

TC ESPECTRAL EN ONCOLOGÍA

Isolina Herráiz Romero, Antonio Fernández-Moscoso López-Durán, Julia Oliva Lozano, Cristina García Espasa,
David Contreras Padilla, Juan Matías Bernabé García
Hospital General Universitario de Alicante Dr Balmis

OBJETIVO DOCENTE

- Analizamos las características de las imágenes de TC espectral posprocesadas, con énfasis en las potenciales aplicaciones oncológicas para representar y caracterizar lesiones, planificar el tratamiento y evaluar la efectividad de terapias.
-

REVISIÓN DEL TEMA

- Además de proporcionar imágenes similares a las obtenidas con TC convencional, la capacidad de descomponer materiales y extraer yodo ahora es posible con TC de energía dual.

CONSIDERACIONES TÉCNICAS

- *Principios de la TC de energía dual*
 - La TC depende de la atenuación de un haz de rayos X por el tejido biológico. La técnica de energía dual funciona bajo el principio de que los materiales se comportan de cierta manera cuando se exponen a diferentes energías de fotones de rayos X. Los fotones interactúan con los tejidos corporales mediante la dispersión Compton y el efecto fotoeléctrico, cuya cantidad relativa depende del número atómico (Z) del tejido y la energía de los fotones de rayos X incidentes.
-

REVISIÓN DEL TEMA

- La dispersión Compton afecta a las sustancias orgánicas con un número atómico bajo, mientras que el efecto fotoeléctrico afecta a las que tienen un número atómico más alto.
 - Para diferenciar entre materiales en la TC de energía dual, el tejido o el material de contraste dentro del área de interés debe tener propiedades espectrales (es decir, diferencias en la atenuación a diferentes energías de fotones). Los tejidos blandos, como el hígado, los riñones, el páncreas, los músculos y la grasa, están hechos de hidrógeno ($Z = 1$), carbono ($Z = 6$), nitrógeno ($Z = 7$) y oxígeno ($Z = 8$); tienen números atómicos similares; y no demuestran una diferencia apreciable en su atenuación de los haces de rayos X a diferentes energías.
-

REVISIÓN DEL TEMA

- El yodo ($Z = 53$) y el calcio ($Z = 20$) tienen un número atómico más alto y se atenúan predominantemente por efecto fotoeléctrico, una interacción que produce una mayor atenuación cuando se exponen a un haz de energía más baja (80-100 kVp), proporcionando así un contraste espectral con los tejidos corporales en la TC de energía dual. Los datos brutos derivados de la TC de energía dual pueden manipularse matemáticamente para generar conjuntos de datos postprocesados, que incluyen yodo específico del material, imágenes monocromáticas virtuales (VMC) y virtuales sin realzar (VSC). El término espectral se refiere a la frecuencia del fotón, que es proporcional a la energía del fotón y se expresa en miles de electronvoltios (keV).
-

REVISIÓN DEL TEMA

Adquisición de TC de energía dual

- En el sistema de TC de energía dual de fuente única, generalmente se generan cuatro conjuntos diferentes de imágenes. Estas imágenes incluyen una serie de 140 kVp que se asemeja a una serie de TC convencional, también conocida como serie de calidad; una serie VMC obtenida con cualquier nivel de energía de fotón individual entre 40 y 140 keV; y una serie de pares de bases específicos del material con material de atenuación baja (es decir, agua) y alta (es decir, yodo).
-

REVISIÓN DEL TEMA

Reconstrucción de imágenes por TC de energía dual

Imágenes extraídas con yodo

- En las adquisiciones de TC con contraste convencionales, las mediciones de atenuación tienen en cuenta tanto la atenuación tisular inherente como la captación del medio de contraste (yodo) por el tejido. En comparación con la TC convencional, la TC de energía dual ofrece más información. La TC de energía dual permite la descomposición del material y proporciona imágenes de yodo que mapean el contenido de yodo del tejido y, por lo tanto, proporcionan una medición más confiable del realce tisular. Las imágenes de sólo yodo pueden servir como un marcador sustituto para la captación del medio de contraste tisular y son independientes de la atenuación tisular inherente, lo que contribuye a las mediciones de atenuación de la TC. Otra ventaja es que las imágenes con yodo eliminan la necesidad de imágenes verdaderas sin realce para evaluar el realce tisular. Sin embargo, la obtención de imágenes en diferentes fases de realce (p. ej., arterial y venoso portal) sigue siendo necesaria para la caracterización de la lesión.
-

REVISIÓN DEL TEMA

- Las imágenes de yodo pueden visualizarse como una imagen cuantitativa en escala de grises o como un mapa superpuesto con código de colores que identifica la presencia de yodo en cada vóxel. Tanto la evaluación cualitativa como la cuantitativa del yodo proporcionan información indirecta sobre el entorno microvascular del tejido subyacente. En la TC de doble energía y una sola fuente, el yodo tisular se expresa en miligramos por mililitro.

