



Universidad de Valladolid

Facultad de Medicina



NUEVOS AVANCES EN TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA MEDIANTE ENERGÍA DUAL. ESTUDIO DE EDEMA ÓSEO.

TRABAJO FIN DE GRADO



Servicio Radiodiagnóstico

Alumna: **Ana Castell Herrera**

Tutor: **Israel Sánchez Lite**

Cotutor: **Borja Toribio Calvo**

Valladolid, Mayo 2020

ÍNDICE

1) <u>RESUMEN</u>	<u>Página 2</u>
2) <u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>Página 3</u>
<u>2.A) FRACTURA VERTEBRAL. EDEMA ÓSEO</u>	<u>Página 3</u>
<u>2.B) TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE ENERGÍA DUAL</u>	<u>Página 5</u>
3) <u>HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS</u>	<u>Página 7</u>
4) <u>MATERIAL Y MÉTODOS</u>	<u>Página 8</u>
<u>4.A) POBLACIÓN A ESTUDIO</u>	<u>Página 8</u>
<u>4.B) OBTENCIÓN IMAGEN RADIOLÓGICA</u>	<u>Página 9</u>
<u>4.C) PARÁMETROS ESTUDIADOS</u>	<u>Página 10</u>
<u>4.D) PROCESADO DE LA IMAGEN</u>	<u>Página 11</u>
5) <u>RESULTADOS</u>	<u>Página 12</u>
<u>5.A) ANÁLISIS DESCRIPTIVO</u>	<u>Página 12</u>
<u>5.B) ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u>	<u>Página 12</u>
<u>5.C) ANÁLISIS RADIOLÓGICO</u>	<u>Página 13</u>
6) <u>DISCUSIÓN</u>	<u>Página 14</u>
7) <u>CONCLUSIONES</u>	<u>Página 18</u>
8) <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>Página 19</u>
9) <u>AGRADECIMIENTOS</u>	<u>Página 20</u>
<u>ANEXO I – TC Y RM</u>	<u>Página 21</u>
<u>ANEXO II – IMÁGENES RADIOLÓGICAS</u>	<u>Página 24</u>
<u>ANEXO III – ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u>	<u>Página 29</u>
<u>ANEXO IV – ANÁLISIS RADIOLÓGICO</u>	<u>Página 32</u>
<u>ANEXO V – PÓSTER</u>	<u>Página 34</u>

1) RESUMEN

Introducción. Las fracturas vertebrales son una patología frecuente cuya incidencia está en aumento. Para su diagnóstico son necesarias las técnicas de imagen, siendo la Resonancia Magnética (RM) la técnica de referencia en la detección del edema óseo que define la evolución aguda de la fractura. Durante los últimos años, ha emergido la Tomografía Computarizada de Energía Dual (TCDE) con un modelo de reconstrucción de imágenes basado en la descomposición de materiales. Entre la multitud de utilidades que la TCDE ofrece se encuentra la capacidad de diferenciar materiales, entre ellos el edema en las fracturas vertebrales.

Objetivos. Analizar la utilidad y seguridad de la TCDE como una herramienta diagnóstica en las fracturas vertebrales en nuestra población. Comprobar la validez de la TCDE como alternativa útil en la detección del edema y en los casos de contraindicaciones a la RM. Así como establecer una sistemática de adquisición de los estudios de TCDE, postprocesado de las imágenes y una correcta lectura.

Material y métodos. Hemos realizado un estudio de validez diagnóstica de detección de edema en fracturas vertebrales del equipo de TCDE del Hospital Clínico Universitario de Valladolid (HCUV) respecto a la técnica de referencia, la RM. Se han incluido un total de 18 pacientes desde septiembre de 2019 a marzo de 2020 en los que se ha analizado variables demográficas, clínicas y radiológicas. Se realizó doble lectura tanto de las imágenes TCDE como de RM por parte de dos radiólogos expertos.

Resultados. Obtuvimos 18 pacientes, media de 78 años, obteniendo 22 vértebras fracturadas en 94,4% por traumatismo de baja energía. Considerando la RM como prueba de referencia, el TCDE obtiene una **Sensibilidad 94,74%**, **Especificidad 100%**, **Valor Predictivo Positivo (VPP) 100%** y el **Valor Predictivo Negativo (VPN) es de 66,67%**. En el postprocesado de la imagen del TCDE los valores óptimos de ancho de ventana para obtener una imagen válida se sitúan en torno a 951 y 1036. El acuerdo interobservador obtenido teniendo en cuenta la presencia/ausencia de edema fue de un **88,24%** (Kappa 0,67).

Conclusión. La TCDE es una técnica útil y alternativa a la RM en la detección del edema óseo en las fracturas vertebrales. Consideramos de gran importancia una correcta sistemática en la realización del estudio y postprocesado para la obtención de imágenes de calidad que permita realizar un correcto diagnóstico y conseguir reducir la dosis de radiación recibida por los pacientes.

Palabras clave: edema óseo, fractura vertebral, TC espectral.

2) INTRODUCCIÓN

2.A) FRACTURA VERTEBRAL. EDEMA ÓSEO

La patología principal sobre la que asienta nuestro estudio son las fracturas vertebrales. Dentro de ellas, se pueden distinguir aquellas que se producen por fatiga (fuerzas repetidas sobre un hueso normal) o por insuficiencia (carga normal que se produce sobre un hueso debilitado) (1). Las fracturas por compresión vertebral son muy comunes y están asociadas a una disminución de la calidad de vida y una mayor mortalidad (2,3). Las causas más comunes incluyen osteoporosis posmenopáusica, trauma, neoplasias y osteoporosis secundaria (4).

Debido a la evolución demográfica en las sociedades occidentales, la osteoporosis se ha convertido en un desafío socioeconómico. Esta situación conlleva a un aumento significativo del número de personas mayores examinadas por posibles fracturas por compresión osteoporótica después de un traumatismo menor (5). La incidencia anual es de 1.1% en mujeres y 0.6% en hombres (6).

La médula ósea es un tejido esponjoso que se encuentra en el interior de la mayoría de los huesos y es responsable de la hematopoyesis normal. Su microestructura celular es compleja y sus componentes determinan su aspecto macroscópico en las imágenes de la resonancia magnética (RM), dando lugar a los términos comúnmente utilizados como médula ósea roja y amarilla. Para evaluar las anomalías de la médula ósea hay que considerar el patrón de conversión de médula roja a amarilla. El contenido fisiológico de grasa muestra un aumento del 7% por década y alcanza una proporción equilibrada de grasa y médula hematopoyética cuando los pacientes tienen aproximadamente 50 años. El edema óseo es un biomarcador de lesión del sistema musculoesquelético, asociado con la microfractura (7). La representación del edema es más fácil en la médula amarilla (grasa) que se encuentra en pacientes de edad avanzada con osteoporosis y menos en la médula roja con hueso trabecular más denso típicamente presente en pacientes más jóvenes (4).

La detección de fracturas de evolución aguda es de gran importancia para poder iniciar rápidamente una terapia óptima, aliviar el dolor generado por el colapso vertebral y prevenir complicaciones (2). Las fracturas inestables (menos comunes en la enfermedad osteoporótica) requieren cirugía inmediata. Las fracturas que presentan edema de médula ósea pueden beneficiarse de diferentes tratamientos como la cifoplastia o vertebroplastia percutánea (4,6).

Las técnicas de imagen son un componente esencial en el diagnóstico de fracturas vertebrales. Incluyen estudios de radiología simple (RX), densitometría ósea, tomografía computarizada (TC) y resonancia magnética (RM) (6).

En pacientes tras un traumatismo vertebral comenzamos el estudio con radiografía simple, posteriormente y si se considera necesario se realiza una TC convencional por su disponibilidad, rapidez y mejor resolución espacial. Sin embargo, en las fracturas osteoporóticas, el contenido mineral reducido del hueso a menudo causa problemas en el diagnóstico por TC. La fractura no se puede delinear en toda su dimensión o incluso está parcialmente enmascarada. En estos casos, un examen adicional con RM es útil y, a veces, necesario para la planificación terapéutica del paciente (2,5,7).

La RM es la técnica de elección para la valoración de fracturas vertebrales por compresión debido a su capacidad para proporcionar información sobre el colapso vertebral anatómico y la naturaleza aguda de la fractura por compresión vertebral en términos de edema de médula ósea (4). Normalmente ésta presenta un patrón con señal disminuida en T1 y aumentada en T2, con o sin línea de fractura asociada (2). Las imágenes de RM en T2 con supresión de grasa (STIR) son el estándar de referencia para diferenciar entre fracturas agudas y crónicas (5). Sin embargo, la RM requiere de un largo periodo de inmovilidad del paciente en decúbito, lo cual en ancianos o traumatizados con dolor de espalda no siempre es posible. Existen otras contraindicaciones como los dispositivos metálicos no compatibles con estudios de RM (algunos marcapasos), pacientes no colaboradores (en personas con demencia o niños) o con claustrofobia. Por otro lado, es una técnica no siempre disponible en los hospitales lo cual puede ocasionar demoras en el diagnóstico y por consiguiente en el tratamiento final y generar un aumento de la morbilidad y el gasto sanitario (2,3,5,7).

Para superar las limitaciones de la TC y RM convencionales, se ha comenzado la investigación y poco a poco la incorporación en los centros de los equipos de TC de doble energía (TCDE). Esta nueva tecnología permite un modelo de descomposición de materiales para reconstruir imágenes eliminando la contribución de calcio del hueso esponjoso (2,8). Además, realizando estudios de comparación de materiales (hidroxiapatita – agua) nos permite cuantificar la cantidad de agua en diferentes partes de las vértebras (7). Durante los últimos años en la bibliografía médica existen estudios que comparan la precisión de las imágenes obtenidas con la TCDE comparándolas con la prueba de referencia, la RM, tanto a nivel visual como cuantitativo. Demostrando en ellos la capacidad para diagnosticar la naturaleza aguda de la fractura por compresión (2,4,5,9).

