

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE MEDICINA
Escuela de Tecnología Médica



UNIVERSIDAD DE CHILE

TESIS PROFESIONAL

*Para optar al título profesional de Tecnólogo Médico con mención Imagenología,
Radioterapia y Física Médica*

***“EVIDENCIA ACTUAL EN RELACIÓN A LA DISMINUCIÓN DE DOSIS DE MEDIO DE
CONTRASTE YODADO PARA ESTUDIOS DE TOMOGRAFÍA COMPUTADA DE ENERGÍA
DUAL. REVISIÓN DE LA LITERATURA”***

BENJAMÍN BECERRA DIAZ - ANÍBAL BRAVO BUENO

Prof. Andrés Bianchetti S.
Cotutor - asesor metodológico
Dpto. Enfermería
Universidad Católica del Norte

Acad. TM Sandra Araya L.
Tutora
Dpto. de Tecnología Médica
Universidad de Chile

Fecha: 08 de Julio 2022

ACTA CURSO TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El **Sr. Benjamín Ignacio Becerra Díaz**, estudiante de Tecnología Médica con Mención Imagenología, Radioterapia y Física Médica, cumpliendo con los requisitos establecidos en el plan de estudio, realizó durante el noveno semestre de la carrera, la Tesis Profesional titulada: **“Evidencia actual en relación a la disminución de dosis de medio de contraste yodado para estudios de tomografía computada de energía dual. revisión de la literatura”**, dirigida por la **Prof. Sandra Araya Leal**, académico del Departamento de Tecnología Médica, Facultad de Medicina de la Universidad de Chile.

La Escuela de Tecnología Médica designó para su corrección una Comisión integrada por: **Prof. T.M. Rodrigo Vásquez**, académico del Departamento de Tecnología Médica, Facultad de Medicina de la Universidad de Chile. y el **Prof. T.M. Oscar Jeldes**, académico de la Escuela de Tecnología Médica, Facultad de Medicina de la Universidad de Chile.

La calificación obtenida se detalla a continuación:

Corrector 1 T.M. Rodrigo Vásquez	7.00	25%
Corrector 2 T.M. Oscar Jeldes	6.84	25%
Tutor(es) Guía:		
Evaluación intermedia	7.00	25%
Nota final tutor	7.00	25%
Nota final tesis profesional	6.96	

En consecuencia el estudiante **Benjamín Ignacio Becerra Díaz** aprueba satisfactoriamente la asignatura.



Prof. Denisse Karl Sáez
Coordinador(a) curso
Trabajo de Investigación



Prof. Hernán Torres Rivera
PEC curso
Trabajo de Investigación

ACTA CURSO TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

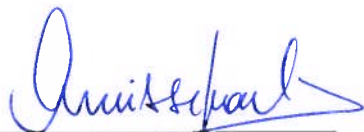
El **Sr. Aníbal Andrés Bravo Bueno**, estudiante de Tecnología Médica con Mención Imagenología, Radioterapia y Física Médica, cumpliendo con los requisitos establecidos en el plan de estudio, realizó durante el noveno semestre de la carrera, la Tesis Profesional titulada: "**Evidencia actual en relación a la disminución de dosis de medio de contraste yodado para estudios de tomografía computada de energía dual. Revisión de la literatura.**", dirigida por la **Prof. Sandra Araya Leal**, académico del Departamento de Tecnología Médica, Facultad de Medicina de la Universidad de Chile.

La Escuela de Tecnología Médica designó para su corrección una Comisión integrada por: **Prof. TM. Rodrigo Vásquez**, académico del Departamento de Tecnología Médica, Facultad de Medicina de la Universidad de Chile. y el **Prof. Oscar Jeldes**, académico de la Escuela de Tecnología Médica, Facultad de Medicina de la Universidad de Chile.

La calificación obtenida se detalla a continuación:

Corrector 1 T.M. Rodrigo Vásquez	7.00	25%
Corrector 2 T.M. Oscar Jeldes	6.84	25%
Tutor(es) Guía:		
Evaluación intermedia	7.00	25%
Nota final tutor	7.00	25%
Nota final tesis profesional	6.96	

En consecuencia el estudiante **Aníbal Andrés Bravo Bueno** aprueba satisfactoriamente la asignatura.



Prof. Denisse Karl Sáez
Coordinador(a) curso
Trabajo de Investigación



Prof. Héctor Torres.
PEB curso
Trabajo de Investigación

Dedicatoria

A mis padres y hermano, familiares y seres queridos por su compañía, cariño, amor y apoyo incondicional a través de los diferentes desafíos presentados a lo largo de mi vida .

Benjamín Becerra Díaz

Dedico mi tesis a mi madre, pues sin su bendición, cariño, dedicación, protección y amor diario no lo habría logrado. A mis hermanos por creer en mí. A mis amigos por brindarme distracción, entretenimiento y apoyo en los momentos más difíciles de todo el proceso. A mi compañero de tesis por la lealtad, compromiso, respeto y responsabilidad. A seres queridos que ya no se encuentran conmigo y que fueron un gran apoyo y ejemplo a seguir.

Aníbal Bravo Bueno

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad de Chile, por brindarnos las herramientas y experiencias necesarias para afrontar este desafío. A nuestros docentes quienes se presentaron de manera empática y motivadora, en especial a la académica y Tecnóloga Médica, Sandra Araya Leal y al Antropólogo, Andrés Bianchetti Saavedra, quienes nos apoyaron y generaron un ambiente de trabajo comprensivo y colaborativo, otorgándonos herramientas, técnicas y oportunidades necesarias para dirigir, enfocar y confeccionar el trabajo realizado.

Benjamín Becerra Díaz & Aníbal Bravo Bueno

ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
MARCO TEÓRICO	4
MATERIALES Y MÉTODOS	15
RESULTADOS	19
1. Caracterización de la muestra	19
2. Disminución de la dosis de medio de contraste yodado en equipos de tomografía computada de energía dual	20
3. Tipos de exámenes y/o segmentos anatómicos en los cuales se ha efectuado disminución de la dosis de MCY y evaluación de la calidad de imagen	24
Tomografía Computada de Abdomen	24
Tomografía Computada de Hígado	25
Venografía Portal	28
Urografía por Tomografía Computada	29
Angiografía de Arterias Pulmonares	31
Angiografía de Arterias Coronarias	34
Angiografía de Aorta Torácica	36
Angiografía de Abdomen y Pelvis	37
Angiografía Cuerpo Completo	41
Estudios de Abdomen Pediátrico	45
4. Parámetros considerados para la reducción de la dosis de yodo	48
5. Dosis de radiación	50
DISCUSIÓN	52
CONCLUSIONES	56
BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXOS	65

RESUMEN

Actualmente, la implementación de nuevas tecnologías en los equipos de tomografía computada han permitido una disminución significativa de los tiempos de exploración, y con esto, la disminución de las dosis de medio de contraste yodado (MCY) utilizadas para cada examen. Dentro de estas tecnologías implementadas, encontramos los equipos de tomografía computada de energía dual (DECT), los cuales presentan una gran capacidad analítica y de procesamiento de imágenes permitiendo una disminución absoluta de los MCY. En el presente estudio, se efectuó una búsqueda bibliográfica de estudios recientes sobre la disminución de dosis de MCY en equipos DECT y su impacto objetivo en la calidad de imagen. Esta revisión bibliográfica se realizó de acuerdo a la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyzes). Se realizó una búsqueda electrónica en las bases de datos de Lilacs, PubMed, Scopus y Web of Science para recuperar estudios relevantes sobre la temática planteada. De una búsqueda inicial de 482 artículos potenciales, 23 artículos finalmente se incluyeron en esta revisión bibliográfica. Los resultados mostraron que existe la factibilidad de disminuir las dosis estándar de MCY desde un 15,8% hasta un 83% en equipos DECT, obteniendo una calidad de imagen objetiva, con una SNR o CNR, comparables o mejores a imágenes de 120 kVp obtenidas en equipos TC convencionales con una dosis estándar de agente de contraste. Lo anterior, gracias al uso de algoritmos de reducción de ruido que permiten mejorar las imágenes de baja energía. Los autores concuerdan que a medida que las VMI se acercan al borde k del yodo (33,2 keV), las VMI reconstruidas con energías entre 40 - 60 keV, aumentan significativamente los parámetros de calidad de imagen, aumentando la atenuación y el contraste intrínseco, y por ende, permitiendo una imagen diagnóstica con administración de bajas tasas de MCY. Aun así, no es posible todavía estandarizar protocolos de reducción de dosis MCY dada la variabilidad de equipamiento, algoritmos y la forma en que se utilizaron en cada estudio, sin embargo, están las bases para ello.

INTRODUCCIÓN

Los medios de contraste yodados (MCY) son sustancias que otorgan múltiples ventajas durante la realización de exámenes imagenológicos, ya que permiten mejorar la visualización anatómica de la estructura que se desee estudiar permitiendo diferenciar aspectos normales de patológicos. La diferencia en el patrón de captación en las diferentes patologías permite orientar o determinar su posible etiología. Por estas razones, estos agentes poseen una amplia utilización en la actualidad y son de gran importancia en exámenes como la Tomografía Computada (TC).

Sin embargo, el uso de MCY no está exento de riesgos y puede producir efectos secundarios adversos ¹. Dichos efectos se pueden clasificar como reacciones fisiológicas o reacciones alérgicas. Las reacciones de tipo fisiológicas dependen de la dosis y concentración del agente, por otro lado, las reacciones de tipo alérgicas o idiosincrásicas son independientes a estos factores ⁵. Así también existe el riesgo de Injuria Renal Aguda Inducida por Contraste (CI-AKI, de sus siglas en inglés Contrast-Induced Acute Kidney Injury) ^{2 3 4}. Sumado a lo anterior, se ha demostrado que el uso de estos agentes aumenta el daño por radiación del DNA, por inducción de roturas de doble cadena de DNA ^{3 5}.

Lo mencionado anteriormente, refuerza la necesidad de optimizar los volúmenes y dosis administradas de MCY. Dicha optimización también permitiría contribuir como medida de ahorro en los costos del departamento además de mejorar la seguridad del paciente.

Con el advenimiento de la tecnología multicorte, se logró una disminución significativa de los tiempo de exploración lo que trajo consigo, entre otras ventajas, la posibilidad de disminuir la dosis de MCY utilizada, considerando que esta está en directa relación con los tiempos de escaneo ^{6 7}.

Posteriormente, con la llegada de tomografía computada de energía dual (DECT) es posible la disminución absoluta de MCY y se está adoptando cada vez más debido a los beneficios de la separación de materiales, la cuantificación y la mejora de la calidad de imagen, conservando o mejorando parámetros objetivos como la relación señal - ruido (Signal-to-Noise Ratio, SNR) y relación contraste - ruido (Contrast-to-Noise Ratio, CNR). La información espectral derivada de un haz de rayos X policromático a diferentes energías produce reconstrucciones de imágenes que reducen el número de fases en un examen multifásico. Esta mayor capacidad analítica y de procesamiento de imágenes proporciona nuevas vías para abordar las preocupaciones sobre la dosis de radiación y la exposición al yodo que reciben los pacientes ⁸.

El propósito de esta revisión es analizar la evidencia que existe actualmente sobre la factibilidad de disminuir la dosis de medio de contraste yodado en equipos de tomografía computada de energía dual y su impacto objetivo en la calidad de imagen.

Esta revisión bibliográfica corresponde a una revisión exploratoria, descriptiva, la cual proporcionará información valiosa sobre esta temática y permitirá establecer futuros lineamientos para generar protocolos optimizados con dosis bajas de medios de contraste yodados aplicables en el trabajo diario con equipos de tomografía computada de energía dual, los que serán cada vez más comunes.

MARCO TEÓRICO

1. Medio de contraste yodados

Los medios de contraste yodados (MCY) surgieron alrededor de la década de 1950 de la necesidad de crear sustancias capaces de realzar diferentes estructuras anatómicas y algunas patologías con el fin de obtener una mayor precisión diagnóstica en los diferentes exámenes radiológicos que utilizan rayos X, como la tomografía computada o las radiografías. A lo largo de los años, estos agentes han sido una herramienta fundamental en la detección y diagnóstico de las diferentes patologías, el seguimiento de los tratamientos instaurados y la realización de prácticas intervencionistas ⁹.

Los MCY corresponden a anillos de benceno triyodados, con sus tres átomos de yodo dispuestos en los carbonos 2, 4 y 6. Esta configuración proporciona una alta atenuación de los rayos X, reduce el riesgo de toxicidad por yoduro libre y permite la unión de distintos grupos funcionales que pueden alterar las propiedades fisicoquímicas y farmacológicas del compuesto. Los compuestos yodados se pueden clasificar según su capacidad de ionización en solución (agentes iónicos frente a agentes no iónicos), osmolalidad, concentración de yodo y viscosidad. Además, estos pueden presentarse como monómeros (un anillo de benceno triyodado) o dímeros (2 anillos de benceno triyodados unidos por un grupo funcional orgánico) ^{1 10}. Por consiguiente, estas dos variaciones químicas mencionadas dan como resultado a 4 clases principales de MCY: monómeros iónicos, dímeros iónicos, monómeros no iónicos y dímeros no iónicos. Los MCY de los 4 grupos principales, tienen propiedades, usos clínicos y perfiles de toxicidad diferentes ¹¹. Actualmente, tienen uso clínico aquellos agentes conformados por dímeros no iónicos y monómeros no iónicos gracias a su menor osmolaridad, lo cual reduce los efectos de toxicidad asociadas al uso de MCY.

El uso de MCY posee múltiples ventajas y representan un factor fundamental al momento de realizar exámenes imagenológicos diagnósticos que utilizan rayos X, gracias a la alta

atenuación que poseen, permiten mejorar la visualización anatómica de la estructura que se desee estudiar permitiendo diferenciar aspectos normales de aspectos patológicos. La diferencia en el patrón de captación en las diferentes patologías permite orientar o determinar su posible etiología. Por estas razones, estos agentes poseen una amplia utilización en la actualidad y son de gran importancia en exámenes como la tomografía computada (TC).

Ahora bien, pese a las múltiples ventajas del uso de MCY, no están exentos de riesgos y pueden producir efectos secundarios adversos ¹, los cuales se pueden clasificar como alérgicos o fisiológicos, y se organizan en tres categorías de gravedad (leve, moderada o grave). Las reacciones alérgicas a MCY se manifiestan de manera similar a las reacciones alérgicas observadas con otros fármacos y alérgenos, sin embargo, debido a que no siempre se puede identificar una respuesta antígeno - anticuerpo, son clasificadas, en muchos casos, como anafilactoideas o idiosincrásicas, aun cuando igualmente existen reacciones alérgicas verdaderas a MCY. Este tipo de reacciones son independientes de la dosis y la concentración del agente de contraste por sobre un cierto umbral desconocido. Por otro lado, las reacciones fisiológicas se relacionan principalmente con las características fisicoquímicas del MCY, que conducen a quimiotoxicidad directa, osmotoxicidad o a la unión molecular a ciertos activadores biológicos alterando la homeostasis de la circulación sanguínea. Este tipo de reacciones dependen de la dosis y concentración del agente ².

Otro tema importante a considerar es la Injuria Renal Aguda Inducida por Contraste (CI-AKI, de sus siglas en inglés Contrast-Induced Acute Kidney Injury), este, es un término general utilizado para describir un deterioro repentino de la función renal y se define como un aumento del 25% de la creatinina sérica desde el valor basal, 48 horas después de la administración intravascular del medio de contraste, sin existencia de una etiología alternativa ^{2 3 4}.

Por otro lado, otra de las implicancias del uso de agentes de contraste yodados y del altos volúmenes de estos, es la evidencia actual respecto al impacto que tienen sobre la dosis de radiación que recibe el paciente durante un examen radiológico. Investigaciones recientes han demostrado que el uso de estos agentes aumenta el daño por radiación del DNA, por inducción de roturas de doble cadena de DNA . El daño por radiación se produce cuando los MCY aumentan la atenuación de la radiación debido al efecto fotoeléctrico, que en consecuencia incrementa la dosis de radiación absorbida localmente ^{6 9}. Asimismo, estudios que han utilizado modelos geométricos simplificados, estructuras de órganos homogéneos y adquisiciones de TC individuales han demostrado un aumento de la dosis de radiación absorbida en presencia agentes de contraste yodados ¹².

Los MCY están disponibles comercialmente en una amplia gama de concentraciones (240 – 370 mg I/ mL). La selección de la concentración adecuada del medio de contraste depende de múltiples factores, como la disponibilidad del medio de contraste, los objetivos clínicos, la configuración del TC, el inyector y el costo. Los medios de contraste con alta concentración de yodo (350 mg I/mL y más) son ampliamente utilizados en exámenes con equipos TC multidetector.⁶ Esta tendencia refleja el hecho de que se desea una alta tasa de suministro de yodo en equipos TC multidetector para así maximizar el realce arterial en la angiografía por TC y mejorar la representación de los tumores hipervasculares. Además, el uso de un medio de contraste con alta concentración de yodo es una forma alternativa de aumentar la tasa de inyección para lograr una rápida administración de la dosis de yodo ⁶. Cabe destacar, que la mejora óptima del contraste vascular depende de la tasa de yodo (mg I/s) administrada al paciente, por lo que, a una tasa fija administración de yodo, no hay una diferencia significativa en la mejora vascular para concentraciones variable de MCY inyectado ¹³.

Sin embargo, esto conlleva a todas las implicancias ya descritas del uso de MCY. Por esta razón, se recomienda reducir la carga total de yodo o el volumen de MCY adaptando estas al peso corporal del paciente o al porcentaje de grasa corporal, de esta manera, se mantiene una mejora vascular y parenquimatosa de calidad diagnóstica ¹³.

Lo expuesto anteriormente, refuerza la búsqueda y necesidad de optimizar los volúmenes y dosis administradas de MCY. Dicha optimización también permitiría contribuir como medida de ahorro en los costos del departamento, ya que los MCY utilizados en TC también representan gastos sanitarios considerables ^{13 14}, además de mejorar la seguridad del paciente. No obstante, es importante tener en consideración que una cantidad reducida de MCY frecuentemente implica una cierta disminución del contraste en la imagen. Debido a esto, se han propuesto principalmente dos métodos para contrarrestar este efecto: reducir el voltaje del tubo por un lado o usar imágenes monoenergéticas virtuales de bajo keV derivadas de equipos de tomografía computada de energía dual.

2. Tomografía Computarizada de Energía Dual

En la tecnología actual, los equipos permiten exploraciones cada vez más rápidas posibilitando el uso de menores volúmenes de MCY sin alterar el producto final: una imagen diagnóstica. Con la llegada de tomografía computada de energía dual (Dual Energy Computed Tomography, DECT) es posible la disminución absoluta de MCY y se está adoptando cada vez más debido a los beneficios de la separación de materiales, la cuantificación y la mejora de la calidad de imagen ⁸.

Aunque ha habido interés en la tomografía computarizada de energía dual desde la década de 1970, no es hasta los recientes avances tecnológicos, que se ha logrado la adquisición de imágenes, de manera casi simultánea, en dos niveles de energía diferentes en una sola exploración, por esta razón, es que la implementación de la DECT se ha vuelto posible para

el uso clínico de rutina. Desde la introducción de los escáneres DECT clínicos en 2006, ha aumentado la bibliografía sobre las aplicaciones potenciales de esta en las principales subespecialidades de radiología ¹⁵.

La DECT surge de la necesidad de mejora de detección y discriminación en las mediciones de objetos multimateriales y/u objetos con grandes variaciones en la relación de aspecto, lo cual, ha demostrado ser un reto para los equipos de tomografía computada convencional (Simple Energy Computed Tomography, SECT) ¹⁶.

La atenuación del tejido no depende solo del espectro de energía del haz de rayos X, sino también de la densidad y composición elemental del material que este atraviesa ¹⁵.

3. Principio básico de DECT

El principio de DECT es utilizar dos conjuntos de datos adquiridos con diferentes espectros de rayos X y utilizarlos para formar un conjunto de imágenes volumétricas, que contienen más información que cualquiera de los conjuntos por separado. La fusión de los conjuntos de datos se puede realizar previo, posterior o en la reconstrucción iterativa ¹⁵.

Se debe tener en cuenta que DECT, no utiliza dos energías fotónicas distintas como el término "energía dual" sugiere, sino más bien, utiliza dos espectros de rayos x distintos ¹⁷.

La ventaja clave de DECT sobre SECT es que adquiriendo datos en 2 espectros de energía diferentes, es posible utilizar sofisticados algoritmos informáticos para combinar los diferentes datos para evaluar la atenuación del tejido a diferentes energías en lugar de a una sola energía efectiva. Diferentes tipos de materiales y tejidos pueden atenuar los rayos X de manera diferente a diferentes energías dependiendo de su composición elemental. DECT se puede utilizar para realizar la caracterización de tejidos más allá de lo que es posible con los SECT. Para que un escaneo y caracterización de material con este tipo de equipos sea

exitoso, se deben tener consideraciones fundamentales relacionadas con el tipo de escáner y los tejidos ¹⁸.

4. Tipos DECT comúnmente utilizados.

Actualmente hay variados tipos de escáneres DECT que utilizan diferentes técnicas para adquirir conjuntos de datos de alta y baja energía. Los más utilizados son:

Equipo de doble fuente (Dual Source Computed Tomography, DSCT): utiliza dos tubos de rayos X con los detectores correspondientes alineados en un ángulo de 90°. Cada tubo de rayos X funciona a un potencial diferente, uno a mayor energía y el otro a menor energía ¹².