Imágenes virtuales sin realce.

- Dado que se conoce el comportamiento del yodo a diferentes energías, se puede extraer yodo de una imagen para generar un conjunto de imágenes simuladas sin realce. Estas imágenes pueden servir como sustituto de las imágenes sin realce reales (SC) y eliminar la necesidad de conjuntos de datos sin realce separados.
 - Al igual que las imágenes de yodo, la cuantificación se mide en el campo de Unidades Hounsfield en el sistema de doble fuente y miligramos por mililitro en el sistema de fuente única.
-

REVISIÓN DEL TEMA

- Los estudios han confirmado que, a pesar de las preocupaciones sobre la textura de la imagen, estas imágenes simuladas pueden representar de forma fiable pequeños focos de calcio, grasa y hemorragia. Además de proporcionar información complementaria sobre la caracterización de las lesiones, también tienen el potencial de reducir la dosis de radiación y el tiempo de examen al eliminar la necesidad de imágenes reales sin realzar.

Imágenes monocromáticas virtuales

- El término haz policromático se refiere a un haz de rayos X de espectro completo, y el kilovoltaje pico representa el límite superior del espectro de energía. Existen otras energías entre los límites superior e inferior. Los fotones de baja energía son responsables de una cantidad desproporcionada de ruido y artefactos (p. ej., artefactos de endurecimiento del haz). Ambos escáneres CT de energía dual pueden generar imágenes monocromáticas virtuales (VMC) a partir de imágenes específicas del material mediante un algoritmo complejo.
-

REVISIÓN DEL TEMA

- Las imágenes VMC resultantes, que se posprocesan a partir de un conjunto de datos de energía dual, representan objetos como si se hubieran obtenido con un haz monocromático teórico, y la energía de rayos X se mide en kiloelectronvoltios (keV) en lugar de kilovoltaje pico (kVp). Estas imágenes de energía de fotón único proporcionan valores de atenuación más confiables que las imágenes CT policromáticas convencionales. En principio, las imágenes VMC tienen el potencial de reducir los artefactos de endurecimiento del haz, y se pueden generar imágenes con una energía específica (que oscila entre 40 y 140 keV). Los estudios han demostrado que, en general, las imágenes VMC muestran una mejora del contraste más sutil y tienen una atenuación mejorada que las imágenes policromáticas predeterminadas de la TC de energía única.
-

REVISIÓN DEL TEMA

- La energía VMC seleccionada debe centrarse en la tarea diagnóstica. En general, las imágenes VMC de baja energía proporcionan un mayor contraste entre las estructuras adyacentes debido a la mayor atenuación del haz por el yodo, pero presentan más ruido, especialmente en pacientes de mayor tamaño. Por otro lado, las imágenes VMC de alta energía ofrecen menor contraste y tienen menos ruido.
-

REVISIÓN DEL TEMA

- Las imágenes VMC generadas a 60-77 keV tienen una relación contraste-ruido (RCR) óptima para la evaluación de tejidos blandos, y las generadas a 50-55 keV son óptimas para evaluar vasos sanguíneos y representar flujo lento (p. ej., endofugas vasculares sutiles). Las imágenes VMC de alta energía también pueden reducir los artefactos causados por implantes metálicos; las energías monocromáticas óptimas oscilan entre 95 y 150 keV, dependiendo del tamaño y la composición del implante. Al obtener imágenes VMC a diferentes energías, se puede trazar una curva de atenuación espectral en función de la energía. Las características de dicha curva pueden utilizarse para mejorar la caracterización de la lesión. Por ejemplo, con el uso de curvas de atenuación, un tumor sólido con realce puede diferenciarse de un quiste renal hiperatenuante, que presenta una curva plana en todos los niveles de energía, mientras que la lesión con realce presenta valores de atenuación más altos a niveles de energía más bajos (**Fig. 1**). El uso de una imagen VMC de baja energía puede mejorar la relación contraste-ruido entre una lesión y el parénquima de fondo, incluso con una cantidad reducida de material de contraste, lo que puede reducir el riesgo de nefropatía inducida por material de contraste.



Figura 1: Carcinoma hepatocelular multicéntrico en una mujer de 58 años con cirrosis. (a) La imagen de TC con contraste en fase arterial muestra múltiples lesiones hipervasculares. (b) La imagen de TC ME de 40 KeV muestra mejor visibilidad de las lesiones. En fase portal (c) se manifiesta lavado de las lesiones que es más evidente en la imagen postprocesada de TC ME a 40 KeV (d).