2.B) TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE ENERGÍA DUAL

La TC de energía única o convencional se adquiere con una fuente de rayos X polienergética. Se puede seleccionar la energía máxima de los fotones de forma manual o automática, determinando así el valor de kilovoltaje pico (kVp) (10).

Las diferencias específicas de cada material dependen de los diferentes grados de absorción de rayos X, lo que está directamente relacionado con el peso atómico y la densidad electrónica de un material (7,11,12). La detección y caracterización de las lesiones se basa en valores de atenuación de tejidos o diferencias en el contraste de la lesión con el fondo. Un desafío importante de esta técnica ha sido poder diferenciar claramente materiales como calcio y yodo, que, teniendo diferentes composiciones, muestran imágenes muy similares (mismas unidades Hounsfield) (10).

La Tomografía Computarizada de energía dual (TCDE), también conocida como TC espectral, adquiere imágenes en dos espectros diferentes (10). El concepto de realizar tomografías computarizadas a diferentes niveles de energía de fotones se introdujo por primera vez a fines de la década de 1970. Poder llevar a cabo a la práctica esta novedosa tecnología no ha sido posible hasta la incorporación de equipos TC de última generación y software para el postprocesado de imágenes.

La TCDE nos permite obtener imágenes seleccionando los materiales de diferentes tejidos, minimizando el ruido y reduciendo los artefactos. Los dos materiales seleccionados permiten recrear imágenes virtuales que nos sirven para representar sustancias determinadas. Con ello evitaremos TC multifásicos, reduciendo así la exposición a la radiación y los tiempos de examen (10).

Según la fuente de energía, los escáneres de Tomografía Computarizada pueden ser de diferentes tipos:

- TC doble fuente: los rayos X de alta y baja energía son generados por 2 tubos de rayos X diferentes y capturados por 2 detectores separados. Se puede aplicar filtración adicional selectivamente al haz de alta energía para mejorar la separación de los espectros de baja y alta energía.
- TC fuente única:
 - TCDE de doble haz. Un filtro dividido hecho de 2 materiales diferentes (oro y estaño) divide el haz de rayos X de 120 kV en espectros de alta y baja energía que son capturados por un solo detector.
 - TCDE secuencial. El tubo de rayos X cambia entre kVp alto y bajo para cada rotación, con movimiento continuo de la mesa, para generar espectros de alta y baja energía.

- TC de conmutación rápida. Una sola fuente de rayos X cambia entre los kVp alto y bajo cada 0,5 milisegundos a medida que gira alrededor del paciente, para generar los espectros de baja y alta energía.
- TC de doble capa. La capa frontal del detector captura fotones de baja energía, y la capa posterior captura los fotones de mayor energía, generando datos de baja y alta energía, respectivamente.

Una vez obtenidos los datos de las imágenes, se envían desde la consola a un sistema de comunicación de imágenes (PACS) donde se archivan y se pueden usar para el procesamiento posterior o el análisis futuro, con fines de diagnóstico de rutina (10).

La TCDE permite la caracterización y diferenciación de diversas sustancias (4,12). Gracias a ello, están emergiendo multitud de utilidades para esta técnica entre las que destacan, a nivel musculoesquelético, la evaluación de la densidad mineral ósea y de los discos intervertebrales, la detección temprana de depósitos de urato monosódico en articulaciones (gota), la reducción de artefactos metálicos, la detección de procesos traumáticos, neoplásicos e inflamatorios y la evaluación de la médula ósea (7,13,14).

El potencial diagnóstico del TCDE en la evaluación de pacientes con fracturas osteoporóticas se basa en la capacidad de detección del edema óseo, presente en fracturas agudas, pero poco frecuente tras la consolidación (6). Gracias a las imágenes virtuales, el calcio del hueso esponjoso puede sustraerse, el edema traumático de la médula ósea vertebral puede evaluarse visualmente (mapas de color) y analizarse cuantitativamente mediante la medición basada en regiones de interés, que pueden tener diferentes morfologías (ROI) (4). La sensibilidad puede ser menor para el edema óseo en la etapa hiperaguda (menos de 24 horas) que en la aguda (7).

Estudios previos sobre el papel de TCDE en las fracturas de columna vertebral se realizaron en escáneres de TC de doble fuente (2,5,6,15). En algunos de ellos como el de Karaca et al. demostraron la alta sensibilidad y especificidad de dispositivos de doble fuente usando mapas de colores para resaltar el edema óseo (3). Otros como Wang et al. estudiaron el aumento del rendimiento diagnóstico de la TC de doble energía en pacientes con estructura ósea osteoporótica debido a que la mayoría de estos pacientes tienen grasa en lugar de médula ósea roja y estructuras óseas trabeculares reducidas. El edema óseo se visualiza mejor en pacientes con osteoporosis severa que en aquellos con un grado menor, especialmente cuando la vértebra contiene menos del 50% de esclerosis o aire (15). Estos sistemas de doble fuente no están disponibles en todos los hospitales, por lo que Diekhoff et al. realizaron un estudio con TC convencionales (de

una sola fuente) con adquisición de imágenes en dos fases consecutivas con diferentes kV. Con el procesado de los datos gracias a la utilización de software especiales adquieren otro enfoque para realizar exámenes de TCDE con imágenes virtuales sin calcio. Determinaron la fiabilidad del TCDE de fuente única en fracturas vertebrales por compresión en comparación con la RM. Con sensibilidad y especificidad similares a las reportadas para sistemas de fuente dual. Realizar TC de doble energía en escáneres de TC convencionales puede permitir que más pacientes con fractura por compresión vertebral se beneficien de un flujo de trabajo de diagnóstico más rápido. El inconveniente fundamental de esta técnica consistiría en el incremento de la dosis de radiación al obtener dos escáneres consecutivos. Pese a ello, podría ser una alternativa valiosa para pacientes con contraindicaciones para RM o que no pueden completar un examen de RM, por ejemplo, debido a dolor o claustrofobia (6).

Por lo tanto, el TC de energía dual presenta una serie de ventajas y limitaciones. Como ventaja principal en el edema de las fracturas vertebrales, TCDE es más rápida y precisa que la RM, guiándonos en la elección de tratamientos al distinguir la evolución crónica o aguda. Con lo cual, constituye una técnica de imagen alternativa en pacientes con contraindicaciones para la RM (3,14).

La limitación de la energía dual se produce en relación con los pacientes con un alto índice de masa corporal, ya que la imagen obtenida puede contener gran cantidad de ruido que impida la identificación y caracterización de las lesiones. Las imágenes necesarias para una correcta valoración suponen hasta el triple de las de un estudio convencional, por ello son necesarios sistemas de almacenamiento mayores y una sobrecarga de trabajo en los especialistas a la hora de analizar las imágenes generadas.

3) HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS

La hipótesis de nuestro estudio es demostrar la utilidad de la TCDE como herramienta diagnóstica válida y alternativa a la RM en el estudio de edema óseo en las fracturas vertebrales.

Gracias a la disponibilidad del TCDE de conmutación rápida en el Hospital Clínico Universitario de Valladolid (HCUV), procedemos a realizar un estudio sin antecedentes en la bibliografía regional ni nacional. La creciente evidencia científica de la utilidad de tomografía espectral en distintas patologías se ampara en la mayoría de los casos en los sistemas de doble fuente, especialmente en aquellos dedicados a las fracturas vertebrales. De fuente única, encontramos exclusivamente el trabajo realizado por Diekhoff et al. en el que evalúan como estudio piloto a 9 pacientes estableciendo la

TCDE como una alternativa valiosa en pacientes con contraindicaciones para la RM (6). Nuestro trabajo continúa la comparativa con un mayor número de pacientes y con el objetivo añadido de establecer el TCDE como alternativa a la RM, no solamente en pacientes con contraindicación a dicha técnica de imagen. Además, pretendemos establecer una sistemática útil, segura y fiable para la adquisición y postprocesado de las imágenes de TCDE.

Como objetivos secundarios planteamos el análisis de las características epidemiológicas de los pacientes incluidos, el estudio de la dosis de radiación recibidas por los pacientes y su comparativa con estudios convencionales. Estudiar los tipos y características de las fracturas. Describir las circunstancias en las que la resonancia magnética no puede ser realizada, necesitando una alternativa por ser pacientes candidatos a un tratamiento precoz. También como objetivo secundario se pretende mencionar otras patologías en las que imágenes espectrales puedan ser de utilidad diagnóstica.

4) MATERIAL Y MÉTODOS

Realizamos un estudio de validez diagnóstica de carácter prospectivo aprobado en noviembre de 2019 por el Comité Ético de Investigación Clínica del Hospital Clínico Universitario de Valladolid.

4.A) POBLACIÓN A ESTUDIO

Para realizar este trabajo, se han analizado las imágenes de los estudios realizados a pacientes pertenecientes al Área Este de Valladolid que acudían al servicio de urgencias por dolor lumbar y fueron diagnosticados de fractura vertebral. Los estudios de imagen (Rx, TC y RM) se han realizado en el servicio de Radiodiagnóstico del Hospital Clínico Universitario de Valladolid, entre los meses de septiembre de 2019 y marzo de 2020.

Se establecen los siguientes criterios para inclusión y exclusión en el estudio.

Criterios inclusión:

- Pacientes con historia clínica y Rx simple compatibles con fractura vertebral y con indicación de realizar estudio mediante TC.
- Petición de TCDE con técnica GSI para valoración de fractura vertebral.
- Pacientes con indicación de RM para valoración del edema óseo de fractura vertebral.

Criterios exclusión:

- Pacientes cuya situación clínica no permite realizar el TC.
- Imposibilidad de realización de RM: dolor intenso, claustrofobia, obesidad, cuerpos extraños metálicos.
- Pacientes que no acuden por diferentes motivos a la cita de la segunda prueba de imagen, RM.
- Pacientes con prueba de imagen realizada por TC convencional, sin la técnica GSI.
- Pacientes intervenidos por Traumatología mediante cifoplastia, antes de realizar la segunda prueba de imagen.
- Pacientes cuyo edema óseo corresponde a causas infecciosas o tumorales.
- Pérdida y/o fallo en la transmisión de datos a los servidores que impidieron el análisis de las imágenes.