Escáner de conmutación rápida de pico de kilovoltaje (kVp) (Dual Energy switching Computed Tomography, DEsCT): Con esta técnica, el voltaje del tubo sigue una curva pulsada, y los datos de proyección se recopilan dos veces por cada proyección, una a alto y otra a bajo voltaje del tubo, durante la conmutación rápida de kilovoltaje en la fuente de rayos X ¹².

En los equipos ya mencionados, la configuración de 80 y 140 kVp se utilizan comúnmente porque proporciona la máxima diferencia y la mínima superposición entre los espectros ¹⁷.

Escáner de energía dual con un detector de doble capa (Dual Layer Dual Energy Computed Tomography, DL-DECT): Un escáner de energía dual de una sola fuente con un detector de doble capa utiliza una sola fuente y un solo detector, pero el detector tiene dos capas que se utilizan para distinguir entre fotones de alta y baja energía ¹².

Twin Beam Dual Energy (TBDE): Un escáner de una sola fuente la cual presenta a su salida un filtro dividido compuesto por aluminio y estaño, el que permite la adquisición simultánea de conjuntos de datos de alto y bajo kV en una sola tomografía computarizada espectral al dividir el haz de rayos X ¹⁹.

5. Imágenes virtuales monocromáticas

Los conjuntos de datos de imágenes DECT se adquieren utilizando dos espectros de rayos X polienergéticos, por lo tanto, consisten en datos de kVp altos y bajos combinados en una cierta proporción para obtener imágenes similares a los datos convencionales de TC de energía única.

Las imágenes virtuales monocromáticas (Virtual Monochromatic Image, VMI) permiten la reconstrucción de conjuntos de datos DECT a un nivel de energía hipotético elegido que resultaría de una adquisición con un verdadero haz de rayos X monoenergético. DECT al poder cuantificar materiales utilizando mediciones independientes, permite reconstruir la fracción de la masa total de cada material en cada vóxel. Debido a esta información específica del material, la densidad de cada vóxel se puede extrapolar del conjunto de datos DECT a un cierto nivel de energía dentro de un rango de 40 - 140 keV.

Se puede obtener una mayor densidad de yodo utilizando algoritmos VMI al nivel de energía más bajo (40 keV) seleccionable, dado que se acerca al borde k del yodo (33,2 keV), donde el yodo exhibe una atenuación mucho mayor. Sin embargo, las imágenes VMI reconstruidas a 40 keV son gravemente afectadas por los altos niveles de ruido de la imagen.

Para superar esta limitación, se desarrolló un algoritmo VMI optimizado para ruido (VMI+ o Monoenergetic+) para DECT de doble fuente, que permite obtener un conjunto de datos de imagen final caracterizado por un alto contraste al menor ruido posible ²⁰.

Hoy en día el uso de la tecnología DECT nos da la posibilidad, de disminuir la dosis de MCY utilizada, manteniendo parámetros adecuados de calidad de imagen, es decir, una imagen que proporcione una alta sensibilidad para detectar la patología o bien, seguimiento y control, para cierto diagnóstico entregado y, al mismo tiempo, una alta especificidad para identificar las estructuras normales ²¹.

6. Criterios de calidad de imagen

La caracterización de un sistema de radiología digital puede abordarse desde múltiples aristas: Mediante parámetros físicos y funciones que describen a estos parámetros, mediante fantomas cilíndricos o antropomórficos o, netamente, desde la visualización de un profesional²¹.

La calidad de imagen en Tomografía Computada depende de múltiples factores y a la evaluación de estos, donde los parámetros físicos utilizados son contraste, resolución espacial y ruido, siendo una de las principales funciones que describe el comportamiento de estos parámetros para distintas frecuencias espaciales corresponde a la Relación Señal-Ruido (SNR, Signal-to-Noise Ratio)²¹.

Por tanto, se debe considerar la cantidad de ruido que existe en la imagen. El factor que más influye en este factor corresponde a la radiación dispersa²², esta se encuentra determinada por la cantidad de fotones que son absorbidos y la cantidad que son dispersados. Por esta razón, la cantidad de dosis que recibe un paciente, es inversamente proporcional al ruido cuántico²³.

La SNR se define como la proporción que existe entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe, es decir, compara el nivel de atenuación esperado con el nivel de ruido del sistema. Las SNR intentan cuantificar la calidad de la imagen tomando la proporción de una descripción de la señal sobre una descripción del ruido. La forma en que se describen la señal y el ruido puede variar ampliamente.²⁴ Matemáticamente corresponde a dividir la atenuación medida en una región de interés y la desviación estándar de otra medición en una región diferente a la de interés^{21 22 25}.

Un buen valor SNR es necesario para la delineación clara de las características en una región de interés (ROI) en una imagen. Una disminución del valor óptimo de SNR conducirá a que una imagen parezca ruidosa ²⁶.

La CNR (CNR, Contrast-to-Noise Ratio) es una herramienta importante que se utiliza para determinar la calidad de la imagen. Es una medida de calidad de imagen establecida sobre un contraste ²⁷, representa un aproximado del ruido en la imagen y se utiliza para evaluar la degradación del contraste en relación al ruido. Matemáticamente equivale a la diferencia entre la señal en una región de interés y la señal de background, dividido por el ruido del sistema ^{21 22 25}.

Dado que la relación contraste/ruido muestra la relación entre dos regiones de diferencias de intensidad de señal, también se traduce en el hecho de que mejora y aumenta la comprensión de las diferencias definidas entre dos regiones de interés.

Por lo tanto, es importante porque tiene en cuenta la medida de interés entre el objeto de interés y sus antecedentes ²⁸.

La SNR y CNR están relacionadas y condicionadas tanto por la intensidad de la señal como por el ruido de la imagen.

7. Algoritmos de reconstrucción de imagen

Actualmente, existen múltiples algoritmos de reconstrucción de imágenes de TC, los siguientes son algunos de los algoritmos más comunes utilizados en la TC disponible comercialmente en la actualidad:

Retroproyección filtrada (Filtered back projection, FBP): Ha sido la técnica de reconstrucción estándar en la tomografía computarizada durante décadas. Esta técnica se basa en supuestos matemáticos simplificados de las imágenes de TC; por lo tanto, depende

menos de la potencia de procesamiento de datos y es una técnica de reconstrucción rápida. Sin embargo, a bajas dosis de radiación, las imágenes reconstruidas con FBP tienden a ser ruidosas con artefactos de rayas y poca detectabilidad de bajo contraste ²⁹.

Algoritmos de reconstrucción iterativa (Iterative Reconstruction, IR): El principio básico de estos, es utilizar múltiples iteraciones de reconstrucción de datos con proyecciones de imágenes sin procesar, proyecciones de cortes de imágenes o ambas para reducir el ruido de la imagen y preservar los detalles de la imagen. En la actualidad, se encuentran disponibles múltiples generaciones de algoritmos de reconstrucción iterativa que difieren en cuanto al modelo matemático que aplican al proceso iterativo, sus necesidades computacionales y su impacto en el ruido de la imagen y la resolución del contraste. El algoritmo de reconstrucción iterativa es específico del proveedor del equipo (ASiR/ASiR-V para GE Healthcare, iDOSE⁴ para Philips Healthcare y SAFIRE para Siemens Healthineers) ³⁰.

Estos algoritmos se han implementado cada vez más en la práctica clínica habitual. Se ha descubierto que reducen el ruido de la imagen y aumentan la CNR en comparación con los resultados obtenidos con la FBP ³⁰.

8. Dosis de radiación

Actualmente las herramientas utilizadas en TC para estimar la dosis absorbida en el paciente se encuentran representadas por el índice de dosis de TC volumétrica (Volume Computed Tomography Dose Index, CTDI_{vol}) y el producto dosis - largo (Dose-Length Product, DLP).

El CTDI corresponde a una medición de dosis mediante una cámara de ionización colocada en fantomas de polimetilmetacrilato (PMMA) los cuales tienen diámetros de 16 o 32 cm. El CTDI es medido en el centro del fantoma y también en sus partes periféricas para representar así una distribución espacial de la dosis absorbida. Esto implica que el valor de

CTDI es un valor de dosis a un fantoma específico. Una vez obtenidos los datos, tanto en el eje central como en la periferia del fantoma, es necesario realizar una integración de estos, a través de la inclusión de un nuevo parámetro que se define como CTDI ponderado ($CTDI_w$), el cual se obtiene sumando $1/3$ de la dosis obtenida en el centro y $2/3$ de la obtenida en la periferia. Una vez integradas las dosis promedio de todos los ejes (Y, X y Z) en un corte, es necesario introducir un factor de corrección que tome en cuenta el desplazamiento de la camilla y la colimación utilizada (pitch), de esta forma obtendremos el $CTDI_{vol}$ ³¹.

Como el $CTDI_{vol}$ ofrece una aproximación de dosis en Gray (Gy) en un solo corte, se deberá utilizar además un indicador de la longitud del volumen a irradiar en el estudio. Este indicador es conocido como el DLP ³¹. El DLP entrega la exposición total de un barrido para un protocolo específico y un largo de exploración determinado.

A partir del DLP, es posible estimar valores de dosis efectiva (E) utilizando factores de conversión según región anatómica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Búsqueda bibliográfica

Esta revisión bibliográfica se realizó de acuerdo a la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyzes) ³².

Se realizó una extensa búsqueda bibliográfica en las bases de datos de Lilacs, PubMed, Scopus y Web of Science de artículos recientes (desde 2016 hasta abril de 2022) que investigan la disminución de dosis de medio de contraste yodado en equipos de Tomografía Computada Energía Dual (DECT). Las palabras clave de búsqueda fueron las siguientes: “Dual-Energy Scanned Projection”, “Dual-Energy CT”, “Contrast Media” (en PUBMED se agregó “/ administration & dosage”, dado que de esta manera se optimiza la búsqueda), “Low Contrast Volume” y “Reduced Iodine Dose”.

Se realizaron las siguientes búsquedas coherentes mediante el uso y combinación de las palabras claves junto con el operador booleano “AND”, con el objetivo de precisar la búsqueda y obtener la mayor cantidad de artículos posibles con una temática relacionada al tema en estudio de esta revisión:

- Dual-Energy Scanned Projection and Low Contrast Volume
- Dual-Energy Scanned Projection and Reduced Iodine Dose
- Dual-Energy CT AND Low Contrast Volume
- Dual-Energy CT AND Reduced Iodine Dose
- Dual-Energy Scanned Projection AND Contrast Media AND Low Contrast Volume
- Dual-Energy Scanned Projection AND Contrast Media AND Reduced Iodine Dose
- Dual-Energy CT AND Contrast Media AND Low Contrast Volume
- Dual-Energy CT AND Contrast Media AND Reduced Iodine Dose

- Dual-Energy Scanned Projection AND Dual-Energy CT AND Contrast Media AND Low Contrast Volume AND Reduced Iodine Dose

Criterios de inclusión

Los artículos fueron incluidos en base a los siguientes criterios:

- Estudios recientes (desde 2016 hasta abril de 2022), con acceso a texto completo y publicados en inglés o español.
- Estudios con análisis cuantitativo de calidad de imagen mediante parámetros objetivos como relación señal - ruido (SNR) o relación contraste - ruido (CNR).
- Estudios cuyos sujetos de estudio sean seres humanos.

Criterios de exclusión

Los artículos se excluyeron en base a los siguientes criterios:

- Estudios solo con análisis cualitativo de calidad de imagen o sin análisis cuantitativo de calidad de imagen mediante parámetros objetivos como relación señal - ruido (SNR) o relación contraste - ruido (CNR).
- Estudios cuyos sujetos u objetos de estudio sean animales o fantomas.

Selección de Estudios

Todos los artículos relevantes de búsquedas electrónicas se exportaron al software gestor de citas bibliográficas Zotero (Zotero V6, Center for History and New Media, GMU, Virginia, VA, EE.UU.) para la eliminación de duplicados. Se examinaron cuidadosamente los títulos y resúmenes de los estudios restantes para determinar su elegibilidad según su temática, y posteriormente, se consideraron solamente aquellos artículos de acceso a texto completo. Luego, se examinaron los resultados y conclusiones, descartando aquellos irrelevantes y se

sometieron los artículos a criterios de calidad metodológica, establecidos por CASPe (Critical Appraisal Skills Programme Español), permaneciendo en esta revisión sólo aquellos que cumplan con al menos el 50% de las rúbricas establecidas según el tipo de estudio correspondiente. Finalmente, se evaluó el cumplimiento de los criterios de inclusión definidos anteriormente.

Extracción de datos

Los siguientes datos fueron recopilados a partir de cada estudio: nombre del artículo, base de datos, año de publicación, objetivo del estudio, tipo de estudio, muestra, descripción breve de intervención o actividad asociada a la investigación, resultados y calidad metodológica del estudio. Estos datos se presentan en formato tabular.

Flujograma PRISMA

A través de un flujograma PRISMA (figura 1) se presenta la metodología descrita anteriormente, donde se detalla la cantidad de artículos seleccionados durante cada etapa del proceso. A partir de nuestra búsqueda inicial, se identificaron 482 artículos. De estos registros, se eliminaron los artículos duplicados, dejando 240 para evaluar su elegibilidad. De esta cifra, después de una cuidadosa inspección de sus títulos y resúmenes, se excluyeron 200 artículos, donde 197 presentaban una temática no relevante para los fines de esta revisión y 3 no poseían acceso a texto completo. De los 40 artículos restantes, 7 se eliminaron por presentar conclusiones y resultados irrelevantes, 2 por incumplimiento de criterios de calidad metodológica y 8 por no cumplir con los criterios de inclusión, dejando un total de 23 estudios incluidos en la revisión final.

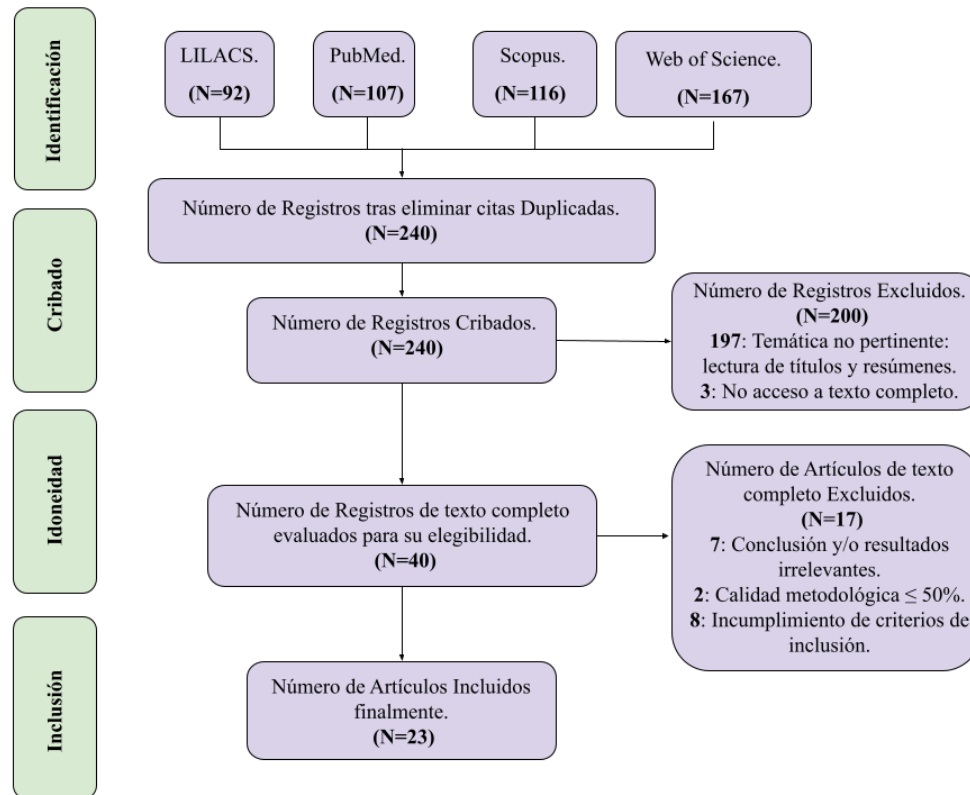


Figura 1: Flujograma PRISMA

Desarrollo de temas centrales

Luego de la selección y recuperación de los artículos a revisar, se desarrollan los temas centrales de esta revisión

- Discutir la evidencia que existe actualmente sobre la factibilidad de disminuir las dosis de MCY en DECT y la proporción en que ello es posible.
- Comparar la evidencia en relación al tipo de exámenes y segmentos anatómicos en los cuales se ha efectuado disminución de la dosis de MCY y discutir su calidad de imagen.
- Discutir en relación a los diferentes parámetros que se consideraron para la reducción de MCY (características del paciente y parámetros de inyección).

RESULTADOS

1. Caracterización de la muestra

Todos los estudios recopilados se encuentran publicados entre el año 2016 y 2022 y en idioma inglés. Dentro de los países donde se realizaron los estudios, se encontraron que: 7 provienen de China, 5 de Estados Unidos, 4 de Japón, 2 de Alemania, 2 de Corea del Sur, y 1 estudio por país proveniente de Noruega, Suiza y Países Bajos. Dentro de la totalidad de artículos se incluyen 15 estudios prospectivos y 8 retrospectivos, dentro de los cuales 14 estudios son de Cohorte y 9 de Casos y Controles. Considerando la muestra de cada estudio, 2 de ellos se realizan en pacientes pediátricos y el resto en adultos, ya sea sanos o con patologías variables según el interés del artículo. Respecto a las tecnologías DECT utilizadas, 5 artículos utilizan un equipo de energía dual de doble fuente, 13 de conmutación rápida del kVp y 5 con configuración en doble capa de detectores.

A través del Anexo 1: Tabla Resumen, se presentan los datos recopilados de los estudios incluidos en la revisión bibliográfica.

2. Disminución de la dosis de medio de contraste yodado en equipos de tomografía computada de energía dual

En relación al primer tema que aborda esta revisión, es decir, la evidencia que existe actualmente sobre la factibilidad de disminuir las dosis de MCY en DECT se encontró que, en los 23 artículos seleccionados existe la factibilidad de disminuir las dosis estándar de MCY desde un 15,8% hasta un 83% en equipos DECT, obteniendo una calidad de imagen objetiva, con una SNR o CNR, comparables o incluso mejores que imágenes de 100 - 120 kVp obtenidas en equipos TC convencionales con una dosis estándar de agente de contraste.

Múltiples autores han efectuado trabajos en los que, se ha utilizado tecnología DECT con modificaciones a sus protocolos de inyección de MCY ya sea mediante una disminución del volumen de MCY, una disminución de la concentración del agente yodado o una combinación entre ambas. Es por esto que, los protocolos entregados se pueden separar en disminución de gramos netos de yodo (disminución del volumen del MCY), o disminución de dosis de yodo respecto al peso del paciente (disminución de la concentración del agente y combinación entre ambas técnicas).

Como lo muestra la figura 2, en la literatura se puede observar un amplio rango de dosis de yodo neto utilizado en equipos SECT en los diferentes exámenes en gramos yodo por peso (mgI / kg) (desde 280 mgI / kg hasta 600 mgI / kg), y al momento de realizar el mismo examen con tecnología DECT se disminuyó dicha dosis hasta un rango entre los 140 mgI / kg y los 510 mgI / kg.

Comparación de protocolos de reducción de dosis de yodo respecto al peso en la literatura

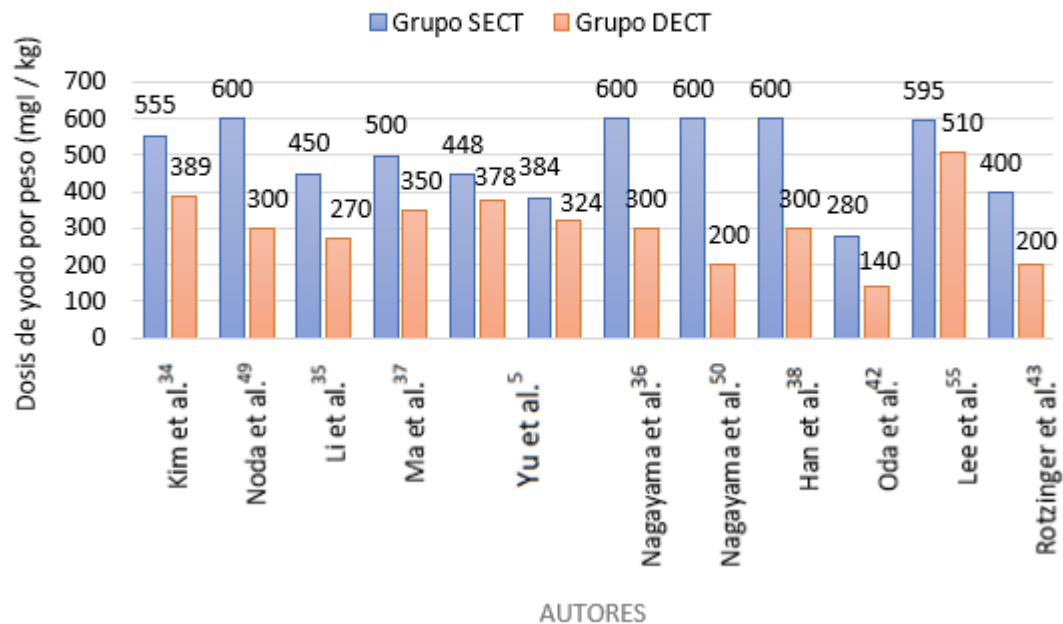


Figura 2: Gráfico de barras, se muestra la comparación entre la dosis de yodo por peso utilizada en equipos SECT (azul) y DECT (naranja) de los diferentes artículos recopilados en esta revisión. Es posible observar la dosis de yodo por peso estándar que consideraba cada autor para el protocolo convencional SECT y la dosis de yodo por peso reducida utilizada para el protocolo DECT. Creación, manejo y modificación de hojas de cálculo Excel (2018).