REVISIÓN DEL TEMA

Aplicaciones oncológicas

Detección de lesiones

- El uso de imágenes de baja energía en la TC oncológica puede mejorar la detección de lesiones al mejorar el contraste entre una lesión hipervascular, una lesión hipovascular y un parénquima con realce normal. Los mapas específicos de yodo tienen el potencial de aumentar la representación y caracterización de neoplasias malignas hipoatenuantes al aumentar el contraste entre una lesión hipoatenuante y un parénquima con realce normal con base en las diferencias en el contenido de yodo tisular. Los mapas específicos de yodo representan y cuantifican el yodo en cada vóxel; por lo tanto, se puede detectar una pequeña cantidad de realce en una lesión. Otra aplicación potencial de los mapas específicos de yodo es la representación mejorada de nódulos con patrones de realce variables en pacientes con hígado cirrótico (**Fig. 2**).
-

METASTASIS HEPÁTICAS DE CA COLON, MEJOR DELIMITACION EN MONOE Y MAPA IODO



Figura 2: Metástasis hepáticas de carcinoma de colon en un paciente varón de 65 años. (a) En el TC convencional con contraste en fase portal se identifican múltiples lesiones hipocaptantes, las lesiones se delimitan e identifican mejor en TC ME a 40 KeV (b) y en el mapa de yodo (c).

REVISIÓN DEL TEMA

- Para la representación del carcinoma hepatocelular, el contraste tumor-hígado y la visibilidad de la lesión en las imágenes de TC son de vital importancia.
 - La TC de energía dual tiene el potencial de mejorar la representación del carcinoma hepatocelular o las lesiones metastásicas hipervasculares mediante el uso de imágenes VMC de baja energía, que proporcionan una mejor RCR. Otra aplicación de las imágenes de baja energía es la mejor identificación de pequeñas lesiones hipoatenuantes focales.
 - En pacientes con infiltración grasa del parénquima hepático, la representación de lesiones hipovasculares o hipoatenuadas, la detección de lesiones hepáticas metastásicas, puede ser difícil con la TC convencional.
-

REVISIÓN DEL TEMA

- Por ejemplo, en pacientes con lesiones hepáticas metastásicas sometidos a quimioterapia, la esteatosis hepática progresiva y el realce no homogéneo del parénquima hepático dificultan las imágenes de seguimiento. Hemos observado que las imágenes procesadas de baja energía proporcionan un contraste sustancialmente mayor entre las lesiones hepáticas hipovasculares y el parénquima hepático graso de fondo porque, en las imágenes de baja energía, las áreas con realce de contraste (yodo) tienen una atenuación mucho mayor y las áreas con tejido graso aparecen más oscuras, una característica que facilita la representación de lesiones hepáticas metastásicas en presencia de esteatosis hepática.
- En el caso de tumores pancreáticos pequeños isoatenuantes, que tienden a mezclarse con el parénquima normal y representan un desafío diagnóstico en la TC de energía única, el uso de imágenes de baja energía y específicas para el yodo puede mejorar la detección al aumentar la visibilidad del yodo y el contraste entre el tumor y el parénquima normal (Figs 3). De manera similar, una masa pancreática sospechosa puede descartarse con mayor confianza.
- Las imágenes de TC de energía dual de fuente única pueden mejorar la visibilidad de las masas pancreáticas isoatenuantes y mostrar pequeños tumores isoatenuantes que no se ven en las imágenes de TC convencional (Fig 4).
- En un estudio realizado en nuestro centro comparando resultados con la RM, El TCE mostraba las mismas lesiones sospechosas que la RM en un 89,7% de los casos