Obtuvimos un total de 50 pacientes, de los cuales 32 cumplían criterios de exclusión. Hemos realizado el estudio con los 18 pacientes válidos, obteniendo un total de 22 vértebras fracturadas.

4.B) OBTENCIÓN IMAGEN RADIOLOGICA.

TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE ENERGÍA DUAL

La adquisición de la imagen radiológica se realizó con la técnica GSI: *Gemstone Spectral Imaging*, gracias al equipo del Hospital Clínico Universitario de Valladolid: *TC spectral Revolution General Electric, Healthcare* ([Anexo I](#)).

La técnica GSI es una aplicación innovadora basada en la tecnología de adquisición de un solo tubo y doble energía, que utiliza una conmutación ultrarrápida de kVp entre baja (80kVp) y alta energía (140 kVp). La imagen espectral nos proporciona información de la composición química de los materiales del cuerpo humano, para permitir separar calcio, yodo, agua y otros materiales, facilitando así la caracterización de la patología. Con estos datos podemos tener acceso a información clínica en tres dimensiones, así como imágenes monocromáticas con diferentes niveles de energía basados en la atenuación de fotones incidentes (16). Y así, nos permite realizar estudios comparativos de materiales, por ejemplo, agua – hidroxiapatita.

El protocolo a seguir se basó en los siguientes parámetros: voltaje del tubo: entre 80 y 140 kVp, miliamperaje: 190 mA, tiempo de rotación: 0,8 seg, pitch: 0,516, grosor de corte: 0,625 mm, ASIR-V-40%.

RESONANCIA MAGNÉTICA

Para obtener las imágenes de la RM, el equipo utilizado es Signa Explorer de 1,5T, General Electric Systems. Permite la adquisición de imágenes con antena de 12 canales, cortes axiales y sagitales de la columna vertebral con las siguientes secuencias: STIR, T1 y T2 FSE.

Los parámetros de la adquisición se describen en la siguiente tabla.

	T2 FSE	STIR	T1
Tiempo de Relajación (TR)/	4400-2800ms/	530-450ms/	1000-3000ms/
Tiempo de Excitación (TE)	120ms	120ms	24ms
Tiempo de adquisición (Tadq)	3.00-3.25min	4.05-3.25min	2,23min
Número de excitación (NEX)	4	3-4	2
Grosor de corte (ST)	3.5-4mm	3.5-4mm	4 mm
Número de cortes (NS)	20	20-13	13
Ancho de banda (BW)	41.67kHz	35.71-31.25kHz	20,83kHz

TABLA 1. Parámetros según las secuencias de la adquisición de la imagen RM.

El análisis y postprocesado de imagen se ha realizado en estación de trabajo Advantage Workstation Server 3.2 y AW VolumeShare 7 (AW4.7), 2015. General Electric Company ([Anexo I](#)).

4.C) PARÁMETROS ESTUDIADOS

Se revisaron las historias clínicas de los pacientes incluidos en el estudio, y se recopilaron mediante el programa Access de datos epidemiológicos, etiológicos y radiológicos. Las variables recogidas se muestran en la *Tabla 2*.

DATOS DEMOGRÁFICOS	DATOS DE FRACTURA	DATOS RADIOLÓGICOS
Edad	Número de vértebras fracturadas	Edema en RM STIR (si/no)
Sexo	Nivel fractura	Cuantificación edema RM STIR
Peso	% Pérdida de altura	Cuantificación vértebra normal RM STIR
Talla	Afectación muro posterior	Edema en TC GSI (si/no)
	Causa de fractura	Cuantificación edema TC GSI
		Cuantificación vértebra normal TC GSI
		Valor A – Mínimo ancho ventana TC GSI
		Valor B – Máximo ancho ventana TC GSI

TABLA 2. Parámetros recogidos en el análisis.

4.D) PROCESADO DE LA IMAGEN

Los estudios de **TC** se realizan de forma sistemática. Primero se obtiene una imagen de centraje o scout para seleccionar la zona a estudiar. Sobre la imagen de scout nos centramos sobre la vértebra diana, incluyendo al menos dos vértebras sanas, una superior y otra inferior. Una vez obtenidas las imágenes se procesan en la estación de trabajo SERVER General Electric. Se selecciona el protocolo estandarizado del GSI para edema óseo, el cual compara por pares densidades de materiales (hidroxiapatita [HAP] versus agua [WATER]). Se realizaron reconstrucciones multiplanares y volumétricas de las vértebras a estudio. Se procede al análisis de las imágenes mediante mapa de colores (selección arco iris) estableciendo previamente la ventana óptima para cada paciente (*Valor A, Valor B*) ([Anexo I](#)). Una vez obtenida la ventana concreta, se realiza análisis cualitativo y cuantitativo. Respecto a la parte cuantitativa, hacemos mediciones en el cuerpo de la vértebra con edema óseo al menos a 2 mm de profundidad de la superficie cortical, mediante ROI (regiones de interés de forma elíptica) en proyección sagital. También se realizó medición con igual sistemática del cuerpo de la vértebra sana adyacente. Las medidas obtenidas se miden en g/cm³ de material estudiado, en nuestro caso agua [WATER].

El mismo proceso fue realizado con los datos de las imágenes procedentes de la **Resonancia Magnética**. Realizamos mediciones en secuencia STIR, proyección sagital, en el cuerpo de la vértebra con edema óseo al menos a 2 mm de profundidad de la superficie cortical, mediante ROI (regiones de interés de forma elíptica). Con la misma sistemática, se realiza medición del cuerpo de la vértebra sana adyacente. Las medidas obtenidas se miden en unidades de intensidad de señal. El tiempo de demora entre la realización del TC y la RM fue de 4 a 40 días, con una media de 20,66 días.

Para el análisis cualitativo dos radiólogos expertos en patología musculoesquelético (15 y 10 años de experiencia respectivamente) describieron la existencia, o no, de edema en las imágenes tanto de RM como de TC GSI. La doble lectura de las imágenes pretende conocer el **acuerdo interobservador**.

También estudiamos la **dosis de radiación** recibida por los pacientes, que depende de múltiples factores (factores dependientes del paciente como el peso, dependientes de la exploración como el número de cuerpos vertebrales incluidos, de los datos empleados en relación al kilovoltaje y miliamperaje, etc). Comparamos la dosis de radiación recibida por los pacientes cuando se realiza TC convencional y TCDE incluyendo solamente tres niveles vertebrales (consideramos como el estudio menos niveles posibles) y aquellos estudios que incluyeron de forma completa la columna lumbar o dorsal.

5) RESULTADOS

Los datos han sido analizados con el programa estadístico SPSS versión 24.0 para Windows y Epidat versión 3.1. Aquellos valores de $p < 0,05$ han sido considerados estadísticamente significativos. Las variables cuantitativas se presentan con la media y la desviación típica y las cualitativas según su distribución de frecuencias.

5.A) ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Un total de **18 pacientes** fueron incluidos en el estudio, de los cuales 4 eran varones (22,2%) y 14 mujeres (77,8%). El rango de edad de los pacientes se situó entre los 65 y los 93 años, con una **edad media de 78 años** y una desviación típica de 1,950. Respecto al peso el valor medio se encuentra en 69,156kg, con un mínimo de 60 kg y un máximo de 80kg. La desviación típica es de 2,191. En cuanto a la talla, la media es de 1,60cm con una desviación de 4,114. Los valores mínimos se sitúan en 1,48m y los máximos en 1,75m.

De entre todos los pacientes, 15 tenían una sola vértebra fracturada (83,3%), 2 pacientes tenían dos vertebras fracturadas (11,11%) y un paciente presentó 3 niveles vertebrales fracturados (5,6%). De las vértebras que presentaban fractura, 9 de ellas (40,9%) fueron a nivel dorsal, y las otras 13 fueron en nivel lumbar (59,1%).

Respecto a la etiología, en el 94,4% de los pacientes la fractura fue producida por un traumatismo de baja energía (17 personas). Mientras que en uno de ellos fue por alta energía. La misma relación obtuvimos respecto al tipo de fractura, 17 pacientes tuvieron una fractura por insuficiencia, y sólo uno de ellos fue una fractura patológica. De entre todas las fracturas, se observó afectación del muro posterior en 12 de ellas (54,5%). También se analizó la pérdida de altura de las vértebras fracturadas, obteniendo una media de un 42,68% de pérdida de altura, con una desviación típica de 17,184. La pérdida de altura mínima que se observó fue de un 11% y la máxima de un 85%.

5.B) ANÁLISIS ESTADÍSTICO ([Anexo III](#))

En el TC GSI se observaron 18 fracturas con edema óseo y 3 sin él. Mientras que en la RM fueron 19 las vértebras en las que se observó edema y 2 en los que no. Con lo cual, con la tabla de contingencia de ambas variables obtenemos que el **85,7 %** tienen un resultado de edema en las dos pruebas y el **9,5 %** no lo presentan en ninguna de ellas. Sólo en 1 de los casos (4.8%) el resultado de edema en RM es de SÍ y para TC (GSI) es de NO. Mediante el test Kappa, se ha analizado la concordancia de la variable edema en TC (GSI) y la misma variable medida en RM. El índice de concordancia Kappa es de 0.774 (p -valor <0.001). Considerando la RM como referencia obtendríamos una

Sensibilidad de un de **94,74%**, **Especificidad** de **100%**, **Valor Predictivo Positivo (VPP)** **100%** y el **Valor Predictivo Negativo (VPN)** es de **66,67%**.