Del mismo modo, como muestra la figura 3, en la literatura se puede observar un amplio rango de dosis de yodo neto utilizado en equipos SECT en los diferentes exámenes en gramos yodo (gl) (desde 24,5 gl hasta 44 gl), y al momento de realizar el mismo examen con tecnología DECT fue posible disminuir los gramos de yodo necesarios para la realización de exámenes hasta un rango entre los 5,4 gl y los 27 gl.

Comparación de protocolos de reducción de dosis de yodo en la literatura

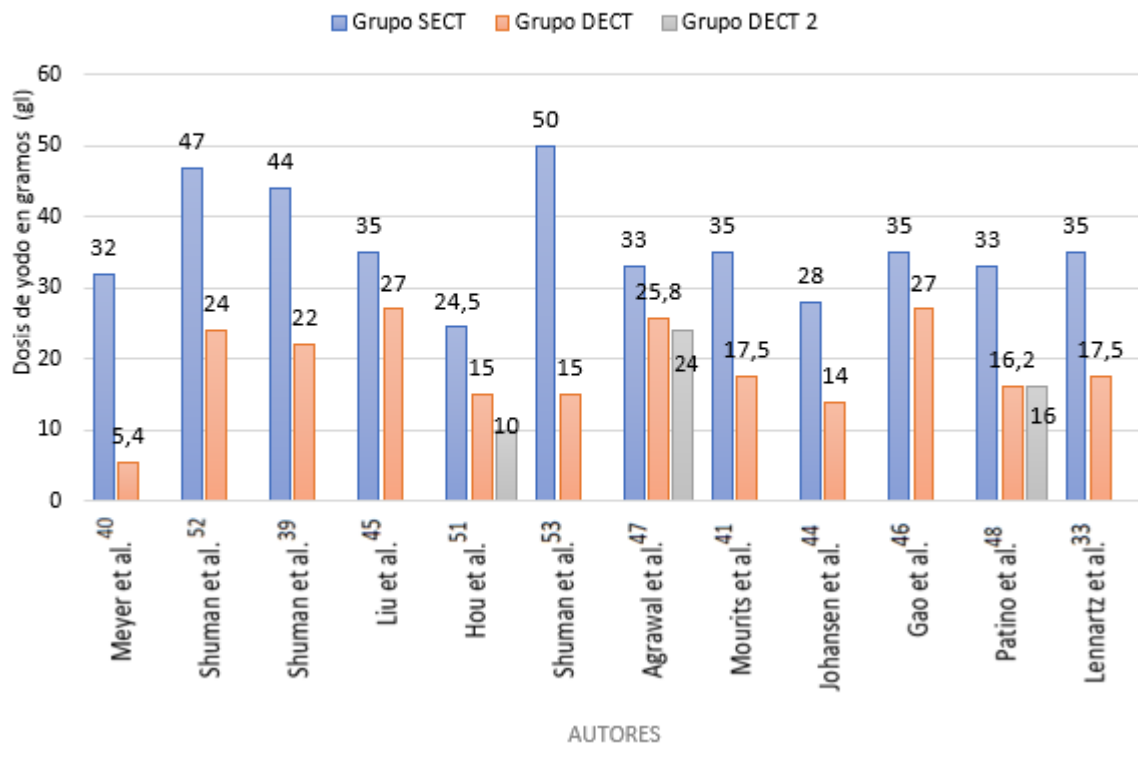


Figura 3: Gráfico de barras, se muestra la comparación entre la dosis de yodo utilizada en equipos SECT (azul) y DECT (naranja) de los diferentes artículos recopilados en esta revisión. Es posible observar la dosis de yodo estándar que consideraba cada autor para el protocolo convencional SECT y la dosis de yodo reducida utilizada para el protocolo DECT. Creación, manejo y modificación de hojas de cálculo Microsoft Excel (2018).

Los artículos recopilados en esta revisión concuerdan en que es necesario disminuir la dosis de yodo o de MCY con la finalidad de proteger al paciente (menor riesgo de CI-AKI y efectos fisiológicos) y que, al realizarse en equipos de doble energía, no se observa una pérdida de la calidad de imagen entregada. La proporción en la que dicha disminución es variada, sin embargo, como se puede observar en la figura 4, con la información recopilada, es posible realizar la disminución del MCY en proporciones que abarcan entre 15,8% - 83%.

Porcentaje de reducción de dosis de yodo en la literatura.

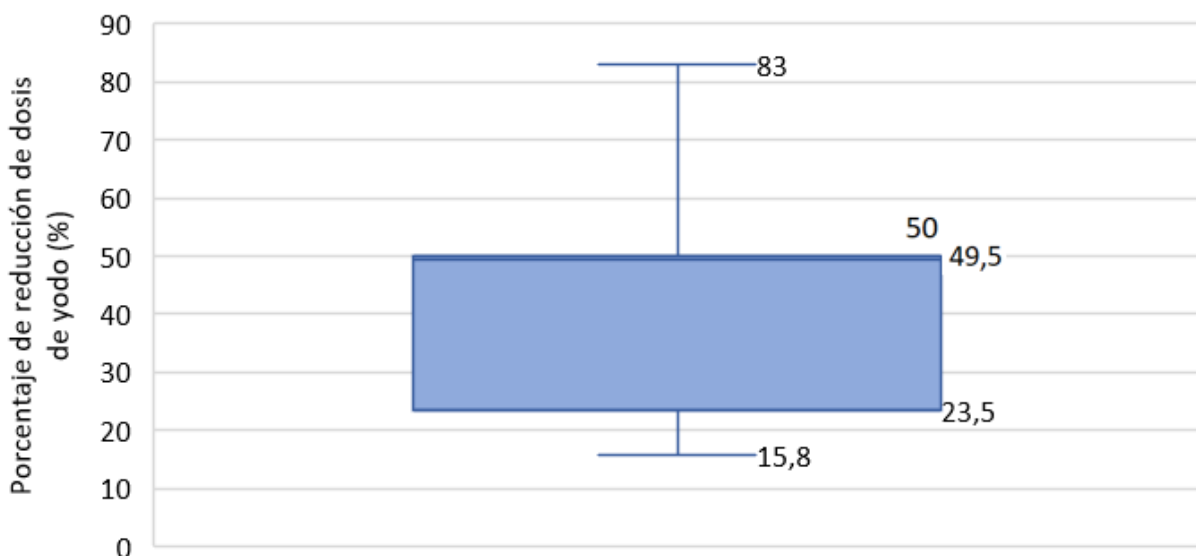


Figura 4: Gráfico de cajas y bigotes, se muestran los porcentajes de reducción de Dosis de Yodo en equipos de doble energía respecto a protocolos en TC convencional. La línea horizontal representa el valor mediano (49,5%); parte inferior de la casilla, percentil 25 (23,5%); parte superior de la casilla, percentil 75 (50%); límites de bigotes, valor mas bajo (15,8%) y mas alto (83%). Creación, manejo y modificación de hojas de cálculo Excel (2018).

Sin embargo, es necesario analizar la evidencia disponible respecto a la disminución de dosis de MCY a profundidad ya que hay estudios de zonas anatómicas que requieren un uso mayor de MCY, por lo que, la dosis de MCY administrada varía según el tipo de estudio de TC a realizar. Por ejemplo, la angiografía abdominal por tomografía computada exige una dosis de yodo más alta que la angiografía torácica por tomografía computada debido a una cobertura craneocaudal de exploración más larga, diferente grosor, composición de tejidos y mayor contraste de tejidos blandos para evaluar estructuras de múltiples órganos.

3. Tipos de exámenes y/o segmentos anatómicos en los cuales se ha efectuado disminución de la dosis de MCY y evaluación de la calidad de imagen

En relación al segundo tema de esta revisión, se expondrá la evidencia recopilada sobre la disminución de dosis MCY en diversos exámenes y/o segmentos anatómicos y la evaluación de calidad de imagen obtenida en dichos estudios.

Tomografía Computada de Abdomen

En un estudio realizado por *Lennartz et al.*³³, se redujo la dosis de MCY modificando el volumen de agente de contraste inyectado, es decir, de 100 mL de Accupaque 350 utilizados en un examen TC abdominal estándar, se utilizaron 50 mL de Accupaque 350 para los exámenes en equipos DL-DECT. Luego, se investigó si las imágenes virtuales monocromáticas (Virtual Monochromatic Image, VMI) de 40 keV reconstruidas a partir de exámenes de TC de abdomen con equipo DL-DECT con un 50% de reducción de MCY, en pacientes con alto riesgo de reacciones adversas al MCY, proporcionan una evaluación abdominal y parámetros cuantitativos de calidad de imagen similares a las imágenes convencionales de 120 kVp con dosis de MCY estándar en pacientes con características similares al grupo DL-DECT. Las imágenes VMI 40 keV y convencionales de 120 kVp fueron reconstruidas mediante un algoritmo espectral IR, desarrollado para DL-DECT, con una reducción de ruido nivel 3 de 7, y se compararon ambos set de imágenes en una fase venosa portal. Se demostró que las VMI 40 keV con una carga de MCY del 50% presentaron una atenuación mayor en hígado, páncreas, riñones, aorta abdominal, vena porta y grasa retroperitoneal en comparación a las imágenes convencionales de 120 kVp con dosis estándar de MCY, la atenuación fue similar en los ganglios linfáticos retroperitoneales y músculo psoas entre ambas imágenes. Los valores SNR fueron comparables entre las imágenes VMI 40 keV y las convencionales, y los valores CNR de los ganglios linfáticos

frente a la aorta abdominal y frente a la vena porta fueron superiores en las VMI 40 keV. Por lo que, este estudio muestra que las VMI de 40 keV, proporcionadas por equipos DL-DECT, preservan y mejoran los parámetros de imagen cuantitativos en la TC abdominal con reducción de MCY en un 50%. La exposición a la radiación fue similar entre ambos grupos de estudio.

Este estudio demostró que es factible disminuir la dosis de MCY en un 50% en exámenes de TC abdominal en equipos DL-DECT sin afectar la calidad de imagen. Es importante tener en cuenta que, a pesar de los resultados prometedores entregados, este estudio no investigó la evaluación de lesiones, por lo que los resultados no deben generalizarse. A pesar de que no se registró ningún otro artículo que investigara la factibilidad de disminuir la dosis de MCY en TC abdominal con equipos DECT, la metodología efectuada es correcta y factible de replicar en trabajos posteriores.

Tomografía Computada de Hígado

*Kim et al.*³⁴ demostraron la viabilidad de reducir en un 30% la dosis de MCY (389 mgI / kg) en comparación la dosis estándar utilizada (555 mgI / kg), utilizando un MCY con un concentración de 370 mgI / mL (Ultravist 370), a partir del uso de VMI avanzadas (Mono+) en exámenes multifásicos de TC hepática con equipos DSCT. Utilizando VMI de energías entre 50 - 60 keV lograron obtener una calidad de imagen y visibilidad de lesiones hepáticas focales comparable o superior a las imágenes convencionales de 100 kVp. Para este estudio, se utilizó un algoritmo SAFIRE (Siemens Healthineers); con una fuerza de reducción de ruido 2 de 5 en todas las imágenes. Dado a que todas las imágenes fueron reconstruidas con el mismo algoritmo IR y nivel de reducción de ruido, se destaca la ventaja que ofrece el algoritmo Mono+ en las imágenes VMI ya que se reduce considerablemente el nivel de ruido proporcionando un alto contraste. Por esta razón, se logró obtener imágenes

con CNR y SNR superiores o similares a las imágenes convencionales a 100 kVp y reducir la dosis de MCY inyectada. Respecto a la dosis de radiación, los valores medios de CTDIvol y DLP fueron comparables entre ambos grupos (SECT y DSCT).

*Li et al.*³⁵ estudiaron la viabilidad de disminuir la dosis de MCY en un 41% en exámenes de TC multifásicos hepáticos con pacientes con sospecha de hemangioma hepático (HH) mediante el uso de una técnica automática de selección de protocolo de imágenes espectrales (ASIS, GE Healthcare) y algoritmo ASiR (GE Healthcare) , en equipos DEsCT. Se reconstruyeron VMI de 52 keV y 69 keV con 30% y 50% ASiR respectivamente para comparar la calidad de imagen obtenida junto con imágenes convencionales 120 kVp con dosis estándar de yodo (450 mgI / kg; Iopamiro 370 mgI / mL) reconstruidas con un 30% ASiR. Se demostró que en comparación con las imágenes de 120 kVp, las VMI de 52 keV presentaron valores más altos de atenuación en la lesión, CNR y visibilidad de la lesión, en cambio, las VMI de 69 keV presentaron un ruido similar al de las imágenes TC convencionales, no obstante, debido a la reducción de la tasa de yodo y concentración del MCY utilizada, los valores de atenuación y CNR fueron inferiores a las imágenes de 120 kVp. Por lo tanto, el uso de VMI de 52 keV junto con un 50% ASiR puede reducir significativamente el ruido de la imagen sin deteriorar el rendimiento diagnóstico para la visibilidad y detección de HH típico y permitiendo la reducción de la dosis total de yodo sin comprometer el contraste de la imagen. Se realizó la reducción de un 41% de MCY modificando la concentración del agente y la dosis por kilogramo administrada (Visipaque 270 mgI / mL y 270 mgI / kg respectivamente). Respecto a la dosis de radiación, el grupo DECT obtuvo una tasa media de reducción de dosis de CTDIvol, DLP y E de un 42, 30 y 41%, respectivamente, en comparación al grupo SECT con dosis estándar de yodo. Esta reducción de dosis se debe principalmente al uso de ASIS. Esta es una herramienta de software comercial que determina automáticamente el protocolo de imágenes espectrales

óptimo en función del tamaño del paciente determinado durante las vistas de exploración anteroposterior y lateral y el índice de ruido de imágenes no espectrales (NI) preestablecido.

Por otro lado, *Nagayama et al.*³⁶ evaluaron la calidad de imagen y la visibilidad de la lesión de la TC hepática multifásica en equipo DL-DECT realizada en pacientes con disfunción renal con sospecha, diagnóstico o seguimiento de tumores hepáticos con una carga de yodo reducida en un 50%. Realizaron una comparación entre las VMI de 40 - 70 keV (en incrementos de 5 keV) obtenidas con dosis de yodo al 50% (300 mgI / kg) en equipos DL-DECT con imágenes convencionales policromáticas de 120 kVp de pacientes controles (sin disfunción renal) con una carga completa de yodo (600 mgI / kg). Las imágenes VMI fueron reconstruidas mediante un algoritmo espectral IR, desarrollado para DL-DECT, con una reducción de ruido nivel 3 de 7, en cambio, las imágenes SECT se reconstruyeron con un algoritmo IR iDOSE⁴ (Philips Healthcare) de nivel 3, aunque ambos algoritmos funcionan de manera comparable. Se demostró que las VMI entre 40 - 50 keV con una carga de yodo del 50% produjeron una atenuación arterial y hepática significativamente mayor en comparación con las imágenes de la TC hepática multifásica convencional de 120 kVp, además, el ruido obtenido fue menor o equivalente en todos los rangos de energía reconstruidos de las VMI, por lo que, los valores de CNR en las imágenes keV más bajas fue significativamente mayor que en las de 120 kVp. Por lo tanto, las VMI entre 40 - 50 keV construidas a partir de DL-DECT poseen una calidad de imagen objetiva y visibilidad de la lesión superior o similar a las imágenes de 120 kVp. Respecto a la dosis de radiación, los valores de CTDI_{vol} obtenidos para el grupo DL-DECT fueron aproximadamente un 10% más bajos que el grupo SECT estándar.

Los tres estudios entregan información prometedora para la reducción de dosis de MCY en estudios de TC hepática multifásica con equipos TC de doble energía, y ponen en manifiesto la ventaja que ofrecen estos por sobre los equipos SECT, sin embargo, no es posible

comparar sus resultados de manera precisa ya que se utilizaron diferentes tipos de equipos TC de doble energía (DSCT; DEsCT; DL-DECT), distintos protocolos de inyección de MCY y algoritmos de reconstrucción IR para cada estudio. Pese a lo mencionado, se logra observar una tendencia a utilizar VMI de energías bajas (40 - 60 keV) en las 3 fases mejoradas del estudio (fase arterial, venosa portal y tardía), al igual que un algoritmo de reconstrucción iterativa para obtener una correcta visualización de las lesiones hepáticas y valores de SNR y CNR superiores o equivalentes a imágenes convencionales SECT de 100 o 120 kVp. Los 3 autores mencionados realizaron una adquisición sin contraste para tener una comparación de dosis de radiación adecuada entre los exámenes SECT y DECT.

Venografía Portal

*Ma et al.*³⁷ realizaron venografía portal por TC (Computed Tomography Portal Vein, CTPV) donde redujeron un 25% de la dosis de yodo (con una media de 23,1 gl vs 30,5 gl) cambiando la dosis por kilogramo desde el protocolo convencional de 500 mgI / kg en SECT a 350 mgI / kg (Ultravist 370 mgI / mL) para protocolo DECT. Demostraron que disminuir el MCY y el uso de DEsCT, mejoró la intensidad de la señal intravascular en las venas porta y redujo el ruido de la imagen, mejorando o manteniendo la CNR. Determinaron un nivel de energía de 60 keV dado que su algoritmo ASiR (GE Healthcare) solo funcionaba para imágenes de esta energía. No hubo diferencia significativa en dosis efectiva entre ambos protocolos.

Por otro lado *Han et al.*³⁸, presentaron una disminución de 52% de la carga total de yodo administrada a los pacientes, disminuyendo la carga por kilogramo de 600 mgI / kg a 300 mgI / kg y ajustando la velocidad de inyección. Utilizaron un equipo DEsCT y reconstruyeron las imágenes mediante algoritmo ASiR (GE Healthcare) de un 40%. Se seleccionaron protocolos de exploración que se aproximen a la dosis de radiación del protocolo convencional de 120

kVp. Sus resultados evidencian que la combinación del uso de VMI de baja energía (50 keV) y ASiR redujo significativamente la dosis de yodo a los pacientes manteniendo una calidad de imagen aceptable, incluso, los valores de atenuación de las VMI de 50 keV de la vena porta principal, derecha e izquierda eran todavía más altos que los de las imágenes convencionales de 120 kVp.

Como se puede observar, ambos autores utilizaron equipo DEsCT y reconstrucción ASiR (GE Healthcare). Se logra evidenciar una disminución en la carga de yodo sin perjudicar la calidad de imagen. Cabe destacar que, si bien cada artículo disminuyó en porcentajes notoriamente diferentes la carga total de yodo (25% vs 52%), logran converger a una dosis por kilogramo similar (350 mgI / kg vs 300 mgI / kg), por lo que, se observa cierta congruencia entre los artículos. Además ambos autores utilizaron ASiR para mejorar la calidad de imagen de las VMI, lo que cobra gran utilidad en las imágenes de baja energía, debido al aumento del ruido inherente a una disminución del keV, demostrando que el uso de este algoritmo en conjunto con VMI de baja energía, proporciona una calidad de imagen mejor o igual que las imágenes convencionales de 120 kVp.

Urografía por Tomografía Computada

En un estudio realizado por *Shuman et al.*³⁹, se comparó la urografía por DECT, en equipos DEsCT, con una dosis reducida de MCY en un 50% (81 mL; iodixanol 270 mgI / mL) con la urografía por SECT con dosis estándar de MCY (125 mL; Omnipaque 350 mgI / mL) de pacientes con características similares al grupo DECT (sexo, edad, indicación del examen y suma de las dimensiones del cuerpo (anteroposterior y lateral) a nivel de los riñones), con el fin de evaluar la atenuación de las estructuras renales vasculares y del tracto urinario, y la calidad de la imagen entre ambos exámenes. Cabe destacar que, la urografía por TC es un examen multifásico que cuenta con una fase no contrastada, una fase nefrográfica 90

segundos después de la administración de MCY y una fase excretora realizada 10 minutos después de la administración de MCY. Se reconstruyeron imágenes VMI de 50 y 77 keV tanto para las fase nefrográfica (90 s) y fase excretora (10 min) y se comparó la calidad de imagen obtenida junto con imágenes convencionales de 120 kVp con dosis estándar de MCY, para ambos set de imágenes, tanto para las VMI DECT e imágenes SECT, se reconstruyeron con un algoritmo de reconstrucción ASiR (GE Healthcare) de un 70%. Se demostró que las VMI de 50 keV de MCY reducido obtuvieron una atenuación mayor en las arterias renales, parénquima renal, cálices y pelvis renal, uréteres y vejiga, y un mayor nivel de ruido en comparación a la imágenes SECT de 120 kVp con dosis de MCY estándar en las fase nefrográfica y excretora, la atenuación obtenida en las venas renales fueron similares entre VMI 50 keV e imágenes SECT. De este mismo modo, los valores de CNR para VMI 50 keV fueron iguales o superiores a las imágenes convencionales de 120 kVp en todas las ubicaciones para cada fase. Las VMI de 77 keV solo representaron un ruido similar a las imágenes SECT, a diferencia de las VMI de 50 keV, que presentaron un mayor nivel de ruido. Respecto a la dosis de radiación, no hubo diferencias significativas en la dosis estimada de radiación, los valores de CTDIvol fueron similares entre ambos grupos y para cada fase. Esto se debe principalmente porque se seleccionó un protocolo de examen DECT con una dosis de radiación que mejor se ajustaba al CTDIvol del protocolo SECT.