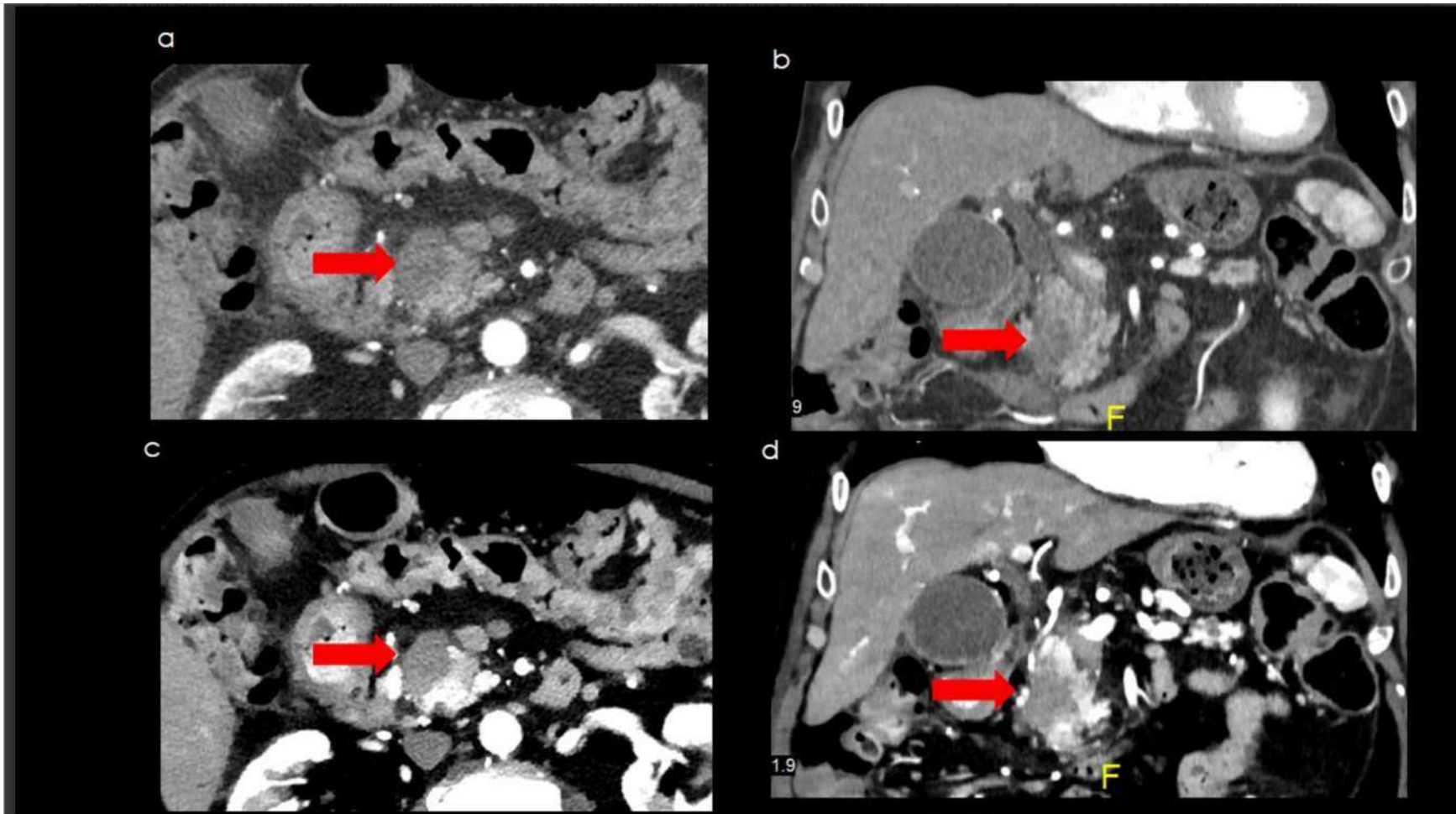
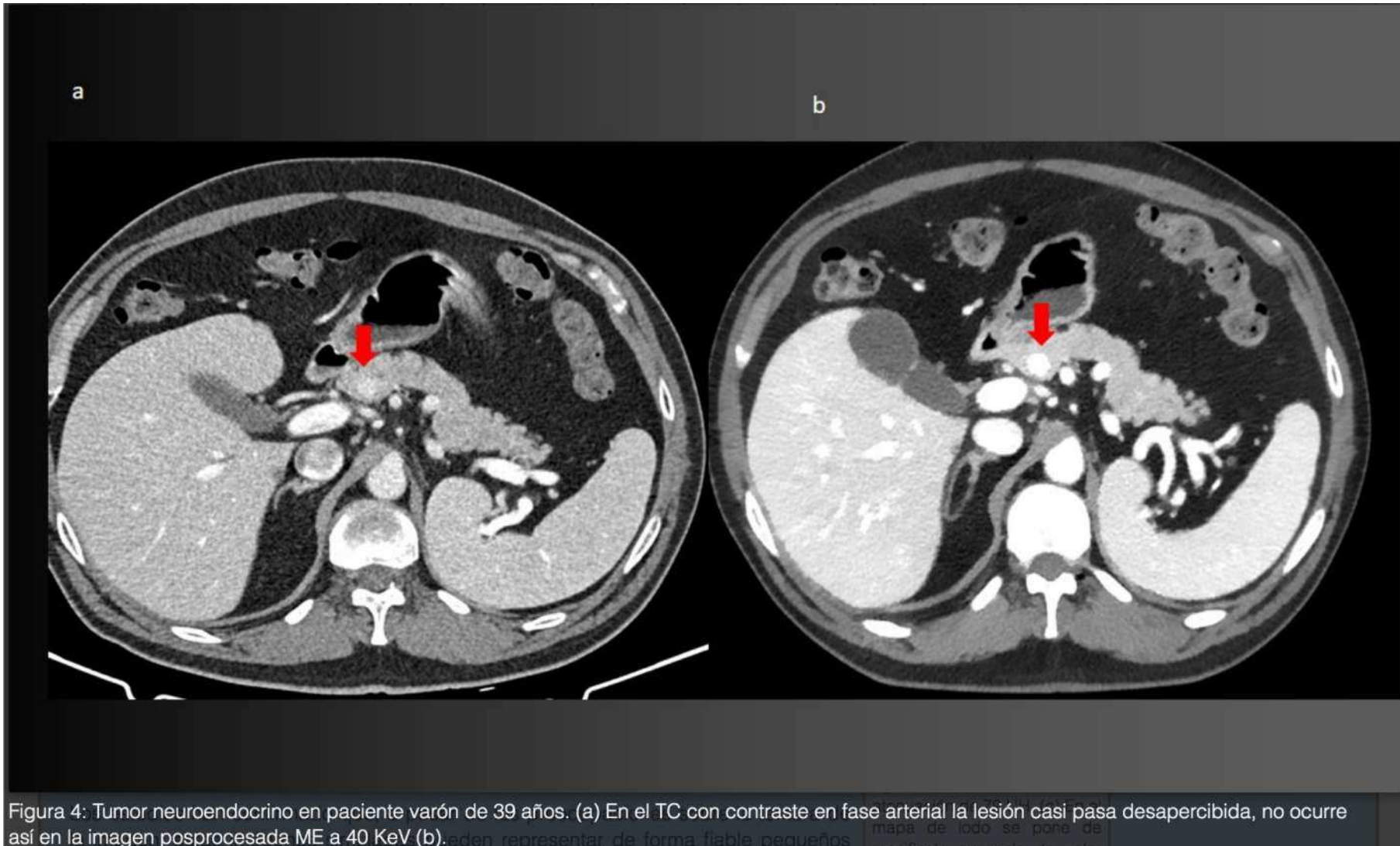