Respecto a las variables numéricas el análisis de las cuantificaciones obtenidas de las ROI es el siguiente: en los datos de la RM (STIR) obtenemos que las vértebras patológicas tienen una cuantificación media de 210,78 (desviación típica 137,35) y en las vértebras sanas adyacentes hablamos de una media de 113,71 (desviación típica 78,99). Respecto al TC (GSI), en las vértebras patológicas se obtiene una media de 997,29 (desviación típica 32,88) con valores máximos de 1046 y mínimos de 908. Las vértebras sanas tienen una media de cuantificaciones de 946,17 (desviación típica 39,73) con un máximo de 985 y un mínimo de 830.

Se ha realizado la correlación de Pearson analizando los resultados de la cuantificación con respecto a su normalidad tanto en STIR como en GSI y hemos observado relación lineal directamente proporcional entre la cuantificación en la RM (STIR) de la vértebra sana y la patológica, con una correlación de Pearson de 0,901. En el TC (GSI) no se aprecia esa relación tan fuerte, correlación de Pearson de 0,390.

5.C) ANÁLISIS RADIOLÓGICO [\(Anexo IV\)](#)

Respecto al análisis de la radiación recibida por el paciente, el TC que se ha utilizado en el estudio nos permite la predicción de la misma al comenzar y tras la programación de éste una vez adquiridos los topogramas. Gracias a dicha predicción hemos observado que la dosis recibida no se diferencia significativamente si programamos el estudio para realizar adquisición mediante tecnología GSI o queremos realizar estudio convencional. Además, hemos podido constatar que tampoco se objetivan diferencias significativas al comparar las dosis recibidas por distintos pacientes cuando se realizan estudios convencionales en aparatos de TC diferentes respecto al TC de nuestro estudio cuando se adquiere con GSI, tanto en estudios en los que se incluyen solamente 3 niveles como en los estudios de segmento completo dorsal o lumbar.

Durante el postprocesado de las imágenes GSI de comparación de materiales, hemos analizado las **ventanas** (ventanas color arcoíris) para poder establecer el ROI en el que se identifique más claramente el edema. Las imágenes de TC nos muestran las estructuras en una escala de grises que se fija mediante dos parámetros. La anchura de ventana que fija los valores máximo (blanco o rojo, en función de si la analizamos en escala de grises o en arcoíris respectivamente) y mínimo (negro o azul). Y el nivel de ventana que define el valor central de la ventana seleccionada. Las ventanas se pueden modificar y así cambiar el color para poder diferenciar con más facilidad las diferentes densidades en el estudio. Cuando empleamos las ventanas de arcoíris, el color rojo

(colores cálidos) corresponde a estructuras cuya composición se aproxima a la densidad agua-edema. El color azul (colores fríos), a estructuras con menos cantidad de agua. Para la mejor visualización del edema asignamos diferentes anchos de ventana. El valor A que define el valor mínimo corresponde al color azul, y el valor B es el máximo, rojo. Entre ambos valores encontramos la escala de color desde el azul al rojo. El valor A obtenido mostró una media de 951,78 (desviación típica de 14,408), mínimo de 927 y máximo de 978. El valor B con un rango que va desde 1008 a 1070, tiene una media de 1036,28 (desviación típica de 17,66).

Realizamos **doble lectura** de las imágenes obtenidas. El acuerdo entre los radiólogos expertos que analizaron las imágenes en la prueba de referencia (RM) supone una concordancia total. En las imágenes del TCDE los resultados obtenidos son los siguientes. Considerando dos categorías; las variables edema SI/NO, se observó un acuerdo de 88,24% con un índice Kappa de 0,67 IC_{95%} (0,28 - 1) p-valor 0,0031. Obteniendo así un acuerdo sustancial. Considerando cuatro categorías; edema SI / NO / Sin datos / No concluyente, el acuerdo observado es del 69,57%, con un índice Kappa de 0,43 IC_{95%} (0,13 - 0,73) p-valor 0,0003 obtenido, por tanto, un acuerdo moderado.

6) DISCUSIÓN

Las fracturas vertebrales constituyen una patología muy frecuente, cuya incidencia está en aumento especialmente en pacientes con osteoporosis. Además de las importantes consecuencias clínicas que suponen para los pacientes, constituyen un desafío a nivel socioeconómico. Es de capital importancia la detección precoz de la fractura para conseguir paliar el dolor con un tratamiento temprano. La prueba de referencia es la resonancia magnética pero no en todos los pacientes ésta constituye una opción factible.

La bibliografía médica contempla, dentro en los avances de los últimos años, a la Tomografía Computarizada de doble energía (TCDE) para la detección de distintas patologías. A nivel musculoesquelético, se ha incrementado su uso en patologías de depósito como la gota, en patología de ligamentos y tendones, en artropatías inflamatorias, en infecciones o en neoplasias (*imagen 15 y 16 - Anexo II*). En el estudio de la médula ósea, su capacidad para detectar el edema está incrementada en un 10% respecto a un TC convencional (13,14). Como describen el estudio de Karaca et al, aunque la RM es la técnica de referencia, no se puede realizar de rutina a todo tipo de pacientes porque su disponibilidad es reducida, especialmente en los servicios de urgencias, y no es apta en pacientes con contraindicaciones o en los que puedan existir

artefactos metálicos (3). Planteamos nuestro trabajo desde las peticiones de TC del servicio de urgencias por fractura vertebral. Obtuvimos una muestra de 50 pacientes, de los cuales cumplieron criterios de inclusión 18: 77,8% mujeres y de una media de 78 años con una etiología predominante de traumatismo de baja energía.

A lo largo de nuestro estudio, hemos podido constatar diferentes contraindicaciones a la RM. Destacamos de entre ellas, dos casos que tuvimos que excluir por presentar un dolor tan fuerte que les impedía la realización de la RM solicitada. En otro paciente se identificó un objeto metálico que también contraindicó la prueba (*imagen 17 – Anexo II*). En los tres casos los pacientes se beneficiaron de poder realizar estudios mediante TC GSI y proceder a un tratamiento precoz.

Dentro de la bibliografía médica, uno de los primeros estudios de calidad que utiliza el TCDE en el diagnóstico de fracturas vertebrales fue publicado en el año 2013, por Wang et al. (15). Demostraron la capacidad del TCDE para revelar edema óseo en fracturas vertebrales agudas por compresión con el cuerpo vertebral colapsado sin esclerosis y/o aire, obteniendo muy alta sensibilidad y especificidad (96% y 98%). En 2014, Bierry et al. analizaron cualitativa y cuantitativamente vertebrales colapsadas y no colapsadas. La sensibilidad en la detección del edema que obtuvieron fue de 84%, una especificidad del 97% y un gran valor predictivo negativo, de 97%. Éste dato sirvió para enfatizar el gran potencial que la TCDE tenía para excluir fracturas vertebrales tanto a nivel torácico como lumbar que pudieran estar ocultas (2). El estudio de Kaup et al. corroboró este hallazgo, caracterizando al TCDE como una herramienta sólida para excluir fracturas agudas, no sólo para detectarlas (5). En esta línea de investigación, otros estudios como el reportado por Karaca et. en 2015 también han demostrado alta sensibilidad (89%) y especificidad (99%) utilizando mapas de colores para resaltar el edema óseo (3). Petritsch et al. también obtuvieron excelente rendimiento diagnóstico en la detección del edema de fracturas vertebrales mediante TCDE (sensibilidad 64%, especificidad 99,3%, VPP 94,1 y VPN 93,8%) (4). Además, en 2018 se realizó un metaanálisis de 12 estudios en el que describieron que el TCDE tiene una sensibilidad (85%) y especificidad (97%) excelente en la detección del edema de médula ósea, especialmente en la forma cualitativa (7).

En todas estas publicaciones, los escáneres de TC espectral que utilizan tienen un sistema de doble fuente, actualmente disponible en muy pocos hospitales. Por ello, adquiere gran relevancia clínica el artículo publicado por Diekhoff et al. en 2016 en el que realizan un estudio piloto de 9 pacientes con dolor de espalda determinando la fiabilidad del TCDE de fuente única. Con resultados de sensibilidad de 88% y una

especificidad de 100% demostraron que los pacientes con fractura vertebral se pueden beneficiar del TCDE como técnica diagnóstica más rápida o alternativa a la RM (6).

En nuestro estudio planteamos y demostramos el **gran potencial diagnóstico del TCDE** en las **fracturas vertebrales**. Incluimos un elevado número de pacientes si comparamos con la bibliografía médica reciente. Analizamos un total de 22 vértebras fracturadas y obtuvimos gran sensibilidad y elevado valor predictivo negativo en la detección del edema óseo. Al comparar el TC GSI con la RM como estándar de referencia, hemos obtenido una **sensibilidad** de un **94,74%**, **especificidad** de un **100%**, **valor predictivo positivo** de **100%** y el **valor predictivo negativo** de **66,67%**.

Diekhoff et al. propusieron la necesidad de establecer criterios objetivos para mejorar el diagnóstico a la hora de evaluar el edema. Los últimos estudios, además del análisis cualitativo de visualización del edema, realizan un estudio cuantitativo. Se establecen regiones de interés que disten al menos 2 mm de la cortical del hueso. Obtenemos de ellos una media de valores de atenuación en el TC (en g/cm^3 de material de referencia, agua en nuestro caso) y una media de valores de intensidad en la RM, tanto en la vértebra sana como adyacente (4,6). Como es de esperar por la presencia del edema, las cuantificaciones en cuerpos vertebrales patológicos son superiores que los de las vértebras sanas por la mayor atenuación de los primeros. Además, se produce una relación lineal directamente proporcional mayor en la cuantificación de la RM que la correlación observada en el TC (correlación de Pearson de RM de 0,901 frente a 0,390 en el TC).

Un reciente estudio (2019) publicado en *Indian Journal of Radiology and Imaging* pone de manifiesto que la cuantificación obtenida del edema de medula ósea en vértebras patológicas fue de media 1008,20 (desviación estándar de 23,00) frente a la densidad de la médula ósea en hueso sano: 947,53 (desviación estándar de 16,42) (9). Nuestro estudio presenta una media de cuantificación del ROI de vértebra sana en el TC GSI muy similar: 946,17 (desviación típica 39,73). Con una media de 997,29 (desviación típica 32,88) en el ROI de las vértebras patológicas.

