convex hull model for image regions. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 2006, 26 (3): p. 309-325.

MENDOZA RODRÍGUEZ, V. Entrevista realizada por A. Rodríguez Bonet, La Habana, 2009.