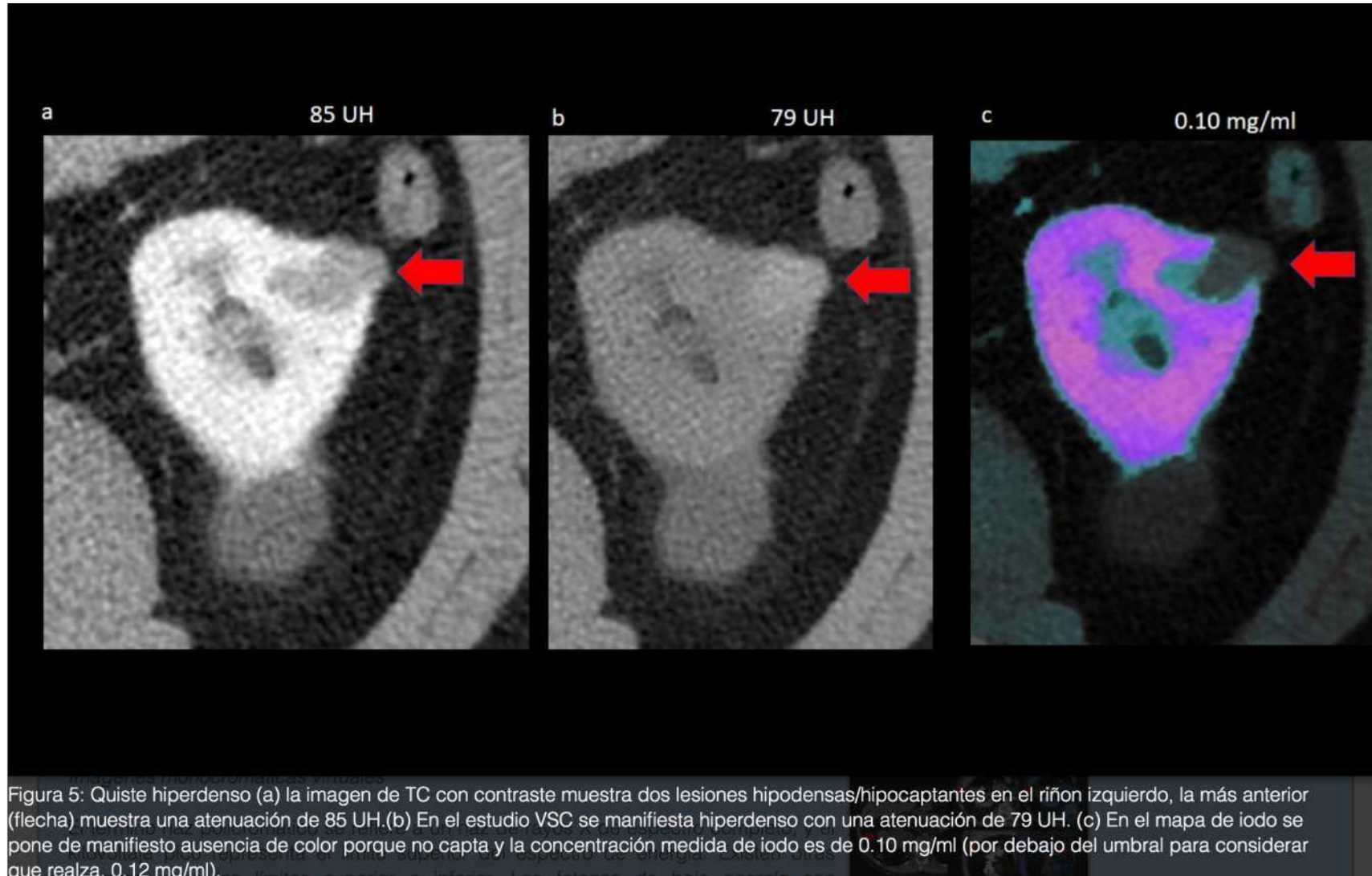
Figura 3: Masa en la cabeza del páncreas en un paciente varón de 81 años con ictericia indolora. La imagen de TC con contraste en fase arterial tardía (en plano axial (a) y coronal (b)) muestra aumento del tamaño focal de la cabeza con límites mal definidos (flechas rojas). (c y d) La imagen de TC de 40 KeV postprocesada muestra mejor contraste de la lesión-parénquima normal, con mejor delimitación del tumor y permite establecer de forma más precisa la relación con estructuras vasculares.