Dentro de las limitaciones de la técnica de TCDE está descrita la dificultad en la detección del edema en presencia de cambios degenerativos como esclerosis y gas, así como cuerpos vertebrales muy colapsados. Además, en ocasiones el edema suele ser difícil de detectar con una optimización inadecuada de los parámetros (14). A lo largo de nuestro estudio, hemos observado que es importante realizar la técnica siguiendo una sistemática y unos parámetros que aumenten la calidad diagnóstica. Consideramos de gran importancia **centrar la vértebra diana** en el estudio (colocarla en el centro de

la adquisición), limitando el estudio a una vértebra superior y otra inferior. La presencia de vísceras cercanas en la imagen, artefactos por movimientos involuntarios del paciente, así como la colocación de la vértebra a estudiar en posiciones marginales resta calidad diagnóstica a la prueba.

La representación óptima de los tejidos de interés en una imagen del TC se alcanza seleccionando la **ventana más apropiada** tanto en anchura como en nivel (17). Consideramos de capital importancia, el establecimiento de una ventana adecuada para poder identificar el edema. Sin precedentes en la literatura médica, nosotros establecemos una franja de valor A (mínimo del ancho de ventana) entre 927 y 978 y un rango de valor B (máximo del ancho de ventana) comprendido entre 1008 a 1070. Dentro de estos intervalos, el mapa de colores que obtenemos nos permite identificar visualmente el edema con más claridad y cuantificarlo mediante regiones de interés (ROI) ([Anexo II](#)).

La dosis de **radiación** que reciben los pacientes es un aspecto relevante en la elección de una prueba diagnóstica. Para expresar las características dosimétricas de los equipos de TC, se han definido una serie de magnitudes que se utilizan en garantía de calidad. La primera y más específica es el Índice de Dosis de TC (CTDI) que se define como la integral del perfil de la dosis en el eje longitudinal dividida entre la anchura nominal del haz. Esta dosis se expresa en términos de dosis absorbida en aire (*mGy*) y se puede medir en maniqués dosimétricos cilíndricos normalizados. Se mide durante la rotación de 360° del tubo de rayos X, pero para realizar una adquisición clínica, se necesitan más de una rotación. Con lo cual, se ha definido otra magnitud derivada del CTDI, el producto dosis – longitud (DLP) que tiene en cuenta el número total de rotaciones y se calcula multiplicando el CTDI ponderado de dosis en volumen por la extensión de la exploración realizada. El DLP se expresa en *mGy*cm*. Los equipos de TC proporcionan información sobre la dosis prevista que va a recibir el paciente y la dosis que recibe (17).

La dosis de radiación es un parámetro que varía incluso de examen en examen aún en el mismo paciente y mismo protocolo. Aunque las imágenes se adquieran con dos espectros diferentes de energía, la dosis no es el doble. En el TCDE conmutación rápida de se alterna rápidamente entre 80 kVp y 140 kVp, con mayor tiempo asignado al estado de bajo kilovoltaje. La evidencia indica que las diferencias percibidas en las dosis de radiación no deben disuadir a un radiólogo de realizar un examen de TCDE ya que estas tecnologías añaden valor diagnóstico sin una dosis mayor (11,18). En el metaanálisis de Suh et al. incluso apuntaban que la detección del edema con TCDE puede minimizar

el número de estudios radiológicos posteriores, y así quedaría disminuida la dosis de radiación acumulada en el paciente (7). Por otro lado, en el estudio de Diekhoff et al. mencionan que la exposición a la radiación del volumen TC es menor en comparación con la TC espiral convencional (6). En la comparativa de dosis recibida por los pacientes entre estudios TC convencionales y de GSI, nosotros concluimos que la dosis no ha sido significativamente superior en estos últimos, con lo cual la **radiación no supone un inconveniente** para la realización de TCDE GSI frente a TC convencional.

Para implantar esta técnica novedosa, es necesario tener en cuenta la interpretación de la misma por parte de los radiólogos. En los artículos publicados hasta la fecha, describen el acuerdo interobservador de TCDE considerable (entorno al 0,8) aunque menor en el TCDE que en la RM (2–4). En nuestro estudio, considerando las variables edema SI/NO en el TC, se observó un acuerdo del 88,24% con un índice Kappa de 0,67 IC_{95%} (0,28-1). Al ser una técnica novedosa consideramos importante establecer una sistemática de lectura correcta para ofrecer a radiólogos una herramienta útil y segura.

Como limitaciones en nuestro estudio consideramos un número de pacientes pequeño (18 pacientes y 22 vértebras estudiadas), con una mayoría de pacientes con criterios de exclusión. Hemos observado en algunos pacientes la dificultad a la hora de adquirir una imagen de calidad. La calidad en la imagen mejora de forma significativa si centramos el estudio en la vértebra diana. Si la vértebra diana se sitúa en posiciones marginales, los artefactos de la imagen dificultan la visualización del edema.

7) CONCLUSIONES

La TCDE es una técnica diagnóstica útil para la detección de edema óseo en las fracturas vertebrales con gran sensibilidad y especificidad, así como valor predictivo positivo respecto a su prueba de referencia, la RM.

Para realizar un buen análisis consideramos de especial importancia establecer una sistemática con un rango de ventanas adecuado. Y centrarnos en la vértebra diana a la hora de adquirir las imágenes, incluyendo solamente tres niveles. De esta manera evitamos la presencia de artefactos y disminuimos la dosis de radiación.

Por último, consideramos necesario la realización de más estudios con un mayor número de pacientes. De esta manera, estudiaríamos la validez de los diagnósticos de edema óseo aportados por técnicas espectrales y la necesidad de protocolos que instruyan en la interpretación de imágenes de GSI en patologías concretas, como la fractura vertebral.

8) **BIBLIOGRAFÍA**

1. García Huelves M, Escobar Ramírez MÁ, Garcia Arenas PL, Rascón Risco M, Jiménez del Río J, Martínez Fernández MI. El hueso ante el estrés. Imagen radiológica. SERAM. 2014;1–27.
2. Bierry G, Venkatasamy A, Kremer S, Dosch JC, Dietemann JL. Dual-energy CT in vertebral compression fractures: Performance of visual and quantitative analysis for bone marrow edema demonstration with comparison to MRI. *Skeletal Radiol.* 2014;43(4):485–92.
3. Karaca L, Yuceler Z, Kantarci M, Cakir M, Sade R, Calikoglu C, et al. The feasibility of dual-energy CT in differentiation of vertebral compression fractures. *Br J Radiol.* 2016;89(1057).
4. Petritsch B, Kosmala A, Weng AM, Krauss B, Heidemeier A, Wagner R, et al. Vertebral compression fractures: Third-generation dual-energy CT for detection of bone marrow edema at visual and quantitative analyses. *Radiology.* 2017;284(1):161–8.
5. Kaup M, Wichmann JL, Scholtz JE, Beeres M, Kromen W, Albrecht MH, et al. Dual-energy CT-based display of bone marrow edema in osteoporotic vertebral compression fractures: Impact on diagnostic accuracy of radiologists with varying levels of experience in correlation to MR imaging. *Radiology.* 2016;280(2):510–9.
6. Diekhoff T, Hermann KG, Pumberger M, Hamm B, Putzier M, Fuchs M. Dual-energy CT virtual non-calcium technique for detection of bone marrow edema in patients with vertebral fractures: A prospective feasibility study on a single-source volume CT scanner. *Eur J Radiol.* 2017;87:59–65.
7. Suh CH, Yun SJ, Jin W, Lee SH, Park SY, Ryu CW. Diagnostic performance of dual-energy CT for the detection of bone marrow oedema: a systematic review and meta-analysis. *Eur Radiol.* 2018;28(10):4182–94.
8. Wortman JR, Uyeda JW, Fulwadhva UP, Sodickson AD. Dual-energy CT for abdominal and pelvic trauma. *Radiographics.* 2018;38(2):586–602.
9. Saba L, De Filippo M, Saba F, Fellini F, Marcy P-Y, Dagan R, et al. Dual energy CT and research of the bone marrow edema: Comparison with MRI imaging. *Indian J Radiol Imaging [Internet].* 2019 Oct 1 [cited 2020 Mar 28];29(4):386. Available from: <http://www.ijri.org/text.asp?2019/29/4/386/274501>
10. Siegel MJ, Kaza RK, Bolus DN, Boll DT, Rofsky NM, De Cecco CN, et al. White

paper of the society of computed body tomography and magnetic resonance on dual-energy ct, part 1: Technology and terminology. J Comput Assist Tomogr. 2016;40(6):841–5.

11. Johnson TRC. Dual-energy CT: general principles. AJR Am J Roentgenol. 2012;199(5 Suppl):3–8.
12. Roibás Urraca M. Energía dual TC: Fundamentos técnicos y aplicaciones clínicas. Congr SERAM. 2012;1–19.
13. De Cecco CN, Joseph Schoepf U, Steinbach L, Boll DT, Dennis Foley W, Kaza RK, et al. White paper of the society of computed body tomography and magnetic resonance on dual-energy CT, part 3: Vascular, cardiac, pulmonary, and musculoskeletal applications. J Comput Assist Tomogr. 2017;41(1):1–7.
14. Rajiah P, Sundaram M, Subhas N. Dual-Energy in Musculoskeletal Imaging: What Is the Role Beyond Gout? Am J Roentgenol. 2019;(September):493–505.
15. Wang CK, Tsai JM, Chuang MT, Wang MT, Huang KY, Lin RM. Bone marrow edema in vertebral compression fractures: Detection with dual-energy CT. Radiology. 2013;269(2):525–33.
16. Imaging GSI. GSI User Guide. In.
17. SERAM, Del Cura Rodríguez JL, Pedraza Gutiérrez S, Gayete Cara A. Radiología Esencial. Volume I. 2009.
18. Foley WD, Shuman WP, Siegel MJ, Sahani D V., Boll DT, Bolus DN, et al. White paper of the society of computed body tomography and magnetic resonance on dual-energy ct, part 2: Radiation dose and iodine sensitivity. J Comput Assist Tomogr. 2016;40(6):846–50.