Este estudio demostró que es factible disminuir la dosis de MCY en un 50% en urografía TC en equipos DEsCT sin afectar la calidad de imagen del examen. *Shuman et al.*,³⁹ redujeron la dosis de MCY cambiando la concentración del MCY utilizado en el protocolo estándar (Omnipaque 350 mgI / mL) por uno de menor concentración (Iodixanol 270 mgI / mL), esto permitió reducir la dosis de yodo que recibía el paciente en un 50%. Un protocolo estándar utilizaba un volumen de 125 mL de Omnipaque 350 (44 g de yodo) administrados por examen, al modificar la concentración del MCY, se utilizaron 81 mL de Iodixanol 270 (22 g de

yodo), reduciendo así, la dosis de yodo administrada por examen. Es importante tener en cuenta que este estudio solo se limitó a comparar objetivamente y subjetivamente la calidad de imagen, en términos de la mejora del tracto urinario y el ruido de la imagen, entre las dos técnicas de TC diferentes y con dosis de yodo distintas, no obstante, no se evaluó la calidad diagnóstica de las imágenes. Dado a que no se registró ningún otro artículo que investigara la factibilidad de disminuir la dosis de yodo en urografía por TC con equipos DECT, no es posible comparar la metodología de trabajo y disminución de dosis de MCY entre autores, a pesar de ello, consideramos que la metodología realizada es factible para poder generar más estudios en base a esta temática.

Angiografía de Arterias Pulmonares

*Meyer et al.*⁴⁰ investigaron la viabilidad de reducir la dosis de MCY en un 83% en pacientes con sospecha de tromboembolismo pulmonar (TEP) y factores de riesgo renal (insuficiencia renal aguda o crónica) en exámenes de angiografía por TC de arterias pulmonares (Computed Tomography Pulmonary Angiography, CTPA) en equipos DSCT. Para este estudio, se utilizó un MCY con una concentración 400 mgI / mL (Iomeprol 400) para ambos grupos de estudio, sin embargo, para el grupo de estudio de exámenes DSCT se diluyó este en un 30% con suero fisiológico al 0.9%, obteniendo una concentración de 120 mgI / mL. Los investigadores realizaron una comparación entre las imágenes VMI de 40 - 100 keV (en incrementos de 5 keV) obtenidas con una dosis de MCY reducida en un 83% (45 mL de Iomeprol 400 diluido al 30% ; 5.4 g de yodo) en equipos DSCT con las imágenes espectrales polienergéticas virtuales o convencionales de 120 kVp de pacientes sin factores de riesgo renal con dosis estándar de MCY (80 mL de Iomeprol 400; 32 g de yodo). Todas las imágenes se reconstruyeron utilizando un algoritmo IR con un nivel 3 de reducción de ruido, sin embargo, para los exámenes CTPA DSCT, se utilizó un método de reconstrucción iterativa basado en modelos (ADMIRE, Siemens Healthineers) y para los exámenes CTPA

estándar se utilizó un algoritmo SAFIRE (Siemens Healthineers). Se demostró que las VMI de 50 keV presentaron una SNR y CNR, en las arterias pulmonares principales, más altas en comparación a las imágenes convencionales de 120 kVp, por otro lado, las VMI de 40 keV presentaron una SNR y CNR, en la arterias pulmonares periféricas, más altas en comparación a las imágenes convencionales, por lo tanto, los conjuntos de datos de VMI de 40 - 50 keV son ideales para reducir la cantidad de dosis de MCY sin una reducción en la precisión diagnóstica, la opacificación de los vasos, la CNR y SNR o la calidad de imagen percibida. La dosis de radiación fue mayor para el protocolo CTPA DSCT en comparación con el protocolo CTPA estándar, con una mayor exposición a la radiación de un 26%.

*Mourits et al.*⁴¹ compararon la calidad de imagen de la CTPA DEsCT luego de una reducción de un 50% de la dosis de MCY (50 mL; Optiray 350 mgI / mL) con imágenes de CTPA DEsCT con dosis estándar de MCY (100 mL; Optiray 350 mgI / mL), en pacientes con sospecha de TEP. Se reconstruyó una serie ponderada promediada equivalente a una adquisición de imagen de 120 kVp (para obtener una imagen con características cualitativas equivalentes a imágenes convencionales policromáticas SECT de 120 kVp) y una serie de VMI de 80 keV para ambos grupos. Las imágenes se reconstruyeron con una ponderación de 80 y 140 kV de 0,6 (es decir, una relación de un 60% de información de imagen de series de 80 kV y 40% de series de 140 kV). Los resultados demostraron que aunque el volumen de MCY fue evidentemente disminuido a 50 mL, el CNR y el SNR de las imágenes reconstruidas de 80 keV y 120 keV no fueron significativamente diferentes entre ambos protocolos. Además, los valores medios de atenuación y dosis de radiación no se redujeron significativamente con el uso de MCY bajo.

Ambos estudios presentan la ventaja que tienen los equipos TC de doble energía para reducir la cantidad de MCY en los exámenes de angiografía por TC de arterias pulmonares. Sin embargo, no es posible realizar una comparación precisa entre ambos debido a que

utilizan diferentes tipos de equipos TC de doble energía (DSCT; DEsCT), distintos protocolos de inyección de MCY y tipo de reconstrucción de imágenes. El estudio de *Meyer et al.*,⁴⁰ demostró que los exámenes de CTPA DSCT son factibles utilizando una dosis de yodo reducida (5,4 g de yodo) con una calidad de imagen no inferior en comparación con una CTPA estándar con una dosis estándar de MCY. Un punto a destacar, es que se utilizó un tipo diferente de algoritmo IR para las VMI obtenidas con dosis baja de MCY y para las imágenes convencionales de 120 kVp, ADMIRE y SAFIRE (Siemens Healthineers), respectivamente, pese a que ambos son algoritmos de reconstrucción iterativa del mismo proveedor y se utilizó el mismo nivel de reducción de ruido, el algoritmo IR ADMIRE es un método de reconstrucción iterativa basado en modelos, en cambio, el algoritmo IR SAFIRE es un método reconstrucción iterativa afirmado por sinograma. La diferencia entre ambos es que aquellos algoritmos basados en modelos presentan ventaja, ya que, poseen una gran capacidad de reducción de ruido y de artefactos⁵⁶, por lo que, es posible que los resultados de este estudio se hayan visto mínimamente afectados por la diferencia en los algoritmos de reconstrucción. También, es importante tener en cuenta que el examen CTPA DSCT presenta una mayor exposición a la radiación en comparación con la CTPA estándar a 120 kVp, por lo que, los beneficios de una cantidad reducida de MCY deben ser superados frente a una mayor dosis de radiación, en este caso, los pacientes con insuficiencia renal aguda o crónica pueden beneficiarse de esta opción.

El estudio de *Mourits et al.*⁴¹ demostró que se puede lograr una calidad de imagen adecuada con una reducción del 50% del volumen de MCY, en un examen CTPA DEsCT. Sin embargo, sólo realizó reconstrucciones VMI de 80 y 120 keV sin FBP ni algoritmos IR, por lo que, no se aprovechó en su totalidad las ventajas que ofrecen los equipos TC de doble energía y algoritmos IR, esto hubiese permitido establecer una mayor reducción de la dosis de MCY administrada. Un punto destacable en este estudio, es que se consideró como parte de la

dosis de MCY administrada a los pacientes de dosis reducida, la cantidad de MCY utilizado para el test de bolus (10 mL) y que se comparó la calidad de imagen entre exámenes CTPA DEsCT con dosis estándar de MCY y un exámenes CTPA DEsCT con dosis reducida de MCY.

Angiografía de Arterias Coronarias

*Oda et al.*⁴² evaluaron el efecto de las VMI de 50 keV obtenidas en un equipo DL-DECT sobre la calidad de imagen en la angiografía coronaria por TC (Coronary Computed Tomography Angiography, CCTA) adquirida mediante el uso de una dosis de MCY reducida en un 50% (140 mgI / kg) respecto a la dosis estándar (280 mgI / kg) en pacientes con insuficiencia renal. Se utilizó Iopamidol como MCY con una concentración de 370 mgI / mL. Las imágenes VMI 50 keV se obtuvieron a partir del postprocesado de los datos de imagen espectrales y se compararon con imágenes convencionales SECT de 120 kVp con dosis estándar de yodo, de pacientes controles, reconstruidas con un algoritmo IR iDOSE⁴ (Philips Healthcare) de nivel 3 . Este estudio demostró que los valores de atenuación de la aorta ascendente, arteria coronaria principal izquierda y arteria coronaria derecha fueron más altos en las imágenes VMI de 50 keV que en las imágenes convencionales de 120 kVp. Para la arteria descendente anterior, arteria circunfleja y porción distal de la arteria coronaria derecha no hubo diferencias significativas entre ambos set de imágenes, en términos de valores de atenuación. Respecto al ruido de imagen, este fue menor en las VMI de 50 keV que en las imágenes SECT de 120 kVp. Debido a esto, la CNR fue significativamente mayor con el protocolo VMI de 50 keV que con el protocolo de 120 kVp en todos los sitios evaluados. Lo mencionado anteriormente, demuestra la factibilidad de utilizar un protocolo VMI de 50 keV utilizando un equipo DL-DECT y una dosis de MCY disminuida en un un 50% logrando una calidad de imagen y realce de contraste arterial coronario mejor a la obtenida en un

protocolo estándar de 120 kVp en equipos SECT. Respecto a la dosis de radiación, no hubo diferencias de los valores medios de CTDIvol y E entre los dos protocolos.

*Rotzinger et al.*⁴³ evaluaron la calidad de imagen en la CCTA, con equipo DL-DECT, con dosis reducida de MCY en un 40% (0,5 mL / kg (máximo 45 mL)) en comparación a una protocolo estándar CCTA de 120 kVp con dosis regular de MCY (1 mL / kg (máximo 90 mL)). Se utilizó lomeprol 400 mg I / mL como MCY para ambos protocolos. Para el grupo DL-DECT se reconstruyeron VMI entre 40 - 130 keV (en incrementos de 15 keV). Las imágenes convencionales de 120 kVp y VMI se reconstruyeron a partir de un algoritmo IR iDOSE³ (Philips Healthcare). El estudio demostró que las VMI de 55 keV proporcionaron una atenuación similar en comparación a las imágenes convencionales de 120 kVp con dosis estándar de yodo, también, los valores de CNR entre lumen y grasa, y entre lumen y músculo, fueron mayores hasta un máximo de VMI de 55 keV en comparación con la CCTA convencional, sin embargo, el valor de CNR entre lumen y hueso se mantuvieron similares entre ambos protocolos de imagen. Por lo que, el CCTA DL-DECT permite una reducción de la dosis de MCY en un 40%, preservando o mejorando la calidad de la imagen diagnóstica. No hubo diferencias en los valores medios de radiación entre ambos protocolos.

Ambos estudios se pueden comparar entre sí gracias a que utilizan el mismo equipo DL-DECT y parámetros de adquisición y dosis de MCY similares entre ambos protocolos. Por lo que, se demuestra en gran medida que en exámenes CCTA con equipos DL-DECT es posible reducir la dosis de MCY utilizada entre en un 40 - 50 % de la dosis estándar utilizada en los centros, con MCY que rondan en una concentración entre 400 y 370 mgI / mL. Se observa una tendencia de realizar reconstrucciones VMI entre un rango de energía entre 50 - 55 keV para exámenes CCTA, para lograr una calidad de imagen y realce de contraste arterial coronario mejor o similar a la obtenida en un protocolo estándar de 120 kVp en equipos SECT. Por último, las VMI de bajo keV (50 - 55 keV) al mejorar los valores de CNR

entre el lumen frente la grasa y el músculo, ofrecen una oportunidad de mejorar el contraste entre varios componentes de la placa de ateroma que presente el paciente, lo que permite el análisis de la composición de la placa, lo que es un determinante clínicamente relevante de la vulnerabilidad de la placa. El tejido adiposo exhibe una atenuación más baja a 55 keV que en las imágenes convencionales, por lo que, esta característica permitirá la detección de una placa con un núcleo rico en lípidos.

Ahora bien, una característica comparable entre ambos es que en el estudio de *Oda et al.*,⁴² el tamaño corporal de los pacientes estudiados era pequeño, estos tenían un índice de masa corporal (IMC) entre 24 y 27 kg / m², en cambio, en el estudio de *Rotzinger et al.*,⁴³ se incluyó pacientes con un IMC de hasta 40 kg / m² obteniendo resultados aceptables y mejores de calidad de imagen, que las imágenes convencionales de 120 kVp. Esto es importante, ya que en pacientes con un tamaño corporal grande, el CCTA VMI de bajo keV puede producir imágenes de peor calidad debido a la dispersión y absorción de radiación, pero en este caso, se observa una factibilidad de realizar CCTA DECT con dosis de MCY reducida en pacientes de gran tamaño.

Angiografía de Aorta Torácica

En un estudio realizado por *Johansen et al.*⁴⁴ se comparó la calidad de imagen de la angiografía de aorta torácica DECT en equipos DEsCT, utilizando una reducción del 50% en el volumen del MCY, con exámenes SECT previos. Se trabajó con Omnipaque 350 mgI / mL y en el protocolo SECT se utilizaron 80 mL de MCY, el que se redujo a la mitad (40 mL) para los exámenes de seguimiento DECT. Ambos protocolos se reconstruyeron con ASiR (GE Healthcare) 50% y, adicionalmente a DECT, se agregaron reconstrucciones con ASiR-V (GE Healthcare) 80%. Se reconstruyeron VMI en un rango de 50 - 74 keV. Se observó una reducción en la CNR en DECT en comparación con SECT, sin embargo, estas diferencias no

fueron significativas para los niveles de energía menores a 60 keV con ASiR-V 80%. Para el tronco celíaco, no hubo diferencias significativas en la SNR para las VMI menores de 55 keV con ASiR-V 50% y para las VMI menores de 74 keV con ASiR-V 80%. En la aorta ascendente, el SNR fue significativamente mayor en SECT en comparación con DECT en todos los niveles de energía tanto para ASiR-V 50% como para 80%. Se demostró que, en comparación con SECT, en DECT el ruido aumentó a niveles bajos de energía, el cual pudo ser superado aumentando el nivel de ASiR-V. Respecto a la dosis de radiación, hubo aumento de la dosis de radiación para DECT en comparación con SECT, el CTDIVol y DLP fue de 12,3 mGy y 493,8 mGy, respectivamente para DECT, y 7,9 mGy y 18,3 mGy, respectivamente para SECT.

Los autores aluden a la reducción del volumen de MCY, la disminución de la CNR y SNR, aunque esta disminución no fue estadísticamente significativa. A pesar de no superar a las imágenes convencionales de 120 kVp, la mejor calidad de imagen se obtuvo en reconstrucciones de imagen de 55 keV y ASiR-V 80% lo que permitiría a este protocolo ser limitado a pacientes con insuficiencia renal. Cabe mencionar, que a lo largo de la revisión no se encontraron más artículos que tratarán exclusivamente este tema, por lo que no es posible generar o producir una comparación, a pesar de esto, consideramos que la metodología es factible para poder generar más estudios en base a esta temática.

Angiografía de Abdomen y Pelvis

*Liu et al.*⁴⁵ investigaron la viabilidad de las VMI de 65 keV, obtenidas en equipos DEsCT, en la angiografía por TC abdominal (DECTA abdominal) para pacientes obesos ($IMC \geq 25 \text{ kg} / \text{m}^2$) utilizando un MCY de baja concentración (Iodixanol 270 mgI / mL). Se comparó la calidad de imagen de las VMI de 65 keV obtenidas con imágenes SECT convencionales de 120 kVp obtenidas con un MCY de concentración estándar (Iohexol 350 mgI / mL) en pacientes

obesos con características similares al grupo DECTA. Todas las imágenes se reconstruyeron utilizando un algoritmo ASiR (GE Healthcare) 50% y ambos grupos utilizaron un volumen de 100 mL del MCY respectivo para cada uno. Los resultados demostraron que los valores de CNR de la aorta abdominal para las VMI de 65 keV fueron mayores en comparación a las imágenes convencionales de 120 kVp con dosis estándar de MCY, además, los valores de atenuación de la aorta abdominal, arteria hepática común, arteria esplénica y arteria mesentérica superior de las VMI de 65 keV no difirieron del grupo SECTA. Por lo que, exámenes de CTA abdominal en equipos DEsCT con VMI de 65 keV permiten el uso de MCY de baja concentración logrando reducir en un 23% la ingesta total (27 g de yodo por examen) y manteniendo la calidad de imagen en pacientes con IMC alto. La dosis de radiación fue menor para el protocolo DECTA abdominal en comparación con el protocolo SECTA estándar, el CTDIvol y DLP disminuyeron en un 46 y 35%, respectivamente. Esto se debe principalmente a que para el grupo DECTA se estableció un valor fijo de corriente de tubo, a diferencia del grupo SECTA estándar, en que se utilizó un valor de NI fijo, lo que produce que, en pacientes con IMC alto, los valores de dosis de radiación aumenten significativamente con el fin de mantener una calidad de imagen adecuada.

Por su lado, *Gao et al.*⁴⁶ evaluaron la disminución de dosis de yodo en un 23% en angiografía de identificación de arteria epigástrica inferior profunda (Deep Inferior Epigastric Perforator, DIEP) para la reconstrucción mamaria utilizando equipo DEsCT. Se inyectó una dosis fija de 100 mL de MCY utilizando Iodixanol 270 para el grupo DECT e Iohexol 350 para el grupo SECT. Se reconstruyeron las VMI 40 - 140 keV y se compararon con las imágenes convencionales de 120 kVp. Se obtuvo que la energía monocromática óptima fue de 63 keV, determinada por la CNR óptima de la arteria femoral y el músculo recto del abdomen. En comparación con SECT, VMI de 63 keV obtuvo mayor atenuación y mayor ruido; por lo que, la CNR en DECT fue ligeramente menor al grupo SECT, sin embargo, no existió una

diferencia estadísticamente significativa. También, no se encontraron diferencias significativas en los valores de CTDIvol entre los dos grupos, pero sí en los valores de DLP y E, que fueron menores para el grupo DECT. Este estudio, concluyó que la angiografía con esta técnica permite lograr imágenes vasculares de calidad para el diagnóstico clínico a la vez que se reduce la ingesta de yodo y la E en un 22,86 % y 11,01 %, respectivamente.

*Agrawal et al.*⁴⁷ compararon la calidad de imagen de las VMI reconstruidas a partir de DECTA abdominal, con equipo DEsCT, con dosis reducida de MCY (Iodixanol 320 mgI / mL; 75 mL) con la SECTA abdominal con dosis estándar de MCY (Iopimadol 370 mgI / mL; < 91 kg = 80 mL o ≥ 91 Kg = 100 mL) en pacientes con aneurisma aórtico abdominal (AAA). Para el grupo DECTA, se reconstruyeron VMI de 40 - 140 keV (en incrementos de 5 keV) solo con postprocesado para cada sujeto y se compararon con imágenes convencionales SECTA de 120 kVp reconstruidas con algoritmo ASiR 30% - 60% con dosis estándar de MCY. Los resultados de este estudio demostraron que las VMI de 40 - 60 keV tuvieron una atenuación aórtica intravascular mayor (26 - 185%) en comparación a las imágenes convencionales de 120 kVp; a pesar de que el ruido en las VMI 40 - 60 keV fue mayor, la gran atenuación intravascular obtenida aumentó la CNR en un 20 y 25 % y la SNR entre un 16 y 18 % para las VMI de 60 y 40 keV respectivamente, en comparación a las imágenes SECTA de 120 kVp. Los investigadores determinaron que las VMI que oscilaban entre 40 - 60 keV eran un conjunto de imágenes diagnósticas. Las VMI reconstruidas de 40 - 45 keV se clasificaron como óptimas para la evaluación de vasos de gran y pequeño calibre, por otro lado, las VMI de 60 - 65 keV se clasificaron como apropiadas para la correcta evaluación de órganos extravasculares. Por lo tanto, el DECTA abdominal con equipo DEsCT, logra obtener imágenes de alta calidad del abdomen y pelvis utilizando una dosis de MCY reducida en un 28%, equivalente a una dosis total de yodo de 24 g. Respecto a la dosis de radiación, no se

observaron diferencias en la exposición a la radiación del paciente entre la DECTA y la SECTA basal para la adquisición de la fase angiográfica.