REVISIÓN DEL TEMA

Caracterización de la lesión

- La caracterización de la lesión es un objetivo clínico principal porque tanto las lesiones benignas como las malignas pueden coexistir en un paciente con cáncer conocido o sospechado. Además, las lesiones incidentales se encuentran con mayor frecuencia. Por ejemplo, se informa que alrededor del 60% de los carcinomas de células renales se encontraron incidentalmente en estudios de imágenes realizados para otras indicaciones. Aunque, en muchos casos, un quiste renal se puede diferenciar de manera confiable de una lesión renal con realce al comparar imágenes de TC de energía única sin realce con imágenes con realce, puede ser difícil diferenciar con seguridad una neoplasia pequeña o con realce mínimo de un quiste hiperatenuante. El uso de imágenes VSC y de yodo, que se posprocesan a partir de una adquisición de energía dual, puede ayudar a diferenciar las lesiones renales con realce de las lesiones sin realce. Los mapas específicos de yodo pueden demostrar yodo en los tejidos (es decir, una lesión sólida) o su ausencia (es decir, un quiste hiperatenuante) para ayudar a la caracterización de la lesión (Figs. 5 y 6). El realce también se puede cuantificar en lesiones sospechosas de malignidad.
-



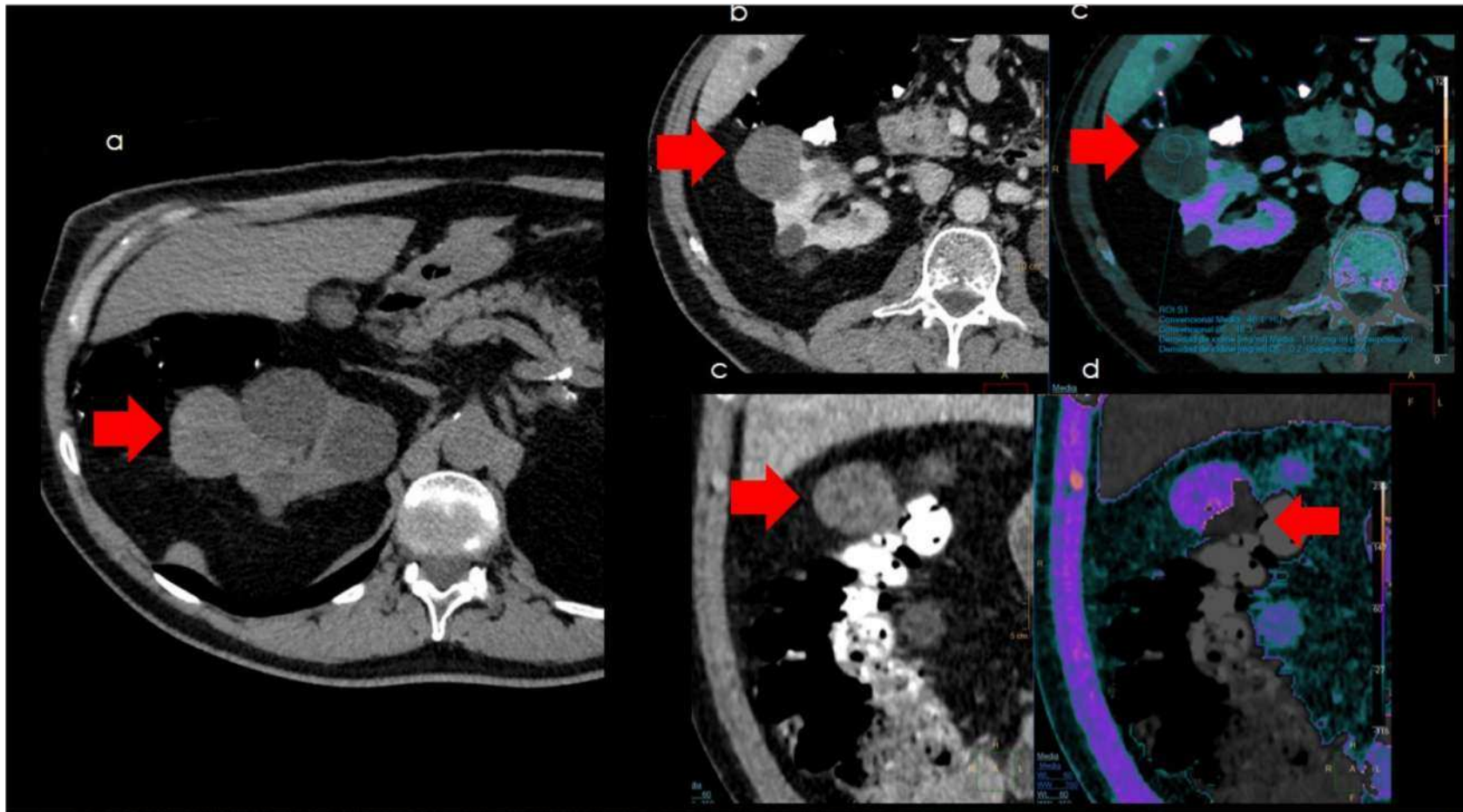


Figura 6: En estudio de ColonoCT para extensión de Adenocarcinoma de colon en paciente de 68 años se ve lesión hiperdensa en el riñón derecho en TC sin contraste (a). (b) En TC con contraste se identifica la lesión que presenta una diferencia de atenuación dudosa, menos de 20 UH. (c) en el mapa de iodo presenta una concentración de 1.17 mg/ml en algunas zonas (por debajo del umbral) y otras ligeramente mayores. (c) En plano coronal con contraste no se identifican áreas de realce distintas. (d) En el mismo plano, en el mapa de eliminación de iodo se pone de manifiesto área eliminada que se confirmó con ecografía con contraste como componente sólido, se caracterizó como quiste complejo categoría Bosniak IV.

REVISIÓN DEL TEMA

- Las imágenes VSC procesadas pueden proporcionar información complementaria sobre grasa, hemorragia y calcificación en una lesión. Los mapas de yodo también pueden ayudar a diferenciar un trombo anodino en la vena renal de un trombo tumoral al representar cualitativa y cuantitativamente el yodo en el trombo. El mismo principio puede utilizarse para caracterizar trombos intravasculares en otros órganos. De igual forma, los coágulos sanguíneos en el sistema colector renal pueden diferenciarse del carcinoma de células transicionales, que muestra realce de yodo.