9) AGRADECIMIENTOS

A mis tutores, Israel y Borja, quienes me han guiado, me han apoyado y han trabajado plenamente por llevar a cabo este trabajo a pesar de la época de pandemia actual.

A Marifé por su valiosa ayuda con la recogida de datos y el análisis estadístico en todo momento. Al servicio de Radiodiagnóstico del Hospital Clínico Universitario de Valladolid por permitirme comenzar mis primeras andaduras en la investigación científica con ellos y especialmente a su jefa de servicio Isabel Jiménez Cuenca.

ANEXO I - TC y RM

- **TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE DOBLE ENERGÍA**



IMAGEN 1. TC espectral Revolution General Electric, Healthcare.
Hospital Clínico Universitario de Valladolid.



IMAGEN 2. Colocación del paciente en decúbito supino en el TC.

NUEVOS AVANCES EN TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA MEDIANTE ENERGÍA DUAL.
ESTUDIO DE EDEMA ÓSEO.



IMAGEN 3. Estación de trabajo del TC: SERVER General Electric.

Dividida en cuatro espacios, dos superiores con reconstrucciones sagital y coronal. Dos inferiores, estudio GSI visión en color-arco iris, comparación de materiales a la izquierda hidroxiapatita-agua (se anula la densidad agua de las estructuras) y a la derecha agua-hidroxiapatita (se anula la densidad hidroxiapatita de las estructuras).

Fechas: ancho de ventana.

- **RESONANCIA MAGNÉTICA**



IMAGEN 4. Resonancia Magnética del Hospital Clínico Universitario Valladolid.
Signa Explorer de 1,5T, General Electric Systems.



IMAGEN 5. Postprocesado de las imágenes de la RM en la estación de trabajo.

ANEXO II - IMÁGENES RADIOLÓGICAS

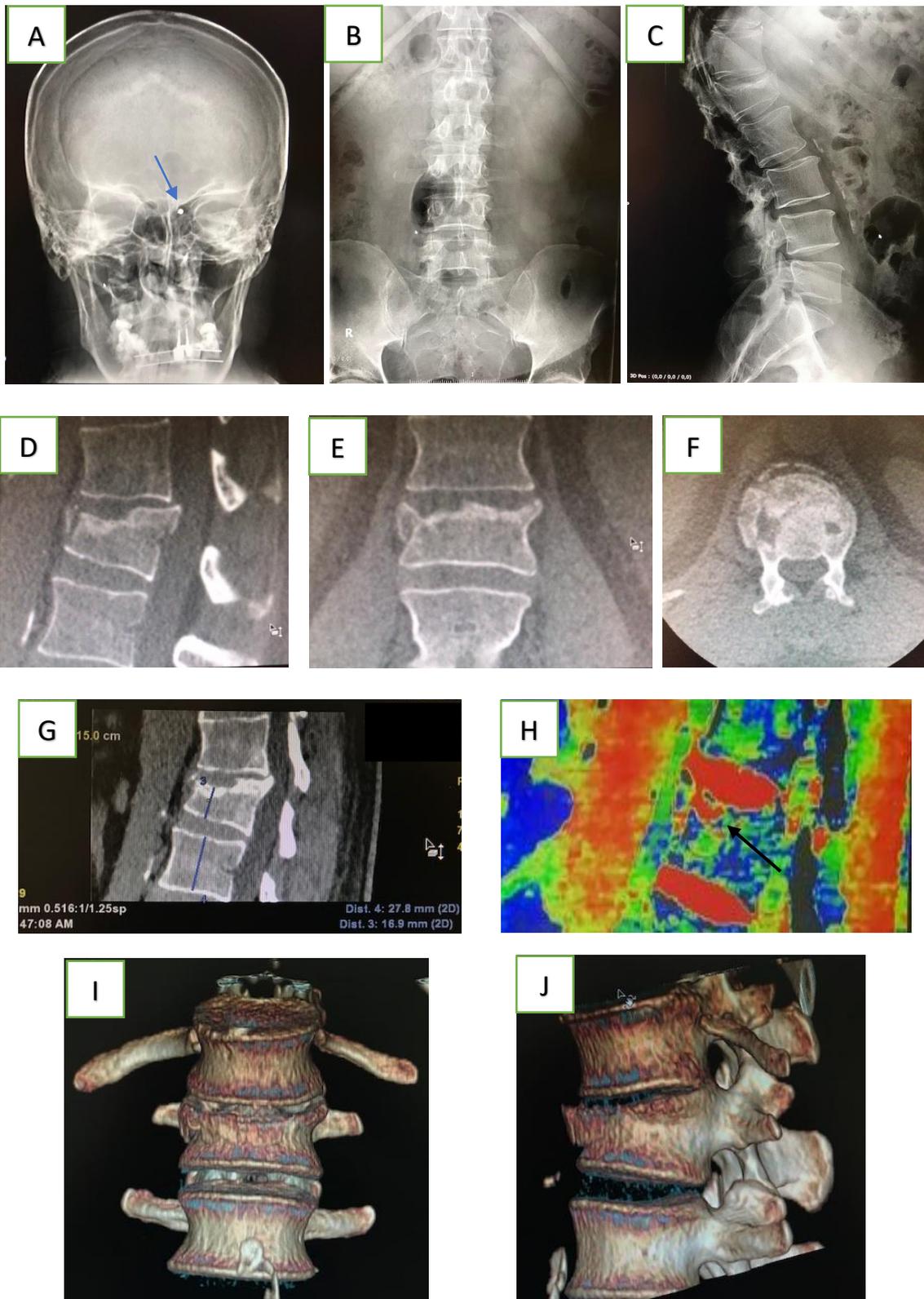


IMAGEN 6 (A→J). Paciente con cuerpo extraño metálico periorbitario y fractura por aplastamiento de L1. **A)** Rx AP de cráneo donde se ve el objeto metálico (*flecha*). **B)** y **C)** Rx simple columna lumbar dos proyecciones. **D), E)** y **F)** Reconstrucciones TC sagital, coronal y axial de L1 fracturada. **G)** Medición pérdida altura en reconstrucción

sagital TC. **H)** Reconstrucción sagital GSI comparación de materiales agua-hidroxiapatita donde podemos identificar edema (*flecha*). Concluyendo la evolución aguda en este paciente con contraindicación para la realización de RM por cuerpo extraño metálico periorbitario. **I) y J)** Reconstrucciones volumétricas de fractura L1.

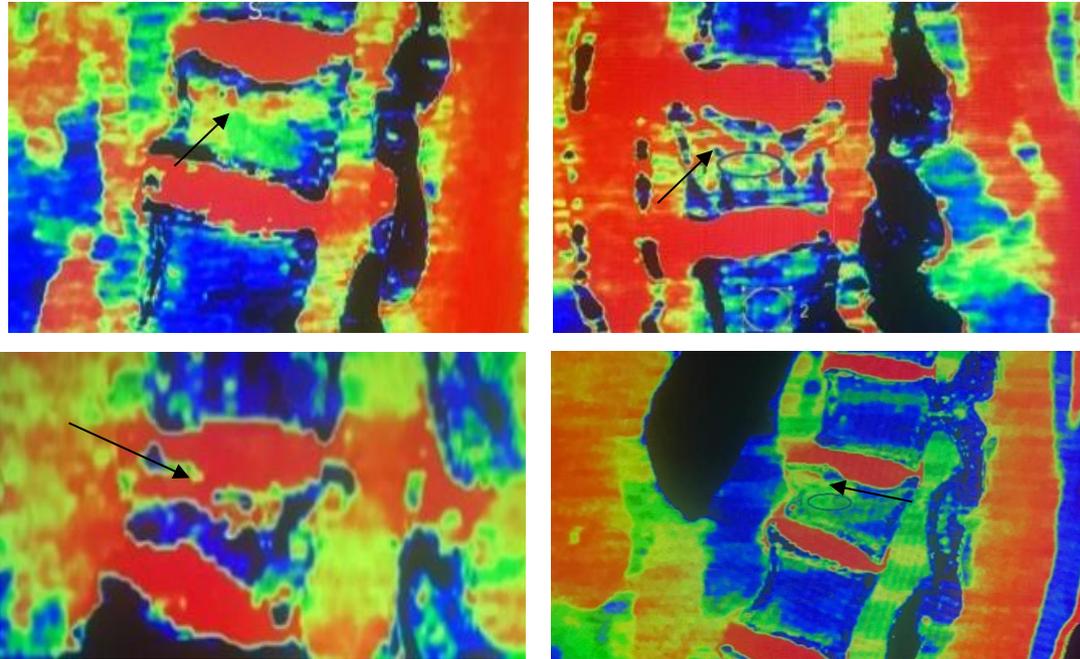


IMAGEN 7, 8, 9 y 10. Imágenes de TC, proyección sagital, estudios GSI comparación de materiales, agua-hidroxiapatita, de diferentes pacientes donde podemos apreciar edema (*flechas* apuntando áreas de color rojo).

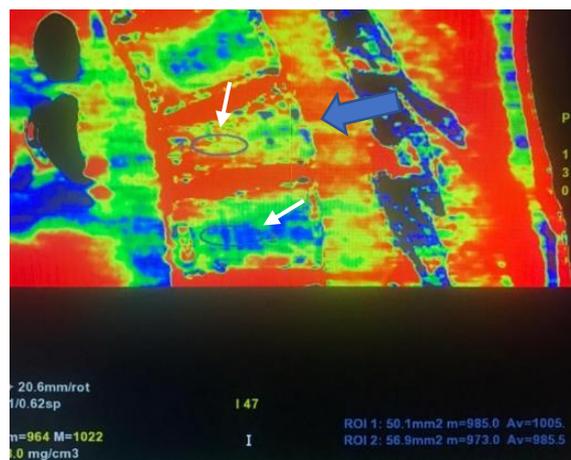


IMAGEN 11. Imagen de TC, proyección sagital, estudio GSI comparación de materiales, agua-hidroxiapatita. Fractura de cuerpo vertebral (*flecha azul*) con colocación de ROI en vértebra diana y vértebra sana nivel inferior (*flecha blanca*).