Finalmente, *Patino et al.*⁴⁸ evaluaron la disminución de un 50% de dosis de Yodo en pacientes diagnosticados con AAA mediante SECT previo con protocolo estándar. Cabe destacar, que se realizó un examen multifásico (fase sin contraste, arterial y tardía) con fines diagnósticos. El protocolo SECT consiste en un MCY con una concentración de 370 mgI / mL (Iopamidol 370; para pacientes que pesen ≤ 91 Kg = 80 mL y para aquellos de > 91 Kg = 100 mL), para el protocolo DEsCT, se evaluaron dos concentraciones diferentes de MCY a utilizar: Iodixanol 270 mgI / mL (60 mL) e Iodixanol 320 mgI / mL (50 mL). Las VMI se reconstruyeron con ASiR 70% (GE Healthcare) en energías entre 40 - 70 keV, las imágenes convencionales se reconstruyeron con ASiR 30 - 50% con algoritmo SAFIRE de nivel 3 (Siemens Healthineers). Los resultados demostraron que se logró una atenuación intravascular casi idéntica en ambos grupos DEsCT de yodo reducido, independientemente de la concentración del MCY, entregando imágenes de calidad diagnóstica para la evaluación del sistema aortoiliaco. Las VMI de 40 y 50 keV, lograron una atenuación intravascular mayor (59 - 137%) y una CNR preservada en comparación a las imágenes SECTA con dosis estándar de MCY. Respecto a la detección de endoleak, se tiene una sensibilidad del 78,9 - 94,7% con una especificidad del 100%. Solo para la fase angiográfica, DECTA tuvo una dosis de radiación estimada un 15% superior a la CTA convencional. Por lo tanto, este estudio concluye que las VMI de 40 - 50 keV con reducción del 50% de dosis de yodo otorga una CNR adecuada para la evaluación del sistema aortoiliaco teniendo también una alta sensibilidad y especificidad para la detección del endoleak.

Todas las investigaciones tuvieron calidad de imagen similar o mejor con VMI de energías bajas respecto a las imágenes convencionales de 120 kVp. Sin embargo, el foco entre los diversos estudios es diferente, es decir, en el estudio de *Liu et al.* se evaluó en pacientes con

mayor IMC, en el estudio de *Gau et al.* se realizó el estudio para ver la factibilidad de realce de las arterias DIEP y *Agrawal et al.* y *Patino et al.* evaluaron AAA⁴⁵⁻⁴⁸. A pesar de esto, se puede observar una tendencia a utilizar VMI entre 50 - 65 keV de energía, aunque *a priori* puede parecer sorprendente que las VMI de energía baja puedan mantener la calidad diagnóstica. Sin embargo, esto puede explicarse por el hecho de que los estudios vasculares se leen con una amplia ventana de TC (por ejemplo, ancho, 1500 HU; nivel, 300 HU), la cual cambia la apariencia de la imagen para que parezca menos ruidosa. Otro factor a considerar, es el uso de ASiR entre 40 - 60% el que al momento de la reconstrucción de imágenes tiene la finalidad de disminuir el ruido, lo que cobra gran utilidad a niveles bajos de energía (cerca de los 50 keV) aportando así a lo expuesto anteriormente. También, se observa una tendencia a disminuir las concentraciones de MCY, y a la vez, el volumen administrado, disminuyendo de esta manera la dosis total de yodo ingerida por el paciente en rangos que van desde un 23% a un 50%; el uso de un MCY de menor concentración (< 300 mgI / mL) puede ser ventajoso porque proporciona un mayor volumen total de inyección para una dosis total de yodo dada, permitiendo de esta manera, una mayor duración de la inyección (con velocidad de inyección comparable) en comparación con un MCY de mayor concentración (> 300 mgI / mL) facilitando una mejora intravascular más uniforme.

Angiografía Cuerpo Completo

Noda et al.,⁴⁹ realizaron CTA de cuerpo entero, con una reducción del 50% de la dosis de yodo, es decir, para el protocolo SECTA se utilizó 600 mgI / kg (Iopimadol 300 mgI / mL), mientras que en el protocolo DECTA se utilizó 300 mgI / kg (Iopamidol 300 mgI / mL), el tipo de equipo utilizado para DECTA corresponde a DEsCT. Observaron que a niveles de energía más bajos, los VMI se asocian con el aumento de los artefactos de endurecimiento del haz, lo que conduce a una peor calidad de imagen en comparación con la reconstrucción de imágenes convencionales. La media de CTDI_{vol} y DLP para el tórax y el abdomen fue

significativamente mayor en el grupo DECTA que en el grupo SECTA, por otro lado no se encontraron diferencias significativas para pelvis. Demostraron que con VMI de 40 keV y algoritmo ASiR 40 y 80%, se consiguieron mejores resultados de calidad de imagen que en protocolo SECTA de imágenes convencionales de 120 kVp.

Por otro lado, *Nagayama et al.*⁵⁰ evaluaron una reducción de la dosis de MCY de hasta un 65,1%. Trabajaron en dos centros distintos, donde el MCY utilizado fue de 300 mgI / mL y de 300 - 370 mgI / mL. Por su parte, la dosis de yodo en el protocolo SECT equivale a 600 mgI / kg (dosis máxima restringida a 37 g de yodo) la que se disminuyó a 200 mgI / kg para los equipos DECT (DL-DECT). Reconstruyeron VMI de 40 - 70 keV, en intervalos de 5 keV utilizando algoritmo IR SPECTRAL (Philips Healthcare) con nivel 3 de reducción de ruido. Los resultados demostraron un contraste de vasos y órganos sólidos significativamente mayor en las VMI de 40 o 45 keV en comparación con las imágenes convencionales de 120 kVp. Además, la dosis de radiación para el grupo DL-DECT se redujo en aproximadamente un 20% en comparación con el grupo SECT.

Por su parte, *Hou et al.*⁵¹ investigaron la reducción del volumen de MCY respecto al peso de los pacientes. Durante toda su investigación utilizaron Omnipaque 350 (350 mgI / mL); el protocolo SECT establece 70 mL de MCY, y evaluaron el uso de 0,6 mL / kg (disminución promedio de 19.2% de la dosis de yodo estándar) y 0,4 mL / kg (disminución promedio de 22% de dosis de yodo estándar) en equipo DECT. Los protocolos de dosis de MCY de 0,6 mL / kg y 0,4 mL / kg en DECT, se definieron como B (volumen de MCY bajo) y C (volumen de MCY ultra bajo), respectivamente. Las imágenes del grupo A (SECT) se reconstruyeron utilizando un algoritmo FBP, mientras que las de los grupos B y C utilizaron ASiR 40 y 50%, respectivamente. En este estudio, se seleccionaron los niveles óptimos de energía de las VMI haciendo coincidir el realce de la aorta ascendente con la de la CTA convencional, por lo que, los niveles de energía para las VMI en los grupos B y C se establecieron,

respectivamente, en 58 - 61 keV (promedio: 60 keV) y 50 - 60 keV (promedio: 55 keV). Se demostró que en comparación con las imágenes policromáticas convencionales, las VMI reconstruidas con niveles de energía ajustados proporcionan una mejor corrección del endurecimiento del haz, atenuación y CNR. Los grupos de estudio B y C mostraron reducciones en la CTDIvol, DLP y E de 20%, 22,5 - 24,5% y 22,5 - 24,5%, respectivamente.

Por otro lado, *Shuman et al.*⁵² realizó un estudio de reducción en un 50% la dosis de yodo en pacientes que se habían sometido anteriormente a un examen SECT, aquellos pacientes sin examen SECT previo, se les calculó la dosis de yodo a recibir en un protocolo SECT y este se disminuyó a la mitad. Para el volumen de MCY utilizado en SECT, se basaron en el peso (seis categorías entre 55 kg y 105 kg) variando entre 120 y 170 ml, utilizando Iohexol 350 mgI / mL, para el aortograma DECT, se calculó el volumen de Iodixanol 270 mgI / mL que resultaría en una reducción del 50% en la dosis total de yodo. Se reconstruyeron las VMI a 50 y 77 keV con ASiR 70% (GE Healthcare). La VMI 50 keV se reconstruyó porque tiene una CNR óptima en los tejidos abdominales y 77 keV porque da como resultado una apariencia de contraste similar a la de la SECT de 120 kVp. Las imágenes VMI de 50 keV de dosis reducida de yodo, la atenuación fue un 138% mayor que para las VMI de 77 keV y un 60% mayor que para las imágenes convencionales SECT de 120 kVp con dosis de yodo estándar. No hubo diferencias significativas en la media de la CNR y SNR entre la VMI 50 keV y las imágenes convencionales de 120 kVp. Tanto la CNR como la SNR para la serie de VMI 50 keV fueron estadísticamente mayores que los de la serie de VMI 77 keV. No hubo diferencias significativas en la dosis media de radiación entre los exámenes DECT y SECT. Los autores concluyeron que la aortografía DECT con una dosis de yodo reducida del 49% reconstruida con una VMI 50 keV resulta en una atenuación aórtica significativamente mayor, una buena mejora vascular subjetiva y una SNR y CNR comparables en comparación con las imágenes SECT de 120 kVp con dosis estándar de yodo.

Finalmente, otro estudio realizado por *Shuman et al.*,⁵³ se sometió a pacientes con SECT previo a un estudio DECT con dosis de yodo reducida al 70%. El protocolo SECT establecía Iohexol 350 mgI / mL ajustada por peso, en 6 categorías entre 55 kg (100 mL) y 150 kg (150 mL) reconstruida con ASiR 40%; por su parte, para el protocolo DECT se utilizó un equipo DEsCT y como MCY, Iodixanol 270 mgI / mL o Iohexol 350 mg I / mL, se calculó el volumen de MCY que resultaría en una reducción de la dosis de yodo del 70% del aortograma SECT ; en el caso de aquellos pacientes que se le administró Iohexol 350, al volumen de MCY utilizado se le adicionó solución salina para igualar al volumen de MCY utilizado en SECT; Se reconstruyeron las mismas energías de VMI y algoritmos de reconstrucción que en su estudio anterior. No hubo diferencias significativas en la exposición estimada a la radiación. Se concluyó que la aortografía DECT con dosis de yodo reducida al 70%, con VMI de 50 y 77 keV puede dar lugar a una atenuación aórtica, CNR y SNR similares, en comparación con la aortografía SECT de yodo estándar en el mismo paciente.

Los autores de los 4 artículos plantean disminución de MCY por diversas vías, ya sea cambiando la dosis de yodo por peso o cambiando el volumen de MCY a administrar. En todos los casos se evidencia una clara disminución de la dosis total de yodo que va desde un 19.2% hasta un 70%. Cabe destacar nuevamente, que para que estos porcentajes cobren sentido es necesario conocer el protocolo estándar utilizado en los estudios, a partir de esto, la bibliografía revisada determina que la dosis de MCY para los estudios de aortografía de tórax, abdomen y pelvis en equipos DECT, corresponden a una dosis de yodo por peso que varía en un rango entre los 105 mgI / kg (caso para pacientes de 150 kg)⁵³ y 300 mgI / kg⁴⁹.

Todas las investigaciones tuvieron calidad de imagen similar o mejor con VMI de energías bajas respecto a las imágenes convencionales de 120 kVp. Sin embargo, el protocolo establecido por *Noda et al.*⁴⁹ registró que la calidad de imagen de las arterias pequeñas intrapélvicas fue peor en los grupos DECTA que SECTA. De los cuatro autores, solo

*Nagayama et al.*⁵⁰ utilizó equipo DL-DECT, el resto utilizó DEsCT, no obstante, todos los equipos DECT debieran cumplir con la misma función, claramente teniendo cada equipo sus respectivas ventajas y desventajas.

Respecto a los algoritmos utilizados para la reconstrucción de imágenes, se utiliza ASiR (GE Healthcare) en niveles elevados (70 - 80%) lo cual es capaz de disminuir considerablemente el ruido de las imágenes generadas. *Shuman et al.*⁵³ plantea el uso del 70% de ASiR para reducir el mayor ruido intrínseco en las imágenes de niveles de energía bajo y enfatiza que en su estudio no se intentó evaluar el impacto de este mayor porcentaje de ASiR como una variable separada. *Noda et al.*⁴⁹ observó que las imágenes del grupo DECTA con ASiR 80% mostró un ruido de fondo ligeramente mayor, pero una mayor atenuación en la aorta, y por consiguiente, la SNR era mayor, además, se mantenía la representación arterial en casi todas las arterias en comparación con SECTA.

*Hou et al.*⁵¹ utiliza algoritmo de reconstrucción iterativo para DECT y FBP para SECT. La reconstrucción obtenida con método iterativo es más lenta que con FBP, además, las imágenes obtenidas con FBP suelen tener artefactos de reconstrucción, bordes menos definidos y suelen otorgar más dosis de radiación que aquellas obtenidas mediante algoritmos iterativos. Por lo que, sus resultados pueden encontrarse ligeramente afectados por la diferencia en los algoritmos de reconstrucción.

Estudios de Abdomen Pediátrico

*Tong et al.*⁵⁴ incluyó a pacientes con tumores sólidos abdominales que se sometieron a un examen diagnóstico tumoral inicial con TC convencional con dosis estándar de MCY (Iodixanol 320 mgI / mL) y a una evaluación de seguimiento post quimioterapia con DEsCT con dosis reducida de MCY (Iodixanol 270 mgI / mL). Se evaluó la calidad de imagen de las VMI reconstruidas con una disminución del 15,8% de la dosis de yodo estándar. Las VMI con

niveles bajos de energía (40 - 59 keV) se reconstruyeron utilizando FBP y las de 60 keV utilizaron ASiR 40% (GE Healthcare), al igual que las obtenidas con SECT. Se seleccionaron los niveles de energía para el grupo de estudio a 40 y 60 keV, para poder evaluar realce vascular y órganos abdominales respectivamente. El examen DEsCT redujo la dosis total de radiación en un 19% en comparación a los exámenes realizados en SECT, lo que también fue estadísticamente significativo. Se obtuvo un suficiente realce en las arterias y un mejor realce en las venas en VMI 40 keV comparado con SECT. Los valores de SNR para el músculo, el hígado, el páncreas y la corteza renal para el examen de seguimiento fueron significativamente superiores que para el examen de diagnóstico tumoral. Respecto a la dosis de radiación, los valores de CTDIvol en DECT fueron aproximadamente un 19% inferior a los del protocolo convencional.

Por otro lado, *Lee et al.*⁵⁵ recopilaron exámenes de pacientes pediátricos que se sometieron a exámenes SECT con dosis estándar de yodo y DECT abdominales con un 19.6% menos de dosis de yodo, en un periodo menor a 3 meses. El protocolo SECT corresponde a la administración de Iobitridol 350 mgI / mL, con uso de algoritmo IR SAFIRE (Siemens Healthineers), por otro lado, el protocolo DECT corresponde a un examen con equipo DEsCT, junto con la administración de Iohexol, 300 mgI / mL y a la reconstrucción de VMI de 60 keV con algoritmos basados en Deep Learning. Ambos protocolos utilizaron una dosis por peso de 1,7 mL / kg. Los resultados demostraron que con el uso de la técnica de reducción de ruido basada en Deep Learning, en el conjunto de datos de VMI 60 keV, hubo una ligera mejora del ruido para los órganos abdominales y la calidad diagnóstica de las lesiones, sin mostrar diferencias en la calidad de imagen entre las imágenes VMI 60 keV e imágenes convencionales SECT. Por lo tanto, se concluyó que el conjunto de datos de las VMI en conjunto con el uso de Deep Learning, utilizando una baja concentración de MCY, pueden mantener la calidad de la imagen al tiempo que reducen la dosis de radiación y la carga de

yodo que recibe el paciente. Los valores de CTDIvol fueron más bajos en la exploración DECT que en la exploración SECT, lo que indica una reducción de un 19,6% en CTDIvol.

Ambos estudios proponen análisis sobre pacientes pediátricos utilizando un mismo tipo de equipo DECT, en esta etapa de vida, se sabe que es vital proteger a los pacientes de la radiación y de la cantidad de yodo que se administra a su cuerpo, con la finalidad de reducir las reacciones adversas. *Tong et al.*⁵⁴ proponen el uso de un contraste isoosmolar de 270 mgI / mL con una dosis de MCY de 1,4 mL / kg para pacientes que pesan menos de 20 kg, obteniendo una dosis por peso de 287 mgI / kg, y 1,7 mL / kg para aquellos que pesan más de 20 kg, es decir, 459 mgI / kg. Por su parte, *Lee et al.*⁵⁵ proponen el uso de una dosis de MCY por peso de 1,7 mL / kg para todos los pacientes pediátricos con un contraste isoosmolar de 300 mgI / mL, es decir, una dosis de 510 mgI / kg. Como podemos observar, hay una leve diferencia entre las dosis de yodo por peso que se entrega en cada estudio, obteniendo una imagen de calidad comparable a SECT en ambos casos, sin embargo, esta diferencia se hace más notoria al momento de considerar aquellos pacientes pediátricos cuyo peso fue menor a 20 kg dado que *Tong et al.*⁵⁴ planteó protocolos de dosis por peso diferentes considerando dicho peso como límite. Otro aspecto a mencionar, son los algoritmos utilizados para la disminución del ruido. El uso de Deep Learning por parte del estudio de *Lee et al.*⁵⁵ es una herramienta que no se encuentra disponible en la mayoría de los centros clínicos, además, esta debe ser entrenada previamente, por lo que, si bien entrega buenos resultados, no se encuentra ampliamente distribuido, lo que dificultaría su uso, sin embargo, el uso de ASiR siempre es una buena alternativa.

4. Parámetros considerados para la reducción de la dosis de yodo

A continuación se responde al tercer tema planteado para esta revisión: los diferentes parámetros que se consideraron para la reducción de MCY.

Los estudios recopilados utilizaron diferentes medidas para reducir la dosis de MCY administrada en los distintos exámenes. Las modalidades mayormente utilizadas fueron: reducir la dosis de yodo en relación al peso del paciente (a menor peso corporal menor dosis de yodo administrada) o bien, establecer un volumen fijo (siempre menor que para protocolos SECT) disminuyendo de esta manera la dosis de yodo neta que se inyecta a los pacientes.

Es posible además, aumentar el volumen de los MCY con solución fisiológica , estrategia útil especialmente al momento de utilizar MCY >300 mg I / mL ^{40 47 53} , es más, *Shuman et al.*⁵³ observaron que este método de inyección de contraste para lograr la reducción de la dosis de yodo resultó en un realce aórtico uniforme y *Agrawal et al.*⁴⁷ establece que la dilución adecuada del medio de contraste de mayor concentración con solución salina es un enfoque alternativo para aumentar el volumen de inyección, manteniendo baja la dosis total de yodo.

Ahora bien, la duración de inyección en una adquisición de TC contrastada, se encuentra limitada por el tiempo de duración del examen. Es necesario mantener un realce adecuado a lo largo de todo el examen para lograr obtener una imagen que represente lo que se desea estudiar con resultados diagnósticos, por esta razón, estudios más largos (angiografía de cuerpo completo) utilizan tiempos de inyección más prolongados que estudios que se realizan en un menor tiempo, repercutiendo en el volumen de MCY que se debe administrar.

Por su parte, la velocidad de la inyección del MCY depende de la duración del examen y del volumen de MCY a administrar; se ha observado que velocidades de inyección más bajas

tienen menos reacciones adversas ⁵⁴, sin embargo al momento de realizar angiografía, por limitaciones de la técnica y mantener un realce uniforme durante todo el estudio, es necesario mantener un flujo alto de MCY. Es necesario tener en cuenta que una tasa de inyección elevada, generalmente del orden de 5 - 7 mL / s, se correlaciona con el riesgo de fracaso del acceso intravenoso en pacientes con un estado venoso periférico deficiente. Sin embargo, *Hou et al.*,⁵¹ en un estudio de CTA aórtica, reveló que con la aplicación conjunta de un equipo DEsCT y algoritmo IR es posible reducir el volumen y tasa de inyección del MCY entre aproximadamente 40 - 60% y 30 - 52%, respectivamente, logrando obtener una calidad de imagen satisfactoria para este tipo de examen. La tasa de inyección utilizada en la CTA aórtica convencional es de 5 mL / s, no obstante, en este estudio, utilizando las tecnologías y protocolos ya descritos, es posible utilizar incluso una tasa de 2,4 mL / s para este tipo de examen. Pese a esto, hacen falta más estudios que investiguen acerca de la tasa de inyección óptima en equipos DECT.

La población objetivo de los estudios fue generalmente oriental, por lo que, el IMC y diámetro del abdomen de estos pacientes es más bajo que en la población occidental, a pesar de esto, múltiples autores teorizan que es posible incluir sus protocolos en población de mayor peso, sin embargo *Liu et al.*,⁴⁵ quienes realizaron un estudio exclusivamente en pacientes con IMC > 25, señalan que con el fin de evitar una sobredosis de medio de contraste, se utilizó el volumen más bajo (100 mL), por lo que la sobredosis de MCY es un factor que se debe considerar. Finalmente, cabe mencionar que para aquellos protocolos que se basan en dosis de yodo por peso o volumen neto quizá sea necesario hacer modificaciones sobre cierto peso límite para obtener una calidad de imagen aceptable sin administrar excesivamente MCY, sin embargo, no existe evidencia que confirme o rechace dicho supuesto, por lo que, queda abierto a futuras investigaciones.

5. Dosis de radiación

A lo largo de esta revisión, se ha encontrado información variada respecto a la dosis de radiación recibida por los pacientes que se someten a exámenes con tecnología DECT.

La exposición a la radiación puede verse aumentada^{44 45 48 49}, disminuída^{35 36 44 46 50 51 54 55} o no tener cambios estadísticamente significativos^{33 34 37 38 39 40 42 43 46 47 49 52 53} entre la exposición obtenida mediante DECT en comparación a SECT.