 - Los nódulos suprarrenales encontrados incidentalmente también pueden caracterizarse con imágenes de VSC.
 - Del mismo modo, la caracterización de pequeñas lesiones hepáticas hipoatenuantes en el contexto de un posible tumor metastásico es deseable para las decisiones de tratamiento, pero a menudo es inadecuada en la TC de fase venosa portal con contraste. La evaluación de estas lesiones en la RM, la TC de seguimiento o la biopsia puede aumentar el coste del tratamiento, retrasar el tratamiento y causar ansiedad innecesaria a los pacientes. Con las adquisiciones de energía dual, la diferenciación entre quistes y pequeñas lesiones hepáticas metastásicas se logra con el uso de imágenes de yodo, en las que una lesión hepática realzada indica la presencia de yodo, mientras que un quiste permanece oscuro.
-

REVISIÓN DEL TEMA

- La TC de energía dual también puede ayudar a confirmar las características morfológicas y de realce de algunas lesiones pancreáticas hipoatenuantes, otra situación clínica desafiante (Fig. 3). En particular, las imágenes de yodo se pueden utilizar para diferenciar una masa pancreática que realza de una lesión quística. De manera similar, una pseudolesión, como un cambio graso focal enmascarado como una masa pancreática, se puede diagnosticar de manera confiable verificando la cantidad diferencial de yodo dentro de la lesión y la arquitectura pancreática alterada en comparación con el fondo. La presencia de grasa intralesional se puede verificar en imágenes VSC. La representación y caracterización mejoradas de las lesiones en la TC de energía dual posiblemente reduzcan la necesidad de estudios de imagen y biopsia adicionales y, lo que es más importante, mejoren el éxito de la TC multidetector para la detección y estadificación de tumores.
-

REVISIÓN DEL TEMA

Planificación del tratamiento

- El conocimiento de la extensión del tumor y su relación con las estructuras vasculares es importante para la planificación del tratamiento. Personalizar las terapias dirigidas a los órganos, definir los límites del tumor y cuantificar la carga tumoral y la viabilidad son necesarios para un tratamiento eficaz con riesgos mínimos. Los procedimientos introducidos recientemente, como la ablación por radiofrecuencia, la radioterapia dirigida, los fármacos dirigidos y la terapia intraarterial (p. ej., radioterapia interna selectiva [SIRT] y quimioembolización transarterial [TACE]), requieren una evaluación de imagen detallada antes de que puedan realizarse; los atributos de la TC de energía dual pueden aplicarse para cumplir con las expectativas oncológicas.
-