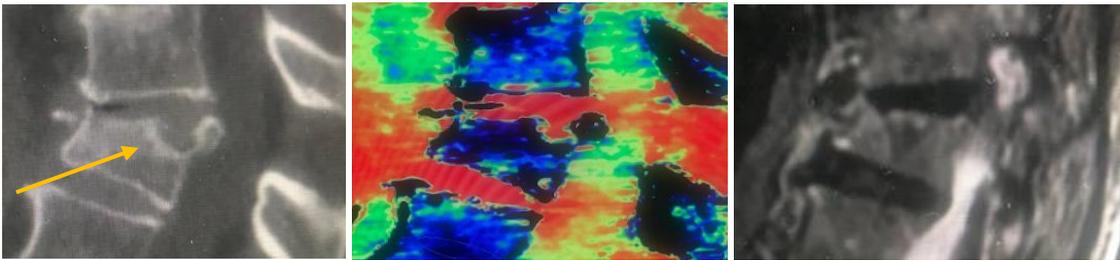


IMAGEN 12, 13 y 14: Imágenes de TC, proyección sagital (12), estudio GSI comparación de materiales agua-hidroxiapatita (13) y estudio de RM STIR (14). Fractura de cuerpo vertebral (*flecha*). En los estudios de GSI comparación de materiales no se aprecia alteración de la densidad significativa que sugiera edema. Hallazgos confirmado en el estudio de RM (14).

OTRAS UTILIDADES

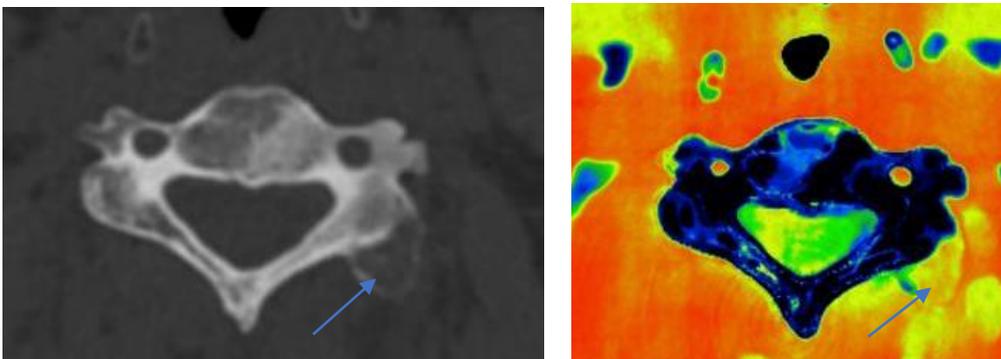
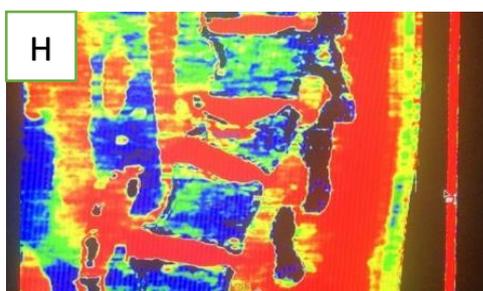
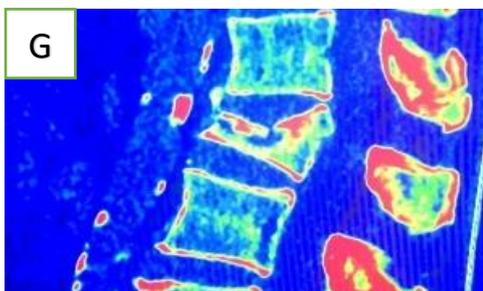
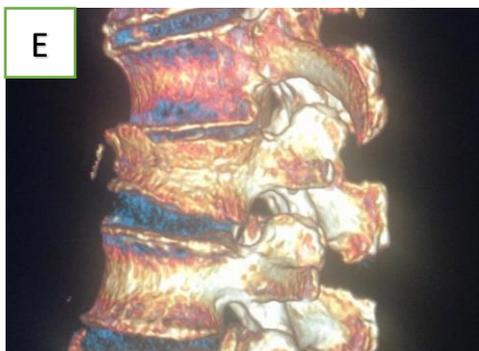


IMAGEN 15 Y 16. TC GSI: Imágenes en proyección axial, escala de grises y comparación de materiales (agua - hidroxiapatita) arcoíris. Lesión tumoral columna cervical: osteoblastoma (*flechas*).

ESTUDIO DE UN PACIENTE CON FRACTURA CUERPO VÉRTEBRAL L1



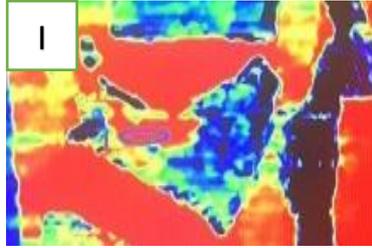


IMAGEN 17 (A→I). Paciente con fractura de cuerpo vertebral L1. **A)** y **B)** Rx lateral y antero - posterior. **C)** y **D)** Proyecciones sagitales de estudio de RM, potenciadas en T1 y T2 respectivamente, en las que apreciamos disminución de señal en secuencia potenciada en T1 y aumento de señal en secuencia STIR en relación con edema.

E) → I): Estudio de TCDE. Imagen **E** volumétrica, imagen **F** proyección sagital. Imágenes **G**, **H** e **I** de comparación de materiales (en escala arco iris). En **G**) comparamos hidroxiapatita con agua, en **H**) agua con hidroxiapatita. Podemos ver zonas de color rojo en la imagen H que representan el edema también visible en el estudio de RM, compatible con evolución aguda. En la imagen **I** podemos ver el ROI colocado en la vértebra diana para cuantificar el edema.

ANEXO III - ANÁLISIS ESTADÍSTICO

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Edema en RM * Edema en Tc GSI	21	95,5%	1	4,5%	22	100,0%

TABLA 3. Resumen del procesamiento de los casos.

			Edema en Tc GSI		Total
			NO	SI	
Edema en RM	NO	Recuento	2	0	2
		% del total	9,5%	0,0%	9,5%
	SI	Recuento	1	18	19
		% del total	4,8%	85,7%	90,5%
Total		Recuento	3	18	21
		% del total	14,3%	85,7%	100,0%

TABLA 4. Tabla de contingencia: Edema en RM * Edema en Tc GSI.

	Valor	Error típ. asint.	T aproximada	Sig. aproximada
Medida de acuerdo Kappa N de casos válidos	,774 21	,215	3,642	,000

TABLA 5. Medidas simétricas Edema en RM * Edema en Tc GSI.

Parámetros de Validez Diagnóstica de TC (GSI) respecto a RM (Gold estándar)

- Nivel de confianza: 95,0%

Prueba diagnóstica (TC)	Prueba de referencia (RM)		
	EDEMA	NO EDEMA	TOTAL
EDEMA	18	0	18
NO EDEMA	1	2	2
TOTAL	19	2	21

TABLA 6. Hallazgos del TC respecto la RM (Gold Estándar).

Prueba diagnóstica (TCDE)	VALOR	IC (95%)	
SENSIBILIDAD (%)	94,74	82,06	100,00
ESPECIFICIDAD (%)	100,00	75,00	100,00
ÍNDICE DE VALIDEZ (%)	95,24	83,75	100,00
VALOR PREDICTIVO POSITIVO (%)	100,00	97,22	100,00
VALOR PREDICTIVO NEGATIVO (%)	66,67	0,00	100,00
PREVALENCIA	90,48	75,54	100,00
ÍNDICE DE YAUDEN	0,95	0,85	1,05
RAZÓN DE VEROSIMILITUD NEGATIVA	0,05	0,01	0,35

TABLA 7. Parámetros de validez diagnóstica del TC.

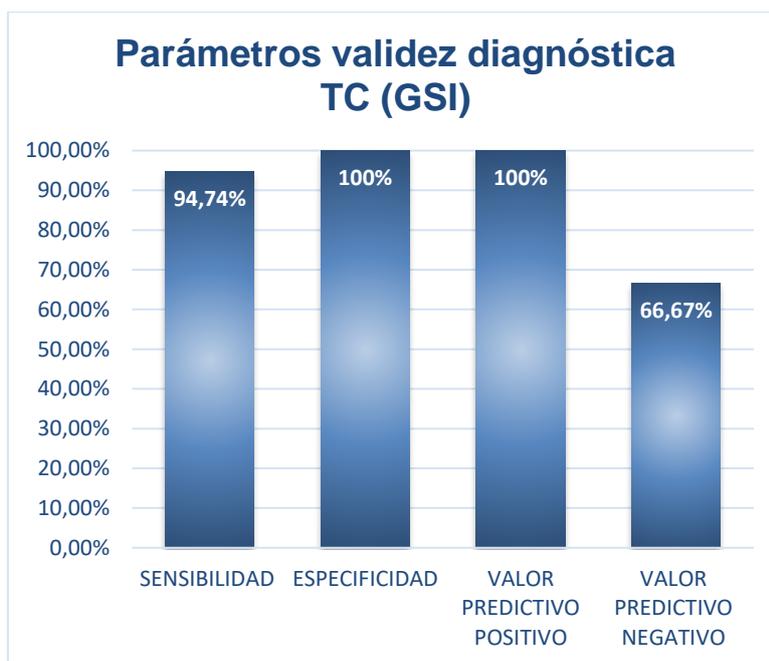


TABLA 8. Gráfico parámetros validez diagnóstica TC (GSI).