Todas estas opciones, se dan, dado que los autores utilizaron distintos tipos de equipos con tecnología DECT disponibles comercialmente (DSCT, DEsCT, DL-DECT), y utilizaron parámetros de adquisición conocidos mediante exámenes previos en SECT, para así ajustarse a un protocolo predefinido en el equipo DECT y obtener valores de dosis de radiación similares entre ambas técnicas.

En aquellos estudios que se fijaba un valor de índice de ruido (Noise Index, NI), en pacientes con IMC alto, los valores de dosis de radiación aumentan significativamente con el fin de mantener una calidad de imagen adecuada; dado que para pacientes de alto IMC, la eficiencia de los rayos X disminuye drásticamente y el ruido de la imagen aumenta drásticamente con la disminución del voltaje del tubo, lo que afecta la calidad de la imagen de la DECTA.

Los autores que trabajaron con equipos DEsCT tenían una desventaja inherente a la dosis de radiación originado por el propio equipo, dada la conmutación rápida del kVp, lo que genera una onda fluctuante de mA en el tiempo produciendo así diferentes cantidades de fotones aportando a la radiación recibida por los pacientes. Para intentar contrarrestar esta situación, algunos autores utilizaron el software ASIS, el cual es exclusivo de equipos DEsCT GE y es una herramienta de software comercial [Gemstone spectral imaging (GSI) Assist, GE

Healthcare] que determina automáticamente el protocolo de imágenes espectrales óptimo en función del tamaño del paciente determinado mediante los topogramas y el NI de imágenes no espectrales preestablecido. Esta herramienta es bastante útil ya que se define un valor de NI como referencia y luego ASIS calcula el CTDIvol basado en el NI, el tamaño del paciente, los parámetros de exploración, el rango de escaneo y recomienda el protocolo de VMI preestablecido óptimo con CTDIvol similar al de un modo de adquisición convencional. Por lo tanto, esto ayuda a tener parámetros de exploración según las características del paciente y permite obtener dosis de radiación menores en comparación a exámenes con TC convencional.

El uso de algoritmos IR, como ya se ha mencionado, ayudan a disminuir el ruido de las imágenes generadas por los equipos, permitiendo así el uso de menores factores de exposición sin perjudicar la calidad de la imagen final, sin embargo, se debe considerar que si se usa en un porcentaje o un nivel de reducción de ruido muy elevado (> 80% o sobre la mediana del algoritmo utilizado, respectivamente) la imagen podría tener una apariencia falsa o plástica.

Una ventaja en los equipos DECT es que gracias a las VMI es posible que la adquisición de una fase sin contraste puede ser reemplazada por las imágenes virtuales sin contraste obtenidas a partir del postprocesado de las VMI en fases contrastadas, teniendo así el potencial de reducir o tener valores similares de dosis de radiación a los exámenes realizados con equipos TC convencionales.

DISCUSIÓN

Dada la variabilidad de equipos TC doble energía y, por ende, las diferentes técnicas que utilizan para adquirir los conjuntos de datos de alta y baja energía, así como también los diferentes algoritmos de reducción de ruido disponibles, es difícil generar una estandarización de protocolos en relación al tema de esta revisión, sin embargo, existe una serie de elementos comunes que sin duda con el avance en el uso de la tecnología dual podrían llegar a unificarse.

Dentro de dichos elementos, es posible destacar que en la mayoría de los estudios revisados, fue eficiente la reducción en un alto porcentaje de la dosis de MCY. Los resultados mostraron que existe la factibilidad de disminuir las dosis estándar de MCY desde un 15,8% hasta un 83% en equipos DECT, obteniendo una calidad de imagen objetiva, con una SNR o CNR, comparables o mejores a imágenes de 100 - 120 kVp obtenidas en equipos TC convencionales con una dosis estándar de agente de contraste.

Otro aspecto relevante son los diferentes algoritmos de reconstrucción iterativa que permiten una importante reducción del ruido de la imagen y un aumento de la CNR, posibilitando el uso de imágenes de bajo keV. Los autores concuerdan que a medida que las VMI se acercan al borde k del yodo (33,2 keV), las VMI reconstruidas con energías entre 40 - 60 keV, aumentan significativamente los parámetros de calidad de imagen, aumentando la atenuación y el contraste intrínseco, y por ende, permitiendo una imagen diagnóstica con administración de bajas tasas de MCY. A pesar de que los algoritmos sean diferentes de acuerdo a cada fabricante, en todos los estudios revisados se destaca su uso y utilidad. Los algoritmos IR utilizados se mantenían en un rango entre el 30% y 80% o menor o igual a la mediana del nivel de reducción de ruido, por ejemplo *Kim et al.*³⁴, utilizó un nivel de ruido 2 de 5 para un algoritmo SAFIRE (Siemens Healthineers).

Los autores que trabajaron con equipos DL-DECT tenían una ventaja adicional sobre la supresión de ruido a niveles bajos de energía, esto porque la geometría de estos equipos facilita la adquisición simultánea de datos de baja y alta energía en la misma posición espacial, en donde los conjuntos de estos datos, exactamente emparejados, se pueden postprocesar sin la necesidad de interpolación angular y temporal ^{33 36 42 43 50}.

En relación a la eficiencia de la reducción de dosis de yodo para los diferentes exámenes o segmentos anatómicos, es complejo extraer conclusiones, ya que se encontró diferente cantidad de estudios por tipo, siendo en su mayoría vasculares. Aun así, es un hecho que la reducción de dosis es factible para este tipo de exámenes, lo que es relevante dado que corresponden a estudios en los cuales se solía utilizar un volumen elevado para mantener un alto flujo de inyección en el tiempo de exploración.

Se han planteado además aspectos relacionados con los parámetros que se consideran para la reducción de dosis MCY, entre los que destacan ajuste de dosis por peso, disminución de dosis neta y compensación con volumen de suero fisiológico o una dosis más baja fija, dado que la tecnología dual lo permite. Las tres modalidades han tenido ejemplos de éxito en esta revisión.

Todo lo anteriormente mencionado abre la posibilidad a implementar dicha reducción en forma rutinaria creando protocolos de acuerdo al tipo de equipo con que se cuente, y sobre todo, en un primera etapa, para casos específicos como pacientes con deterioro renal, pediátricos o que se efectúan exámenes en los que se administre MCY de manera habitual, casos que se observaron en esta revisión, por ejemplo *Nagayama et al.*³⁶ y *Meyer et al.*⁴⁰, trabajaron con pacientes con insuficiencia renal, demostrando que es factible disminuir la dosis de MCY sin un deterioro de la calidad de imagen en estos pacientes, es más, en el

estudio de *Meyer et al.*⁴⁰ se realizó seguimiento de los pacientes para evaluar riesgo de CI-AKI a las 24 y 72 horas, en donde ningún paciente desarrolló esta condición.

En relación a la dosimetría, un aspecto no menor derivado de la revisión, es variable debido a las diversas alternativas utilizadas en los estudios planteados, pero en la mayoría de los casos no se observa un aumento de ésta al compararla con la adquisición SECT o incluso puede verse disminuida, solo algunos casos mencionaron un alza, por aspectos específicos tales como uso de equipo DEsCT o valor de NI fijo en pacientes con elevado IMC.

En cuanto a las limitaciones que se han detectado tras la revisión, primero, está el hecho, ya mencionado, de la variabilidad de equipamiento que impide una estandarización de protocolos de baja dosis MCY. Sumado a lo anterior, no se encontraron artículos que utilicen tecnología DECT Twin Beam, por lo que, no se pudo realizar una comparación entre todas las tecnologías DECT disponibles comercialmente. En segundo lugar, hacen falta estudios que consideren pacientes de mayor índice de masa corporal. En tercer lugar, una pequeña cantidad de los artículos incluidos en esta revisión cuentan con una evaluación diagnóstica de la imagen, ya que a pesar de que todos los estudios consideren una evaluación cuantitativa y cualitativa (calidad de imagen objetiva y subjetiva), muy pocos incluían el uso de esta tecnología para un fin diagnóstico, dado que generalmente se utilizó para seguimiento de patologías y para corroborar que protocolos con dosis MCY reducidas en DECT, poseían igual o mejor rendimiento que protocolos SECT con dosis MCY estándar. Finalmente, la mayoría de los artículos incluidos dentro de esta revisión, efectuaron sus estudios en torno a la población asiática.

El resto de técnicas y/o zonas anatómicas, tales como tomografía computada de cerebro, angiografía de cabeza y cuello por tomografía computada, entre otras, no se encuentran incluidas en esta revisión dado que la búsqueda metodológica realizada no entregó

resultados respecto a dichas temáticas. Sin embargo, la evidencia entregada en la actualidad sugiere la masificación de estudios tanto para generar lineamientos en la población occidental y evaluar su uso en el diagnóstico clínico para posteriormente poder crear protocolos que utilicen una dosis de medio de contraste yodado reducida en conjunto con la tecnología de energía dual.

CONCLUSIONES

- En la mayoría de los estudios revisados, fue eficiente la reducción de dosis de MCY en conjunto del uso de tecnología DECT en un amplio rango, manteniendo o mejorando calidad de imagen, objetivando lo anterior por mediciones de SNR o CNR.
- La reducción de dosis de MCY se efectuó exitosamente con diferentes modalidades como ajuste de dosis por peso, disminución de dosis neta y compensación con volumen de suero fisiológico o una dosis más baja fija, dado que la tecnología dual lo permite.
- La no inferioridad de la calidad de imagen a baja dosis de MCY es posible gracias a los diferentes algoritmos de reconstrucción iterativa que permiten una importante reducción del ruido de la imagen y un aumento de la CNR.
- No es factible establecer protocolos únicos de reducción de dosis de MCY dada la variabilidad de los equipos y algoritmos, se recomienda su uso en casos especiales como pacientes con insuficiencia renal, pediátricos o exámenes con inyecciones múltiples de MCY.
- Un análisis más completo del impacto de la reducción de dosis MCY en equipos DECT requiere incorporar una evaluación de la calidad diagnóstica de las imágenes obtenidas.
- En cuanto a dosis de radiación, dados los cambios de protocolo, la experiencia es variable, sin embargo en la mayoría de los casos no se observa un aumento de ésta al compararla con la adquisición SECT o incluso puede verse disminuida.

BIBLIOGRAFÍA

1. Singh J, Daftary A. Iodinated Contrast Media and Their Adverse Reactions. Journal of Nuclear Medicine Technology [Internet]. 2008 May 15;36(2):69–74. Disponible en: <http://tech.snmjournals.org/lookup/doi/10.2967/jnmt.107.047621>
2. ACR, C. Manual On Contrast Media. American college of radiology. 2021 Disponible en: https://www.acr.org/-/media/ACR/files/clinical-resources/contrast_media.pdf
3. Aliaga Rojas, F., Parraguez Solís, J. Optimización del uso de medio de contraste en exámenes angiográficos de cerebro en tomografía computada de 128 canales. 2018. (Tesis Profesional). Universidad de Chile, Santiago, Chile.
4. Ozkok S, Ozkok A. Contrast-induced acute kidney injury: A review of practical points. World Journal of Nephrology. 2017;6(3):86.
5. Sahbaee P, Abadi E, Segars WP, Marin D, Nelson RC, Samei E. The Effect of Contrast Material on Radiation Dose at CT: Part II. A Systematic Evaluation across 58 Patient Models. Radiology. 2017 Jun;283(3):749–57.
6. Bae KT. Intravenous Contrast Medium Administration and Scan Timing at CT: Considerations and Approaches. Radiology. 2010 Jul;256(1):32–61.
7. Calzado A, Geleijns J. Tomografía computarizada. Evolución, principios técnicos y aplicaciones. Revista de Física Médica [Internet]. 2010;11(3):163-180.
8. Parakh A, Macri F, Sahani D. Dual-Energy Computed Tomography. Radiologic Clinics of North America. 2018 Jul;56(4):601–24.
9. Sartori P, Rizzo F, Taborda N, Anaya V, Caraballo A, Saleme C, et al. Medios de contraste en imágenes. Revista argentina de radiología [Internet]. 2013 Mar 1;77(1):49–62. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-99922013000100008&lng=es

10. Spampinato MV, Abid A, Matheus MG. Current Radiographic Iodinated Contrast Agents. *Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America* [Internet]. 2017 Nov;25(4):697–704. Disponible en: [https://www.mri.theclinics.com/article/S1064-9689\(17\)30066-1/pdf](https://www.mri.theclinics.com/article/S1064-9689(17)30066-1/pdf)
11. Pasternak JJ, Williamson EE. Clinical Pharmacology, Uses, and Adverse Reactions of Iodinated Contrast Agents: A Primer for the Non-radiologist. *Mayo Clinic Proceedings*. 2012 Apr;87(4):390–402.
12. Mazloumi M, Van Gompel G, Kersemans V, de Mey J, Buls N. The presence of contrast agent increases organ radiation dose in contrast-enhanced CT. *European Radiology*. 2021 Mar 30;
13. 1. Routhier J, Piazzo K, Sodickson A. Contrast and Cost Savings by Implementation of a Multidose Bulk IV Contrast Delivery System. *Journal of the American College of Radiology*. 2011 Apr;8(4):265–70.
14. Arana E, Martí-Bonmatí L, Tobarra E, Sierra C. Cost reduction in abdominal CT by weight-adjusted dose. *European Journal of Radiology*. 2009 Jun;70(3):507–11.
15. Lam S, Gupta R, Kelly H, Curtin H, Forghani R. Multiparametric Evaluation of Head and Neck Squamous Cell Carcinoma Using a Single-Source Dual-Energy CT with Fast kVp Switching: State of the Art. *Cancers*. 2015 Nov 6;7(4):2201–16.
16. Jansson A. Non-linear dual-energy method development and evaluation for industrial computed tomography. *Measurement Science and Technology*. 2019 May 3;30(6):065006.
17. Johnson TRC. Dual-Energy CT: General Principles. *American Journal of Roentgenology*. 2012 Nov;199(5_supplement):S3–8.
18. Forghani R, De Man B, Gupta R. Dual-Energy Computed Tomography. *Neuroimaging Clinics of North America*. 2017 Aug;27(3):371–84.

19. TwinBeam Dual Energy [Internet]. www.siemens-healthineers.com. [citado 2022 Jun 10]. Disponible en: <https://www.siemens-healthineers.com/en-us/computed-tomography/dual-energy/twin-beam-dual-energy#:~:text=TwinBeam%20Dual%20Energy%20%28TBDE%29%20allos%20simultaneous%20acquisition%20of>
20. D'Angelo T, Cicero G, Mazziotti S, Ascenti G, Albrecht MH, Martin SS, et al. Dual energy computed tomography virtual monoenergetic imaging: technique and clinical applications. The British Journal of Radiology. 2019 Apr 9;20180546.
21. Buades Forner M., González López A. et al. Métricas que definen la calidad de imagen. En ADI (ED.), Introducción al Control de Calidad en Radiología Digital [Internet]. Sociedad Española de Física Médica. 2013 Disponible en: <http://proteccionradiologica.cl/wp-content/uploads/2016/08/8-2013-Control-de-calidad-en-Radiologia-Digital.pdf>
22. CSN. Tema 4 El haz de radiación. Espectro de Rayos X [Internet]. 2019 Disponible en: https://csn.ciemat.es/MDCSN/recursos/ficheros_md/639339385_3010200912229.pdf
23. Academia Gaspar Romero. TEMA 27 La imagen radiológica digital [Internet]. Disponible en: <https://docplayer.es/96957248-Indice-tema-27-la-imagen-radiologica-digital-oposicion-tecnico-en-rayos-sas.html>
24. Boedeker KL, McNitt-Gray MF. Application of the noise power spectrum in modern diagnostic MDCT: part II. Noise power spectra and signal to noise. Physics in Medicine and Biology. 2007 Jun 8;52(14):4047–61.
25. Bushberg - The Essential Physics For Medical Imaging | PDF | Medical Imaging | Radiography [Internet]. Scribd. [citado 2022 Jun 10]. Disponible en:

<https://es.scribd.com/doc/70072705/Bushberg-The-Essential-Physics-for-Medical-Imaging>

26. Narasimhan PT, Jacobs RE. Neuroanatomical Micromagnetic Resonance Imaging. Brain Mapping: The Methods. 2002;399–426.
27. Alsleem HA, Almohiy HM. The Feasibility of Contrast-to-Noise Ratio on Measurements to Evaluate CT Image Quality in Terms of Low-Contrast Detailed Detectability. Medical Sciences. 2020 Jul 6;8(3):26.
28. Contrast to Noise Ratio: Definition and Importance [Internet]. Uni X-ray. 2022 [citado 2022 Jun 10]. Disponible en: <https://unixray.com/contrast-to-noise-ratio/>
29. Afadzi M, Lysvik EK, Andersen HK, Martinsen ACT. Ultra-low dose chest computed tomography: Effect of iterative reconstruction levels on image quality. European Journal of Radiology. 2019 May;114:62–8.
30. Euler A, Solomon J, Marin D, Nelson RC, Samei E. A Third-Generation Adaptive Statistical Iterative Reconstruction Technique: Phantom Study of Image Noise, Spatial Resolution, Lesion Detectability, and Dose Reduction Potential. American Journal of Roentgenology. 2018 Jun;210(6):1301–8.
31. Allende F, Lobos V, Zúñiga A. Corrección de índice de dosis en tomografía computarizada por parámetro de diámetro efectivo según reporte 204 de la Asociación Americana de Físicos Médicos. Rev. chil. radiol. [Internet]. 2016 Jun [citado 2022 Jun 10]; 22(2): 61-69.
32. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG; PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. PLoS Med 2009; 151:264-96.

33. Lennartz S, Große Hokamp N, Zäske C, Zopfs D, Bratke G, Glauner A, Maintz D, Persigehl T, Chang DH, Hickethier T. Virtual monoenergetic images preserve diagnostic assessability in contrast media reduced abdominal spectral detector CT. *Br J Radiol.* 2020 Sep 1;93(1113):20200340.
34. Kim J E, Kim H O, Bae K, Cho J M, Choi H C, et al. Advanced Virtual Monochromatic Images from Dual Source Dual-Energy CT for a Reduction in the Contrast Medium Dose (389 mgI/kg) in Multiphase Liver CT: Evaluation of Image Quality and Focal Lesion Conspicuity. *Iran J Radiol.* 2019;16(3):e83014.
35. Li W, Li A, Wang B, Niu X, Cao X, Wang X, Shi H. Automatic spectral imaging protocol and iterative reconstruction for radiation dose reduction in typical hepatic hemangioma computed tomography with reduced iodine load: a preliminary study. *Br J Radiol.* 2018 Jul;91(1087):20170978.
36. Nagayama Y, Nakaura T, Oda S, Utsunomiya D, Funama Y, Iyama Y, Taguchi N, Namimoto T, Yuki H, Kidoh M, Hirata K, Nakagawa M, Yamashita Y. Dual-layer DECT for multiphasic hepatic CT with 50 percent iodine load: a matched-pair comparison with a 120 kVp protocol. *Eur Radiol.* 2018 Apr;28(4):1719-1730.
37. Ma CL, Chen XX, Lei YX, Zhang XR, Jia YJ, Tian X, Tian Q. Clinical value of dual-energy spectral imaging with adaptive statistical iterative reconstruction for reducing contrast medium dose in CT portal venography: in comparison with standard 120-kVp imaging protocol. *Br J Radiol.* 2016 Jun;89(1062):20151022.
38. Han D, Chen X, Lei Y, Ma C, Zhou J, Xiao Y, Yu Y. Iodine load reduction in dual-energy spectral CT portal venography with low energy images combined with adaptive statistical iterative reconstruction. *Br J Radiol.* 2019 Aug;92(1100):20180414.

39. Shuman WP, Mileto A, Busey JM, Desai N, Koprowicz KM. Dual-Energy CT Urography With 50% Reduced Iodine Dose Versus Single-Energy CT Urography With Standard Iodine Dose. *AJR Am J Roentgenol.* 2019 Jan;212(1):117-123.
40. Meyer M, Haubenreisser H, Schabel C, Leidecker C, Schmidt B, Schoenberg SO, Henzler T. CT pulmonary angiography in patients with acute or chronic renal insufficiency: Evaluation of a low dose contrast material protocol. *Sci Rep.* 2018 Jan 31;8(1):1995.
41. Mourits MM, Nijhof WH, van Leuken MH, Jager GJ, Rutten MJ. Reducing contrast medium volume and tube voltage in CT angiography of the pulmonary artery. *Clin Radiol.* 2016 Jun;71(6):615.e7-615.e13.
42. Oda S, Takaoka H, Katahira K, Honda K, Nakaura T, Nagayama Y, Taguchi N, Kidoh M, Utsunomiya D, Funama Y, Noda K, Oshima S, Yamashita Y. Low contrast material dose coronary computed tomographic angiography using a dual-layer spectral detector system in patients at risk for contrast-induced nephropathy. *Br J Radiol.* 2019 Feb;92(1094):20180215.
43. Rotzinger DC, Si-Mohamed SA, Yerly J, Boccalini S, Becce F, Boussel L, Meuli RA, Qanadli SD, Douek PC. Reduced-iodine-dose dual-energy coronary CT angiography: qualitative and quantitative comparison between virtual monochromatic and polychromatic CT images. *Eur Radiol.* 2021 Sep;31(9):7132-7142.
44. Johansen CB, Martinsen ACT, Enden TR, Svanteson M. The potential of iodinated contrast reduction in dual-energy CT thoracic angiography; an evaluation of image quality. *Radiography (Lond).* 2022 Feb;28(1):2-7.

45. Liu Y, Liu A, Liu L, Tian S, Liu J, Pu R, Fang X, Liu X, Yuan G. Feasibility of spectral imaging with low-concentration contrast medium in abdominal CT angiography of obese patients. *Int J Clin Pract.* 2016 Sep;70 Suppl 9B:B37-43.
46. Gao Z, Meng D, Lu H, Yao B, Huang N, Ye Z. Utility of dual-energy spectral CT and low-iodine contrast medium in DIEP angiography. *Int J Clin Pract.* 2016 Sep;70 Suppl 9B:B64-71.
47. Agrawal MD, Oliveira GR, Kalva SP, Pinho DF, Arellano RS, Sahani DV. Prospective Comparison of Reduced-Iodine-Dose Virtual Monochromatic Imaging Dataset From Dual-Energy CT Angiography With Standard-Iodine-Dose Single-Energy CT Angiography for Abdominal Aortic Aneurysm. *AJR Am J Roentgenol.* 2016 Dec;207(6):W125-W132.
48. Patino M, Parakh A, Lo GC, Agrawal M, Kambadakone AR, Oliveira GR, Sahani DV. Virtual Monochromatic Dual-Energy Aortoiliac CT Angiography With Reduced Iodine Dose: A Prospective Randomized Study. *AJR Am J Roentgenol.* 2019 Feb;212(2):467-474.
49. Noda Y, Nakamura F, Yasuda N, Miyoshi T, Kawai N, Kawada H, Hyodo F, Matsuo M. Advantages and disadvantages of single-source dual-energy whole-body CT angiography with 50% reduced iodine dose at 40 keV reconstruction. *Br J Radiol.* 2021 May 1;94(1121):20201276.
50. Nagayama Y, Nakaura T, Oda S, Taguchi N, Utsunomiya D, Funama Y, Kidoh M, Namimoto T, Sakabe D, Hatemura M, Yamashita Y. Dual-layer detector CT of chest, abdomen, and pelvis with a one-third iodine dose: image quality, radiation dose, and optimal monoenergetic settings. *Clin Radiol.* 2018 Dec;73(12):1058.e21-1058.e29.

51. Hou P, Feng X, Liu J, Zhou Y, Jiang Y, Jiang X, Gao J. Iterative reconstruction in single-source dual-energy CT angiography: feasibility of low and ultra-low volume contrast medium protocols. *Br J Radiol*. 2017 Jul;90(1075):20160506.
52. Shuman WP, Chan KT, Busey JM, Mitsumori LM, Koprowicz KM. Dual-energy CT Aortography with 50% Reduced Iodine Dose Versus Single-energy CT Aortography with Standard Iodine Dose. *Acad Radiol*. 2016 May;23(5):611-8.
53. Shuman WP, O'Malley RB, Busey JM, Ramos MM, Koprowicz KM. Prospective comparison of dual-energy CT aortography using 70% reduced iodine dose versus single-energy CT aortography using standard iodine dose in the same patient. *Abdom Radiol (NY)*. 2017 Mar;42(3):759-765.
54. Yu T, Gao J, Liu ZM, Zhang QF, Liu Y, Jiang L, Peng Y. Contrast Dose and Radiation Dose Reduction in Abdominal Enhanced Computerized Tomography Scans with Single-phase Dual-energy Spectral Computerized Tomography Mode for Children with Solid Tumors. *Chin Med J (Engl)*. 2017 Apr 5;130(7):823-831.
55. Lee S, Choi YH, Cho YJ, Lee SB, Cheon JE, Kim WS, Ahn CK, Kim JH. Noise reduction approach in pediatric abdominal CT combining deep learning and dual-energy technique. *Eur Radiol*. 2021 Apr;31(4):2218-2226.
56. Willemink MJ, Noël PB. The evolution of image reconstruction for CT-from filtered back projection to artificial intelligence. *Eur Radiol*. 2019 May;29(5):2185-2195.

ANEXOS

Anexo 1: Tabla resumen de artículos incluidos en esta revisión.

N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
1	Advanced Virtual Monochromatic Images from Dual Source Dual-Energy CT for a Reduction in the Contrast Medium Dose (389 mgI/kg) in Multiphase Liver CT: Evaluation of Image Quality and Focal Lesion Conspicuity	WoS	2019	Iranian Journal of Radiology	Casos y Controles; Prospectivo	94 pacientes adultos con 110 lesiones hepáticas focales (FHL).	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 91%
	Objetivo del estudio	Investigar la viabilidad de imágenes virtuales monocromáticas (VMI) de la tomografía computada de doble fuente (DSCT) para reducir la dosis del medio de contraste en la TC hepática multifásica sin afectar la calidad de imagen y la visibilidad de las FHL.					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	Los 94 pacientes se sometieron a TC de seguimiento prospectivamente dos veces con diferentes protocolos: protocolo A, convencional 100 kVp y 555 mgI / kg; protocolo B, energía dual y 389 mgI / kg. Se compararon la relación señal ruido (SNR) y la relación contraste ruido (CNR) lesión-hígado entre los VMI (40 - 120 keV, intervalo de 10 keV).					
	Resultados	Las SNR de páncreas, aorta, vena porta y hepática fueron similares en las imágenes de 100 kVp con imágenes de 40-50 keV en la fase arterial tardía (LAP) y con imágenes de 40-60 keV durante la fase venosa portal (PVP). El CNR de 56 FHL hipovasculares fue significativamente mayor en imágenes de 40 - 50 keV y fue similar en imágenes de 60 keV durante LAP. El CNR de 58 FHL hipovasculares fue similar en imágenes de 40 - 120 keV en la PVP. Entre las VMI, las imágenes de 50 keV y 50 - 60 keV recibieron las puntuaciones más altas por parte de ambos revisores durante LAP y PVP.					
N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
2	Advantages and disadvantages of single-source dual-energy whole-body CT angiography with 50% reduced iodine dose at 40 keV reconstruction	Lilacs PubMed Scopus WoS	2021	British Journal of Radiology (BJR)	De cohorte; prospectivo	65 pacientes adultos	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 91%
	Objetivo del estudio	Evaluar la viabilidad de la angiografía por tomografía computada de energía dual (DECTA) de cuerpo entero a 40 keV con un protocolo de dosis de yodo reducida al 50%.					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	Se realizó angiografía por tomografía computada (CTA) de cuerpo entero en 65 pacientes; 31 de estos se sometieron a angiografía por tomografía computada de energía única (SECTA) de 120 kVp con dosis estándar de yodo (600 mgI / kg) y 34 con 40 keV DECTA con una dosis de yodo reducida al 50% (300 mgI / kg). Al grupo de tomografía computarizada de energía dual (DECT) se realiza reconstrucción al 40% y 80%.					
	Resultados	Los números TC vasculares y el ruido de fondo eran más altos en los grupos DECTA que en el grupo SECTA. SNR fue mayor en el orden correspondiente a DECTA-80%, SECTA y DECTA-40%. La representación arterial fue comparable en casi todas las arterias, a excepción de intrapélvicas (peor en DECTA).					

Nº	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
3	Automatic spectral imaging protocol and iterative reconstruction for radiation dose reduction in typical hepatic hemangioma computed tomography with reduced iodine load: A preliminary study	Lilacs PubMed Scopus WoS	2018	British Journal of Radiology (BJR)	De cohorte; prospectivo	62 pacientes adultos con sospecha de Hemangioma Hepático (HH)	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 100%
	Objetivo del estudio	Evaluar el efecto de la selección automática del protocolo de imágenes espectrales (ASIS) y la técnica de reconstrucción iterativa estadística adaptativa (ASiR) en la reducción de la dosis de radiación y medio de contraste en la TC espectral de energía dual (DEsCT) típica del hemangioma hepático (HH).					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	Los pacientes fueron divididos aleatoriamente en dos grupos con igualdad de participantes: Grupo A, TC convencional de 120 kVp con carga estándar de yodo; Grupo B, DEsCT con técnica ASIS y carga de yodo reducida. Se reconstruyeron dos conjuntos de imágenes espectrales monocromáticas: nivel de 69 keV con 30% ASiR (Grupo B1) y nivel de 52 keV con 50% ASiR (Grupo B2). Se evaluaron la radiación y la dosis total de yodo, el análisis cuantitativo y cualitativo.					
	Resultados	No se observaron diferencias en los valores de desviación estándar, el ruido subjetivo de la imagen y la puntuación de aceptabilidad diagnóstica entre los tres grupos. La puntuación de visibilidad de la lesión para el Grupo B2 fueron superiores a los del Grupo A y B1. En comparación con el Grupo A, la dosis de radiación y la dosis total de yodo en el Grupo B se redujeron en un 30 y un 41 %, respectivamente.					
Nº	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
4	Clinical value of dual-energy spectral imaging with adaptive statistical iterative reconstruction for reducing contrast medium dose in CT portal venography: in comparison with standard 120-kVp imaging protocol	PubMed Scopus WoS	2016	British Journal of Radiology (BJR)	De cohorte; prospectivo	50 pacientes adultos	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 100%
	Objetivo del estudio	Evaluar el valor clínico de la TC espectral de energía dual con ASiR para reducir la dosis de medio de contraste en la venografía portal por TC (CTPV).					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	Los pacientes son sometidos a TC abdominal, fueron aleatorizados en 2 grupos de 25 integrantes: Grupo A , utilizando TC espectral y protocolo de inyección de contraste de 350 mgI / kg; Grupo B, utilizando contraste estándar de 120 kVp y 500 mgI / kg. Las imágenes espectrales de TC a 60 keV y las imágenes estándar de 120 kVp se reconstruyeron con 50 % de ASiR. Se miden UH y CNR. Se utiliza proyección de máxima intensidad (MIP) y volume-rendering (VR) para evaluación subjetiva.					
	Resultados	Los valores de CNR para la vena porta intra y extrahepática de las imágenes espectrales de 60 keV fueron más altos que los de las imágenes de 120 kVp. La vena porta y sus ramas izquierda y derecha en las imágenes espectrales de 60 keV tenían un número de TC más alto y una desviación estándar más baja que las imágenes de 120 kVp. El grupo de TC espectral requirió un 25 % menos de dosis de yodo sin aumento de dosis de radiación.					

N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
5	Contrast Dose and Radiation Dose Reduction in Abdominal Enhanced Computerized Tomography Scans with Single-phase Dual-energy Spectral Computerized Tomography Mode for Children with Solid Tumors	PubMed Scopus WoS	2017	Chinese Medical Journal	Casos y controles; retrospectivo	45 pacientes pediátricos con tumor sólido	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 82%
	Objetivo del estudio	Evaluar la viabilidad sobre el uso de imágenes espectrales de energía dual y ASiR para la reducción de dosis de radiación y dosis de contraste de yodo en pacientes pediátricos con TC de abdomen con tumores sólidos.					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	Los pacientes se sometieron a una TC inicial (Grupo B) y una TC de seguimiento (Grupo A) después de la quimioterapia. La TC de diagnóstico se realizó usando tomografía computarizada de dos fases estándar con una concentración de contraste de 320 mgI / mL, y la exploración de seguimiento se realizó usando una tomografía computarizada mejorada monofásica a los 45s después de la inyección de contraste, con concentración de 270 mgI / mL utilizando el modo espectral. Se usó un cuarenta por ciento de ASiR. Se compararon la dosis de radiación, la carga total de yodo, imágenes entre ambos grupos, entre otros factores.					
	Resultados	La dosis total de radiación, la carga total de yodo, la velocidad de inyección y la presión máxima de inyección para el Grupo A se redujeron. El nivel de energía óptimo en la TC espectral para visualizar los vasos abdominales fue de 40 keV. Los órganos abdominales de los Grupos A y B tuvieron grados similares de realce absoluto y relativo y la SNR de dichos órganos fue menor en el Grupo A. La evaluación subjetiva de las imágenes de 40 y 60 keV fueron clínicamente aceptables.					
N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
6	CT pulmonary angiography in patients with acute or chronic renal insufficiency: Evaluation of a low dose contrast material protocol	PubMed Scopus WoS	2018	Scientific Reports	De cohorte; prospectivo	150 pacientes adultos con sospecha de TEP. 50 poseen insuficiencia renal.	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 100%
	Objetivo del estudio	Investigar si la angiografía por TC pulmonar (CTPA) de doble energía (DE) en combinación con un algoritmo de imagen monoenergético virtual optimizado para el ruido permite una reducción del medio de contraste (MC).					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	Los 50 pacientes con insuficiencia renal aguda/crónica fueron examinados en un TC de doble fuente con un protocolo DE-CTPA optimizado y un protocolo de inyección de MC bajo. Otros 100 pacientes fueron examinados con un protocolo CTPA estándar (n = 50) o un DE-CTPA estándar (n = 50)					
	Resultados	Las arterias pulmonares principales (a 50 keV) y las periféricas (a 40 keV) proporcionaron la CNR más alta en ambos DE-CTPA (siendo más alto el grupo estándar). La DE-CTPA que utiliza reconstrucción de imágenes a 40/50 keV permitió una reducción del 84 % en la carga de yodo mientras se mantenía la CNR, que es especialmente importante en pacientes con insuficiencia renal crónica. Ninguno de los 150 pacientes sufrió de NIC.					

N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
7	Dual-energy CT Aortography with 50% Reduced Iodine Dose Versus Single-energy CT Aortography with Standard Iodine Dose	Lilacs PubMed Scopus WoS	2016	Academic Radiology	De cohorte; prospectivo	54 pacientes adultos (34 poseen una aortografía a SECT previa con dosis estándar de yodo)	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 100%
	Objetivo del estudio	Investigar la aortografía por DECT con una dosis de yodo reducida al 50% en comparación con la aortografía por SECT con dosis estándar de yodo.					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	Los 54 pacientes se sometieron a una aortografía DECT con una dosis de yodo reducida en un 50%. Las imágenes DECT se reconstruyeron a 50 y 77 keV y se compararon con las imágenes SECT de 120 kVp. Los revisores midieron la atenuación aórtica, el ruido de la imagen y calificaron la mejora vascular. Se calcularon SNR y CNR.					
	Resultados	La dosis media de yodo fue de 47 g para SECT y de 24 g para DECT. La atenuación aórtica fue mayor en el DECT de 50 keV en comparación con 77 keV o con dosis estándar de yodo SECT de 120 kVp. El ruido de la imagen fue mayor a 50 keV y similar entre 77 keV y 120 keV. SNR y CNR fueron los mismos a 50 keV y 120 kVp. Las puntuaciones medias de realce vascular estuvieron todas por encima de 3,0 (mejora buena y típica).					
N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
8	Dual-Energy CT urography with 50% reduced iodine dose versus single-energy CT urography with standard iodine dose	Lilacs PubMed Scopus WoS	2019	American Journal of Roentgenology	Casos y controles; prospectivo	62 pacientes adultos	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 100%
	Objetivo del estudio	Comparar la urografía por DECT con una dosis reducida de yodo en un 50% con la urografía por SECT con una dosis estándar de yodo, respecto a la atenuación de las estructuras renales vasculares y del tracto urinario y respecto a la calidad de la imagen.					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	31 pacientes se sometieron a urografía DECT con una dosis de yodo reducida al 50% (22 g) y reconstrucción a 50 y 77 keV. Fueron emparejados con un grupo de 31 pacientes que se sometieron a una urografía SECT de 120 kVp con una dosis estándar de yodo (44 g). La atenuación se midió en siete ubicaciones de las arterias renales, las venas renales y el tracto urinario. Dos revisores calificaron subjetivamente los parámetros de calidad de la imagen, el ruido de la imagen, la nitidez de los contornos del tracto urinario, el realce de las estructuras urinarias y los artefactos de rayas.					
	Resultados	La atenuación media de DECT a 50 keV fue igual o mayor que la atenuación de SECT en cada una de las siete ubicaciones. El ruido de imagen fue más alto con 50-keV DECT, pero fue el mismo para 77keV DECT y 120-kVp SECT.					

N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
9	Dual-layer DECT for multiphasic hepatic CT with 50 percent iodine load: a matched-pair comparison with a 120 kVp protocol.	Lilacs PubMed Scopus WoS	2018	European Radiology	Casos y controles; retrospectivo	90 pacientes adultos. 45 poseen disfunción renal.	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 91%
	Objetivo del estudio	Evaluar la calidad de imagen y la visibilidad de la lesión de la VMI con DECT de doble capa (DL-DECT) para la TC multifásica-hepática de carga reducida de yodo.					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	45 adultos con disfunción renal que se habían sometido a DL-DECT hepático con 300 mgI/kg. Se generó VMI (40–70-keV, DL-DECT-VMI) en cada fase de mejora. Como controles, se incluyeron 45 pacientes emparejados sometidos al protocolo estándar de 120 kVp (120 kVp, 600 mgI/kg y reconstrucción iterativa). Se comparó la estimación de la dosis específica del tamaño (SSDE), el ruido, la atenuación y la CNR. Dos radiólogos calificaron la calidad de la imagen y la visibilidad de la lesión.					
	Resultados	La SSDE fue menor en el grupo DL-DECT. El ruido de DL-DECT-VMI fue casi constante en cada keV y equivalente o inferior a 120-kVp. A medida que la energía disminuyó, la atenuación de la TC y la CNR aumentaron gradualmente; los valores de las imágenes de 55-60 keV fueron casi equivalentes a los de las imágenes estándar de 120 kVp. Las puntuaciones más altas para la calidad y la visibilidad de la lesión se asignaron a 40-keV seguido de 45 a 55-keV, todos los cuales fueron similares o mejores que de 120-kVp.					
N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
10	Dual-layer detector CT of chest, abdomen, and pelvis with a one-third iodine dose: image quality, radiation dose, and optimal monoenergetic settings	Lilacs PubMed Scopus WoS	2018	Clinical Radiology	Casos y controles; retrospectivo	80 pacientes adultos. 40 poseen disfunción renal.	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 91%
	Objetivo del estudio	Comparar la calidad de imagen y la dosis de radiación de la TC con detector de doble capa (DLCT) de dosis reducida de yodo con las de un protocolo convencional de 120 kVp para la TC de tórax-abdomen-pelvis (CAP-CT).					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	40 pacientes con disfunción renal se sometieron a CAP-CT con una dosis reducida de yodo (120 kVp, 200 mg de yodo/kg) en DLCT. Las VMI a 40-70 keV (intervalo de 5 keV) se reconstruyeron retrospectivamente. Se emparejaron con un grupo de 40 pacientes que se sometieron a CAP-CT convencional (120 kVp, 600 mg de yodo/kg, reconstrucción iterativa). La estimación de la SSDE, el ruido, la atenuación y la CNR se compararon entre protocolos. Dos radiólogos calificaron el contraste, el ruido, el artefacto de rayas y la confianza diagnóstica.					
	Resultados	El SSDE del grupo DLCT fue aproximadamente un 20% inferior al del grupo de 120 kVp. DLCT-VMI proporcionó un ruido casi constante en todo el rango de energías, siendo equivalente o inferior al de 120 kVp en el abdomen. La atenuación y la CNR aumentaron a medida que la energía disminuyó, con valores comparables a 120 kVp que se alcanzaron alrededor de 45-50 keV. Se acentuó el artefacto de raya a 40-50 keV. Las puntuaciones más altas para la confianza diagnóstica se asignaron a 40 y 45 keV, ambos equivalentes a 120 kVp.					

N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
11	Feasibility of spectral imaging with low-concentration contrast medium in abdominal CT angiography of obese patients	PubMed Scopus WoS	2016	International Journal of Clinical Practice	De cohorte; prospectivo	127 pacientes adultos con IMC>25kg / m ²	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 100%
	Objetivo del estudio	Explorar el valor de aplicación de la exploración por imágenes espectrales de doble energía con dosis de radiación baja y medio de contraste de baja concentración (270 mg I/mL) en la CTA abdominal de pacientes obesos.					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	Los pacientes se dividieron en dos grupos; Grupo A (n = 69), se utilizó un exploración por imágenes espectrales y un MC de concentración de yodo de 270 mg I/mL, y grupo B (n = 58), se utilizó exploración por imágenes convencionales (120 kVp) utilizando un MC de concentración de yodo de 350 mg I/mL. La calidad de la imagen fue evaluada por dos observadores. Se compararon entre los dos grupos: los valores de TC de la aorta abdominal y sus ramas principales; la CNR y la figura de mérito (FOM) de la aorta abdominal; el índice de dosis (CTDIvol); producto dosis-largo (DLP); y la ingesta total de yodo.					
	Resultados	Las puntuaciones de imagen de la arteria renal derecha en ambos grupos fueron las mismas. No hubo diferencias estadísticamente significativas en las UH de aorta abdominal y el resto de sus ramas entre ambos grupos. El grupo A tuvo valores más altos de CNR y FOM en la aorta abdominal.. El CTDIvol y los valores de DLP en el grupo A disminuyeron en un 46% y un 35%, respectivamente. La ingesta total de yodo para los pacientes del grupo A fue de 27 g, un 23% inferior a la ingesta de 35 g para los pacientes del grupo B.					
N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
12	Iodine load reduction in dual-energy spectral CT portal venography with low energy images combined with adaptive statistical iterative reconstruction	Lilacs PubMed Scopus WoS	2019	British Journal of Radiology (BJR)	De cohorte; prospectivo	41 pacientes adultos	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 100%
	Objetivo del estudio	Estudiar la aplicación del uso de imágenes de baja energía combinadas con la ASiR en la venografía portal de TC espectral de doble energía para reducir la carga de yodo.					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	El grupo A (n = 21) utilizó el protocolo de exploración convencional de 120 kVp con dosis de contraste a 0,6gl / kg, mientras que el grupo B (n = 20) utilizó imágenes espectrales de doble energía con dosis de contraste reducida a 0,3gl / kg. Las imágenes de 120 kVp en el Grupo A y las imágenes de 50 keV en el Grupo B se reconstruyeron con un 40% de ASiR. Se calculó la CNR de la vena porta. La calidad de la imagen y el número de ramas de la vena porta intrahepática fueron evaluados por dos radiólogos experimentados.					
	Resultados	El Grupo B redujo la carga de yodo en un 52% en comparación con el Grupo A. Todas las imágenes en ambos grupos fueron aceptables para el diagnóstico. Los valores de TC y las desviaciones estándar en las venas porta del Grupo B fueron superiores. No hubo diferencias estadísticas en la CNR, la puntuación de calidad de imagen y el número de ramas de vena porta observadas entre los dos grupos.					