		% pérdida de altura	Cuantificación STIR	Cuantificación en GSI	Cuantificación normal STIR	Cuantificación normal GSI
N	Válidos	22	22	22	22	22
	Perdidos	0	0	0	0	0
	Media	42,68	210,7800	997,291	113,7114	946,177
	Mediana	41,00	185,3750	1003,500	109,0000	958,800
	Desv. típ.	17,184	137,35192	32,8829	78,99336	39,7319
	Mínimo	11	61,45	908,0	18,38	830,0
	Máximo	85	431,00	1046,0	220,00	985,0
Percentiles	25	29,50	76,5000	988,750	33,9975	948,000
	75	50,00	334,6000	1018,250	191,5000	966,250

TABLA 9. Análisis descriptivo de variables.

		Cuantificación STIR	Cuantificación normal STIR
Cuantificación STIR	Correlación de Pearson	1	,901
	Sig. (bilateral)		,000
	N	22	22
Cuantificación normal STIR	Correlación de Pearson	,901	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	22	22

TABLA 10. Correlaciones cuantificaciones ROI de RM (STIR).

		Cuantificación en GSI	Cuantificación normal GSI
Cuantificación en GSI	Correlación de Pearson	1	,390
	Sig. (bilateral)		,073
	N	22	22
Cuantificación normal GSI	Correlación de Pearson	,390	1
	Sig. (bilateral)	,073	
	N	22	22

TABLA 11. Correlaciones cuantificaciones ROI de TC (GSI).

ANEXO IV - ANÁLISIS RADIOLÓGICO

	DOSIS GSI	DOSIS NO GSI
PREDICCIÓN 3 NIVELES	209,7 DLP 	216,15 DLP 

TABLA 12. Ejemplo de la predicción de dosis que recibirá un paciente con el examen de 3 niveles vertebrales. **Imagen derecha:** dosis radiación al realizar el estudio GSI: 209,7 DLP. **Imagen izquierda:** predicción de dosis radiación al realizar el estudio convencional: 216,15 DLP

	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
A) Cuantificación	18	927	978	951.78	14.408
B) Cuantificación	18	1008	1070	1036.28	17.660
N válido	18				

TABLA 13. Estadísticos descriptivos Ventanas GSI.

ACUERDO INTEROBSERVADOR CONSIDERANDO EDEMA SI/NO

Concordancia entre dos observadores con dos o más categorías

- Nivel de confianza: 95,0%
- Número de categorías: 2

	SI	NO
SI	12	0
NO	2	3

TABLA 14. Clasificaciones 2 variables.

Acuerdo observado: 0,8824
Acuerdo esperado: 0,6332

Kappa	EE	IC (95,0%)	Estadístico Z	Valor p
0,6792	0,2018	0,2837 1,0000	2,9568	0,0031

ACUERDO INTEROBSERVADOR CONSIDERANDO EDEMA SI / NO / SIN DATOS/ NO CONCLUYENTE

Concordancia entre dos observadores con dos o más categorías

- Nivel de confianza: 95,0%
- Número de categorías: 4

	SI	NO	SIN DATOS	NO CONCLUYENTE
SI	12	0	0	0
NO	2	3	0	0
SIN DATOS	3	0	1	0
NO CONCLUYENTE	2	0	0	0

TABLA 15. Clasificaciones 4 variables.

Acuerdo observado: 0,6957
Acuerdo esperado: 0,4669

Kappa	EE	IC (95,0%)	Estadístico Z	Valor p
0,4291	0,1524	0,1304 0,7278	3,6066	0,0003

NUEVOS AVANCES EN TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA MEDIANTE ENERGÍA DUAL. ESTUDIO DE EDEMA ÓSEO.

Castell Herrera, Ana; Sánchez Lite, Israel; Toribio Calvo, Borja

Servicio de Radiodiagnóstico

INTRODUCCIÓN

Las **fracturas vertebrales** constituyen una patología frecuente cuya incidencia está en aumento. Además de las importantes consecuencias clínicas para los pacientes, constituyen un desafío a nivel socioeconómico.

Para su diagnóstico son necesarias las técnicas de imagen. La prueba de referencia para la valoración del edema óseo y así conocer el estadio evolutivo de la fractura, es la Resonancia Magnética (RM). En los últimos años se ha producido gran desarrollo de la Tomografía Computarizada de Energía Dual (TCDE) por su capacidad de diferenciar la composición de materiales.

OBJETIVOS

- Demostrar la **utilidad** de la TCDE en el diagnóstico de los pacientes con fracturas vertebrales.
- Comprobar la **validez** de la TCDE como alternativa útil en la detección de edema y en los casos de contraindicaciones a la RM.
- Establecer una **sistemática** de adquisición de los estudios de TCDE, postprocesado de las imágenes y lectura.

MATERIAL Y MÉTODOS

- **Estudio de validez diagnóstica** de la TCDE respecto a la RM en el estudio de las fracturas vertebrales. Valoración del edema óseo.
- Incluimos **18 pacientes** entre septiembre 2019 y marzo 2020 que acudían al servicio de urgencias del Hospital Clínico Universitario de Valladolid (HCUV) con diagnóstico de fractura vertebral.
- Se estudian variables demográficas, clínicas y radiológicas.
- Se realiza un procesado de las imágenes con la técnica GSI estableciendo una ventana óptima.
- **Doble lectura** de las imágenes tanto de TCDE como de RM por parte de dos radiólogos expertos.

RESULTADOS

Obtuvimos **18 pacientes**, media de **78 años**, obteniendo **22 vértebras** fracturadas en 94,4% por traumatismo de baja energía.

Prueba diagnóstica (TC)	Prueba de referencia (RM)		TOTAL
	EDEMA	NO EDEMA	
EDEMA	18 (85,7%)	0 (0%)	18
NO EDEMA	1 (4,8%)	2 (9,5%)	2
TOTAL	19	2	21

TABLA 1. Hallazgos del TC respecto la RM (Gold Standard).

Los valores óptimos de **ancho de ventana** para obtener una imagen válida se sitúan de media en torno a **951 (m)** y **1036 (M)**.

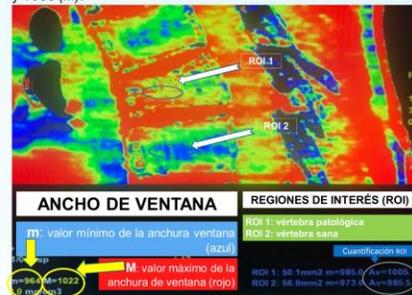
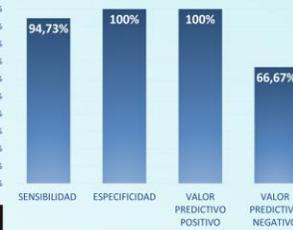


Gráfico 1. Parámetros validez diagnóstica TC (GSI)



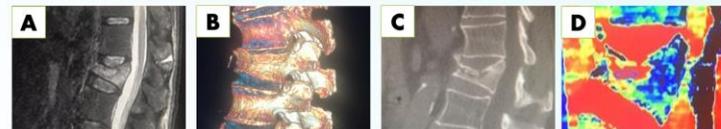
Considerando la RM como prueba de referencia, el análisis de **21 vértebras** válidas, el TCDE obtiene una **Sensibilidad** de un **94,74%**, **Especificidad** de **100%**, un **Valor Predictivo Positivo (VPP)** de **100%** y un **Valor Predictivo Negativo (VPN)** de **66,67%**.

El acuerdo interobservador teniendo en cuenta la presencia/ausencia de edema fue de un **88,24%** ($Kappa: 0,67$).

Edema (S/NO)	SI	NO
SI	12	0
NO	2	3

TABLA 2. Análisis cualitativo de la doble lectura por dos radiólogos.

Imagen 1. Explicación postprocesado imagen TC (GSI).



Imágenes A → D. Estudio de una fractura vertebral.

A) Proyección sagital del estudio de RM (secuencia STIR). Se aprecia el edema óseo con el aumento de intensidad de señal. B) y C) Estudio TCDE: imagen **volumétrica** y **sagital** respectivamente, donde se aprecia con detalle la fractura.

D) Imagen TCDE (GSI) en escala arcoiris. Comparación de materiales (agua con hidroxipatita). Podemos ver zonas de color rojo que representa el edema también visible en el estudio de RM, compatible con evolución aguda. **Círculo azul:** ROI colocado en la vértebra diana para cuantificar el edema.

DISCUSIÓN

En la actualidad solamente encontramos un estudio publicado de fracturas vertebrales mediante TCDE de fuente única como el utilizado en nuestro trabajo (1). Planteamos nuestro estudio con un **mayor número de pacientes** demostrando el potencial del TCDE con **mayor sensibilidad** y **misma especificidad**.

También hemos comprobado que la dosis de radiación del estudio espectral no es significativamente superior al TC convencional.

Sin precedentes en la literatura médica, describimos una **sistemática** en el **postprocesado** de las imágenes, con un rango de valores de anchura de ventana que nos permita obtener imágenes para poder visualizar el edema óseo con mayor calidad.

CONCLUSIONES

La TCDE es una técnica **útil** en la detección del edema óseo en las fracturas vertebrales presentando **elevada sensibilidad, especificidad** y **valor predictivo positivo** respecto a la prueba de referencia, la RM.

Para una **correcta adquisición de la imagen** consideramos necesario centrar el estudio en la vértebra diana y solo incluir una vértebra superior y otra inferior. De esta forma evitamos los artefactos y disminuimos las dosis de radiación.

En el postprocesado de las imágenes es importante **ajustar el rango de ventana** para obtener imágenes de calidad que permitan caracterizar el edema óseo.

La dosis de radiación no supone un inconveniente en la realización de la técnica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Diekhoff T, Hermann KG, Pumberger M, Hamm B, Pützler M, Fuchs M. Dual-energy CT virtual non-calcium technique for detection of bone marrow edema in patients with vertebral fractures: A prospective feasibility study on a single-source volume CT scanner. Eur J Radiol. 2017;87:59-65.