N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
13	Iterative reconstruction in single-source dual-energy CT angiography: Feasibility of low and ultra-low volume contrast medium protocols	Lilacs PubMed Scopus WoS	2017	British Journal of Radiology (BJR)	De cohorte; prospectivo	120 pacientes adultos con disección aórtica conocida o sospechada	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 91%
	Objetivo del estudio	Evaluar la viabilidad del uso de MC de volúmenes bajos y ultrabajos y tasas de inyección en la CTA aórtica mediante la aplicación conjunta de TC de energía dual de fuente única (ssDECT) y ASiR.					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	Se sometieron a CTA aórtica 120 pacientes y se dividieron por igual en 3 grupos. En el grupo A se realizó una exploración convencional de 120 kVp con un volumen de MC de 70 mL y una tasa de inyección de 5 mL / s . Los grupos B y C se sometieron a una exploración ssDECT con volúmenes de MC de 0,6 y 0,4 mL / kg, respectivamente. Se aplicaron algoritmos 40% y 50% ASiR para los Grupos B y C, respectivamente. Se evaluó subjetivamente la imagen y se midió la dosis de radiación, además de medir números de TC y CNR.					
	Resultados	Los grupos B y C tenían puntuaciones subjetivas y valores de CT equivalentes a los del grupo A, mientras que tenían CNRs más altas o equivalentes. El grupo B tuvo reducciones del 40,1 % y 30 % en el volumen de CM y la tasa de inyección, respectivamente, que el grupo A. El grupo C resultó además en un 19,2 % y un 22 % menos de volumen de CM y tasa de inyección que el grupo B. Las dosis efectivas en los grupos de estudio fueron más bajas que en el grupo control.					
N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
14	Low contrast material dose coronary computed tomographic angiography using a dual-layer spectral detector system in patients at risk for contrast-induced nephropathy	Lilacs PubMed Scopus WoS	2018	British Journal of Radiology (BJR)	Casos y controles; retrospectivo	60 pacientes adultos. 30 poseen insuficiencia renal	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 91%
	Objetivo del estudio	Evaluar los efectos de la proyección de VMI utilizando detector espectral de doble capa TC en la calidad de imagen de la angiografía coronaria TC (CCTA) adquirida mediante el uso de una dosis de MC baja.					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	Se utilizó un protocolo VMI 50keV con una dosis de MC al 50% (140 mg/ kg) para escanear 30 pacientes con insuficiencia renal y uno de 120 kVp con la dosis estándar de CM (280 mg/ kg) para escanear 30 controles sin insuficiencia renal. Se miden parámetros cuantitativos, tales como: atenuación, ruido y CNR. Se puntuaron los factores de calidad de la imagen visual de la mejora del contraste, el ruido de la imagen, el artefacto de endurecimiento del haz, la nitidez de los vasos y la calidad general de la imagen.					
	Resultados	La atenuación media de números TC de la aorta ascendente fue mayor para VMI de 50 keV que para 120 kVp. El ruido de la imagen fue menor bajo el VMI de 50 keV. El CNR y la puntuación visual media para la mejora del contraste fueron más altos para el VMI de 50 keV. No hubo diferencias significativas en los otros parámetros de calidad de imagen visual entre los dos protocolos.					

N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
15	Noise reduction approach in pediatric abdominal CT combining deep learning and dual-energy technique	Lilacs Pubmed Scopus WoS	2021	European Radiology	Casos y controles; retrospectivo	29 pacientes pediátricos	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 91%
	Objetivo del estudio	Evaluar la calidad de imagen de DECT con baja concentración de yodo combinada con una técnica de reducción de ruido basada en el aprendizaje profundo para la TC abdominal pediátrica, en comparación con SECT con concentración de yodo estándar.					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	Desde diciembre de 2016 hasta mayo de 2017, se realizó DECT con medio de contraste de 300 mgI / mL en 29 pacientes pediátricos. Las imágenes DECT se reconstruyeron utilizando VMI optimizada para el ruido con y sin un método de aprendizaje profundo. Las imágenes SECT con medio de contraste de 350 mgI / mL, realizadas en los últimos 3 meses antes de la DECT, sirvieron como imágenes de referencia. Se compararon los parámetros cuantitativos y cualitativos.					
	Resultados	La VMI de 60 keV mostró un aumento en la atenuación y mayor ruido que el SECT. Las imágenes combinadas de VMI de 60 keV más aprendizaje profundo mostraron poco ruido, sin diferencias en las proporciones de CNR y calidad de imagen general o diagnóstico, pero mostraron una mayor proporción de SNR en el hígado y un menor realce de lesiones que SECT. La administración total de yodo en DECT fue un 14,3 % más baja que los de SECT. La imagen general y la calidad diagnóstica de las lesiones se mantuvieron en el enfoque combinado de reducción de ruido. El CTDIvol y la dosis total de yodo en DECT fueron más bajas que SECT.					
N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
16	Prospective comparison of dual-energy CT aortography using 70% reduced iodine dose versus single-energy CT aortography using standard iodine dose in the same patient	Lilacs PubMed Scopus WoS	2017	Abdominal Radiology	De cohorte; prospectivo	21 pacientes adultos	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 100%
	Objetivo del estudio	Comparar la aortografía por DECT con una dosis de yodo reducida en un 70 % con la aortografía por SECT con una dosis estándar de yodo en el mismo paciente.					
	Resultados	La dosis media de yodo fue de 50 g para SECT y de 15 g para DECT. La atenuación aórtica media fue similar para la sección 120 kVp y DECT 50 keV, pero fue menor a 77 keV. El ruido de imagen medido fue mayor a 50 keV y menor a 77 keV. No hubo diferencia en SNR o CNR entre 120 kVp y 50 keV. Las puntuaciones medias de realce vascular subjetivo para SECT estuvieron entre buenas y excelentes, y para DECT a 50 keV entre moderadas y buenas.					

N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
17	Prospective comparison of reduced-iodine-dose virtual monochromatic imaging dataset from dual-energy CT angiography with standard-iodine-dose single-energy CT angiography for abdominal aortic aneurysm	Lilacs Pubmed Scopus WoS	2016	American Journal of Roentgenology	De cohorte; prospectivo	66 pacientes con aneurisma aórtico abdominal (AAA)	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 100%
	Objetivo del estudio	Comparar la calidad de imagen de la DECTA de fuente única con dosis reducida de yodo con la de la CTA convencional con dosis estándar de yodo en exámenes de pacientes con AAA y evaluar el efecto de la concentración de MC yodado (MCY) sobre el realce intravascular y la calidad de imagen de la CTA con dosis reducida de yodo.					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	66 pacientes registrados con AAA que habían sido sometidos previamente a una CTA de energía única con 30-37 gl de MC, se sometieron a una CTA de seguimiento a una dosis reducida (21-27 gl) de MCY de 270 mgI / mL (n = 33) o 320 mgI / mL (n = 33). Dos lectores evaluaron conjuntos de datos de VMI (40-140 keV) e imágenes CTA de energía única para la calidad de imagen y el ruido y su preferencia por un conjunto de datos de VMI de energía óptima.					
	Resultados	Todos los exámenes de DECTA se clasificaron como diagnósticos. Las VMI de baja energía (40-60 keV) de la CTA de energía dual con dosis reducida de yodo (28 %) tuvieron una atenuación aórtica intravascular y CNR mayor que las imágenes de CTA de energía única con dosis estándar de yodo. No se encontraron diferencias significativas con respecto a la atenuación aórtica intravascular o CNR entre los grupos que se realizaron DECTA.					
N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
18	Reduced-iodine-dose dual-energy coronary CT angiography: qualitative and quantitative comparison between virtual monochromatic and polychromatic CT images	Lilacs PubMed Scopus WoS	2021	European Radiology	Casos y controles; retrospectivo	203 pacientes adultos	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 100%
	Objetivo del estudio	Evaluar cuantitativamente el impacto de las VMI en la angiografía por CCTA de energía dual con dosis reducida de yodo en términos de segmentación del lumen coronario in vitro y, en segundo lugar, evaluar la calidad de la imagen in vivo, en comparación con TC convencional obtenida con dosis regular de yodo.					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	Se utilizó un fantoma que simulaba una inyección de yodo normal y reducida para determinar la exactitud y precisión de la segmentación del área del lumen para varios niveles de energía de VMI. Incluimos retrospectivamente a 203 pacientes desde diciembre de 2017 hasta agosto de 2018 que se sometieron a CCTA con dosis estándar (grupo A, n = 103) o reducidas (grupo B, n = 100) de yodo. Las imágenes del grupo A se compararon cualitativa y cuantitativamente con VMI de 55 keV del grupo B.					
	Resultados	In vitro, la VMI superó a la TC convencional, con una precisión de segmentación de 0,998 frente a 1,684 mm ² , respectivamente, y una precisión de 0,982 frente a 1,229 mm ² , respectivamente, en sujetos adultos con sobrepeso simulados. In vivo, la tasa de CCTA diagnóstica en los grupos A y B fue del 88,4 % (n = 91/103) frente al 89 % (n = 89/100), respectivamente, y se infirió la no inferioridad del protocolo B. Las proporciones CNR del lumen versus la grasa y el músculo fueron más altas en el grupo B y comparables para el lumen versus el calcio.					

N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
19	Reducing contrast medium volume and tube voltage in CT angiography of the pulmonary artery	Lilacs Pubmed Scopus	2016	Clinical Radiology	De cohorte; prospectivo	33 pacientes adultos con sospecha clínica de TEP	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 100%
	Objetivo del estudio	Evaluar la calidad de la imagen después de la reducción del voltaje del tubo y del MC en la CTA de arteria pulmonar.					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	33 pacientes fueron remitidos para CTA de arteria pulmonar por sospecha de TEP. Los pacientes fueron asignados aleatoriamente al Protocolo I (100 mL de 350 mgI / mL de MCY; n = 16) o Protocolo II (50 mL de 350 mgI / mL de MCY; n = 17). En todos los pacientes se realizó DECT (80 kV y 140 kV). Se reconstruyó una serie equivalente a imágenes de 120 kV. Se calcularon SNR y CNR. Dos radiólogos evaluaron cualitativamente el realce vascular. Valores medios de atenuación, ruido de imagen, CNR, y SNR de imágenes con 50 mL de MC e imágenes con 100 mL de MC se compararon y se compararon los valores medios de atenuación, ruido de imagen, CNR y SNR en imágenes de 80 kV e imágenes de 120 kV.					
	Resultados	Los valores medios de atenuación en el Protocolo I y el Protocolo II no fueron significativamente diferentes a 80 kV y 120 kV. El valor medio de atenuación a 80 kV fue mayor que el valor medio de atenuación a 120 kV en los Protocolos I y II. La CNR y SNR fueron mayores a 120 kV que a 80 kV en ambos protocolos; sin embargo, no hubo diferencias significativas en la CNR y SNR entre ambos protocolos. El análisis cualitativo no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los Protocolos I y II.					
N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
20	The potential of iodinated contrast reduction in dual-energy CT thoracic angiography; an evaluation of image quality	WoS	2022	Radiography	Casos y controles; retrospectivo	14 pacientes adultos	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 100%
	Objetivo del estudio	Comparar un protocolo de TC de energía dual (DECT) con una reducción del 50% del contraste yodado con un protocolo de TC de energía única (SECT) utilizando una dosis de contraste estándar en imágenes de la aorta torácica.					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	Se comparó DECT con una reducción del 50% en el MCY con SECT. Para el DECT, las imágenes monoenergéticas a 50, 55, 60, 65, 68, 70 y 74 keV se reconstruyeron con ASiR del 50% y 80%. Los parámetros objetivos de calidad de imagen incluyeron atenuación intravascular (números TC), ruido de imagen, CNR y SNR. Dos radiólogos evaluaron subjetivamente la calidad de la imagen para las reconstrucciones DECT de 55 y 68 keV y SECT.					
	Resultados	En 14 pacientes, la atenuación intravascular a 50-55 keV fue comparable a la SECT. Las CNR fueron significativamente más bajas para DECT con ASiR 50% en comparación con SECT para todos los valores de keV. Para ASiR 80%, la CNR fue comparable a SECT a energías inferiores a 60 keV. La calidad subjetiva de la imagen fue comparable entre DECT y SECT independientemente del nivel de keV.					

N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
21	Utility of dual-energy spectral CT and low-iodine contrast medium in DIEP angiography	Lilacs PubMed Scopus WoS	2016	International Journal of Clinical Practice	De cohorte; prospectivo	40 pacientes programadas a reconstrucción mamaria autóloga	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 82%
	Objetivo del estudio	Evaluar la utilidad de la tomografía computarizada (TC) espectral de energía dual y la ingesta baja en yodo en la CTA de los colgajos de perforantes epigástricos inferiores profundos (DIEP).					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	40 pacientes se sometieron a CTA para la reconstrucción mamaria y se asignaron aleatoriamente en dos grupos. El grupo A (n = 20) se sometió a DECT e iodixanol (270 mgI / mL) y el Grupo B (n = 2) se sometió al MC convencional de alto contenido de yodo iohexol (350 mgI / mL). Las mejores VMI del Grupo A se seleccionaron de acuerdo con la relación óptima de CNR. En ambos grupos se reconstruyeron imágenes MIP y VR de arteria perforante.					
	Resultados	La mejor energía de VMI con la CNR óptima de la arteria perforante fue de 63 keV. La atenuación de la arteria femoral común en el grupo A fue un 7,4 % mayor que en el grupo B, sin significación estadística. El CNR de la arteria femoral común en el grupo A fue un 6,88 % inferior al del grupo B, sin diferencia significativa. Las cualidades subjetivas de la imagen en ambos grupos fueron buenas para el diagnóstico. La dosis de radiación efectiva en el Grupo A fue de 10,62 % menor que en el Grupo B. La ingesta total de yodo en el Grupo A fue 22,86 % menor que en el Grupo B.					
N°	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
22	Virtual monochromatic dual-energy aortoiliac CT angiography with reduced iodine dose: A prospective randomized study	Lilacs PubMed Scopus WoS	2019	American Journal of Roentgenology	De cohorte; prospectivo	52 pacientes adultos con aneurisma aortoiliaco abdominal	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 100%
	Objetivo del estudio	Evaluar la viabilidad de realizar una CTA aortoiliaca abdominopélvica con 16 g de MCY adquirido con VMI de baja energía (40 y 50 keV) con DECT con conmutación rápida de kilovoltaje.					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	Un total de 52 adultos con aneurisma aortoiliaco abdominal y SECTA de 120 kVp con 33 g de yodo (dosis estándar) se sometieron a DECTA de seguimiento con una dosis de yodo reducida en un 52 %. Los sujetos fueron asignados al azar a un protocolo de MC para exámenes DECTA: un grupo (n = 26) recibió 16,2 g (270 mgI / mL) y el otro (n = 26) recibió 16,0 g (320 mgI / mL). Dos lectores evaluaron los conjuntos de datos SECTA y VMI DECTA para determinar la calidad de la imagen. Se midió la atenuación intravascular aortoiliaca. Se comparó CTDIvol, DLP y SSDE entre DECTA y SECTA.					
	Resultados	Todos los exámenes DECTA se clasificaron como diagnósticos con puntuaciones de calidad de imagen comparables a las de la CTA de energía única de 120 kVp. La atenuación intravascular fue uniforme en todos los exámenes DECTA con yodo reducido y fue mayor en las imágenes de 40 y 50 keV que en las imágenes SECTA con dosis estándar de yodo. No hubo diferencia en la atenuación intravascular entre las dosis de 16,2 g y 16,0 g. El DLP total fue menor para DECTA que para SECTA.					

Nº	Artículo	Base de datos	Año de publicación	Revista	Tipo de estudio	Muestra	Calidad metodológica del artículo
23	Virtual monoenergetic images preserve diagnostic assessability in contrast media reduced abdominal spectral detector CT	WoS	2020	British Journal of Radiology	Casos y controles; retrospectivo	78 pacientes adultos	El estudio cumple con más del 50% de los criterios mínimos establecidos: 100%
	Objetivo del estudio	Investigar si las VMI de 40 keV de la TC abdominal de detector espectral (SDCT) con aplicación reducida de medio de contraste intravenoso (RMC) proporcionan una evaluación abdominal similar a las imágenes convencionales con la dosis estándar de medios de contraste (SMC).					
	Descripción breve de la intervención o actividad asociada a la investigación	Se incluyeron 78 pacientes con SDCT abdominal: 41 pacientes con riesgo de reacciones adversas que recibieron 44 exámenes RMC con 50 mL y 37 pacientes que se sometieron a 44 exámenes SMC con 100 mL de MC y que fueron emparejados por diámetros corporales efectivos. Se reconstruyeron imágenes RMC, SMC y RMC-VMI 40 keV. Se evaluó la atenuación y la SNR del hígado, el páncreas, los riñones, los ganglios linfáticos, el músculo psoas, la aorta y la vena porta. Se calcularon las CNR de los ganglios linfáticos frente a la aorta / vena porta. Dos lectores evaluaron el contraste órgano / vaso, la delimitación de los ganglios linfáticos, el ruido y la evaluación general de la imagen.					
	Resultados	Las imágenes RMC fueron inferiores a las imágenes SMC en todos los criterios cuantitativos / cualitativos. Las imágenes RMC-VMI 40 keV y SMC mostraron una atenuación similar de los ganglios linfáticos y los músculos, mientras que para todas las demás regiones de interés (ROI), RMC-VMI 40 keV mostró una atenuación más alta. SNR fue comparable entre imágenes RMC-VMI 40 keV y SMC. La CNR de los ganglios linfáticos fue más alta en RMC-VMI 40 keV. RMC-VMI 40 keV recibió puntuaciones equivalentes o más altas que SMC en todos los criterios, excepto en contraste de órganos, capacidad de evaluación general y ruido de imagen, donde SMC fue superior. Sin embargo, RMC-VMI 40 keV recibió puntuaciones adecuadas o excelentes en el 88,6/94,2/95,4% de los casos de referencia.					

AAA: Aneurisma de aorta abdominal; **ASiR:** Reconstrucción iterativa estadística adaptativa; **ASIS:** Selección automática del protocolo de imágenes espectrales; **CCTA:** Angiografía coronaria tomografía computada; **CNR:** Relación contraste - ruido; **CTA:** Angiografía por tomografía computada; **CTDIvol:** Índice de dosis volumétrico; **CTPA:** Angiografía pulmonar por tomografía computada; **CTPV:** Venografía portal por tomografía computada; **DECTA:** Angiografía por tomografía computada de energía dual; **DLP:** Producto dosis - largo; **DSCT:** Tomografía computada de doble fuente; **FHL:** Lesión hepática focal; **HH:** Hemangioma hepático; **MC:** medio de contraste; **MCY:** Medio de contraste yodado; **MIP:** Proyección de máxima intensidad; **SECTA:** Tomografía computada de energía única; **SNR:** Relación señal - ruido; **SSDE:** Estimación de la dosis específica del tamaño; **TC:** Tomografía computada; **VMI:** Imágenes virtuales monocromáticas; **VR:** volume - rendering.

Anexo 2: Carta de Autorización.

Santiago, 08 de julio 2022

Prof. Hernán Torres R.
PEC Curso Trabajo de Investigación
Escuela de Tecnología Médica
Facultad de Medicina
Universidad de Chile

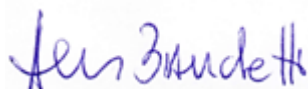
Presente

Estimado Prof. Torres:

Junto con saludarle, nos dirigimos a usted para confirmar que hemos revisado la tesis titulada “**Evidencia actual en relación a la Disminución de Dosis de Medio de Contraste Yodado para estudios de Tomografía Computada de Energía Dual. Revisión de la literatura**” que los estudiantes Benjamín Becerra Díaz y Aníbal Bravo Bueno, han realizado bajo nuestra guía, durante el periodo académico 2021-2022.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado autorizamos el presente documento para su evaluación final.

Sin otro particular, se despiden atentamente.



Prof. Andrés Bianchetti S.
Cotutor - asesor metodológico
Dpto. Enfermería
Universidad Católica del Norte



Acad. TM Sandra Araya L.
Tutora
Dpto. de Tecnología Médica
Universidad de Chile