REVISIÓN DEL TEMA

- Las imágenes de baja energía y específicas del yodo tienen el potencial de definir los límites exactos del tumor al aumentar el contraste entre dos tejidos adyacentes (Fig. 3). El mismo principio se puede aplicar en pacientes con lesiones múltiples para determinar el número y el tamaño de las lesiones malignas, ambos pueden ser importantes para la planificación del tratamiento (p. ej., en pacientes con carcinoma hepatocelular, especialmente aquellos que son elegibles para el trasplante hepático). De manera similar, las imágenes de baja energía pueden mejorar la visibilidad del yodo en las estructuras vasculares y representar mejor la relación entre los vasos sanguíneos y el tumor. Por lo tanto, la TC de energía dual puede ser mejor para la estadificación del tumor y la planificación del tratamiento, especialmente las terapias guiadas por imágenes. Dado que las imágenes pueden adquirirse isótroicamente, las imágenes de proyección de máxima intensidad pueden reconstruirse a partir de la misma adquisición de energía dual, lo que proporciona una guía vascular para los cirujanos.
-

REVISIÓN DEL TEMA

- En nuestro centro hemos realizado un trabajo (expuesto en este Congreso) en el que demostramos, como se apunta en la bibliografía, que en el estudio de las neoplasias pancreáticas podemos ahorrar la fase pancreatográfica ya que el estudio en fase portal ME a 40 KeV permite delimitar el tumor y su relación con las estructuras de forma fiable.
 - Los mapas de yodo son útiles en la estadificación tumoral: mejoran la representación de la invasión tumoral local, la afectación de órganos adyacentes y las metástasis a distancia.
-

REVISIÓN DEL TEMA

- *Monitorización del tratamiento*
 -
 - La evaluación objetiva de la respuesta al tratamiento es importante para monitorizar los efectos de los medicamentos contra el cáncer y establecer un parámetro confiable con el cual comparar los resultados de los estudios de imagen tanto en el mismo paciente como en diferentes ensayos clínicos. El biomarcador de imagen debe ser cuantitativo, reproducible, fácilmente disponible, validado y fácil de aplicar en un entorno clínico para evaluar la respuesta al tratamiento. La evaluación temprana y precisa de la respuesta de los pacientes al tratamiento es fundamental en el tratamiento de pacientes con cáncer, y la imagen es una parte integral.
-

REVISIÓN DEL TEMA

- Los criterios de imagen establecidos y actualmente utilizados para la evaluación de la respuesta, incluidos los criterios de evaluación de respuesta en tumores sólidos (RECIST) y los criterios de respuesta de la Organización Mundial de la Salud (OMS), operan sobre la base de la medición del tamaño del tumor. Sin embargo, ahora es reconocido que mantener el mismo tamaño del tumor no implica que no haya habido respuesta al tratamiento; por lo tanto, los criterios convencionales pueden hacer que se subestime la respuesta al tratamiento. Los cambios en la respuesta a algunos fármacos pueden no ocurrir necesariamente en forma de dimensión tumoral alterada, sino más bien a un nivel funcional que antecede a cualquier cambio de tamaño. El desarrollo de nuevas terapias, como los fármacos antiangiogénicos, demuestra las limitaciones de estos criterios
 - Se reconoce cada vez más la importancia de medir la viabilidad del tumor, como con técnicas de imágenes de perfusión y difusión funcionales para evaluar la respuesta al tratamiento. La tomografía por emisión de positrones (PET) puede usarse para medir el metabolismo tumoral. Sin embargo, requiere una adquisición adicional, puede requerir un examen de imágenes adicional y tiene una resolución espacial deficiente.
-

REVISIÓN DEL TEMA

- La TC de energía dual resulta atractiva porque los mapas de yodo (que se crean con datos de la TC de energía dual) pueden utilizarse para evaluar y cuantificar la viabilidad tumoral. Las escalas de color de los mapas de yodo indican la cantidad de yodo presente en las lesiones. Si bien este enfoque requiere validación y estandarización, es prometedor y proporciona cobertura corporal completa en una sola adquisición.
 - En un estudio reciente, se observó que los mapas de yodo obtenidos inmediatamente después de la ablación por radiofrecuencia mostraron una mejor visibilidad de la lesión y homogeneidad interna de la zona de ablación, un beneficio adicional para evaluar los márgenes de seguridad después de la ablación por radiofrecuencia. Observamos que las imágenes de yodo son útiles después de la ablación por radiofrecuencia hepática y renal, tanto inmediatamente después del procedimiento como en los exámenes de seguimiento (Figs 7).
-

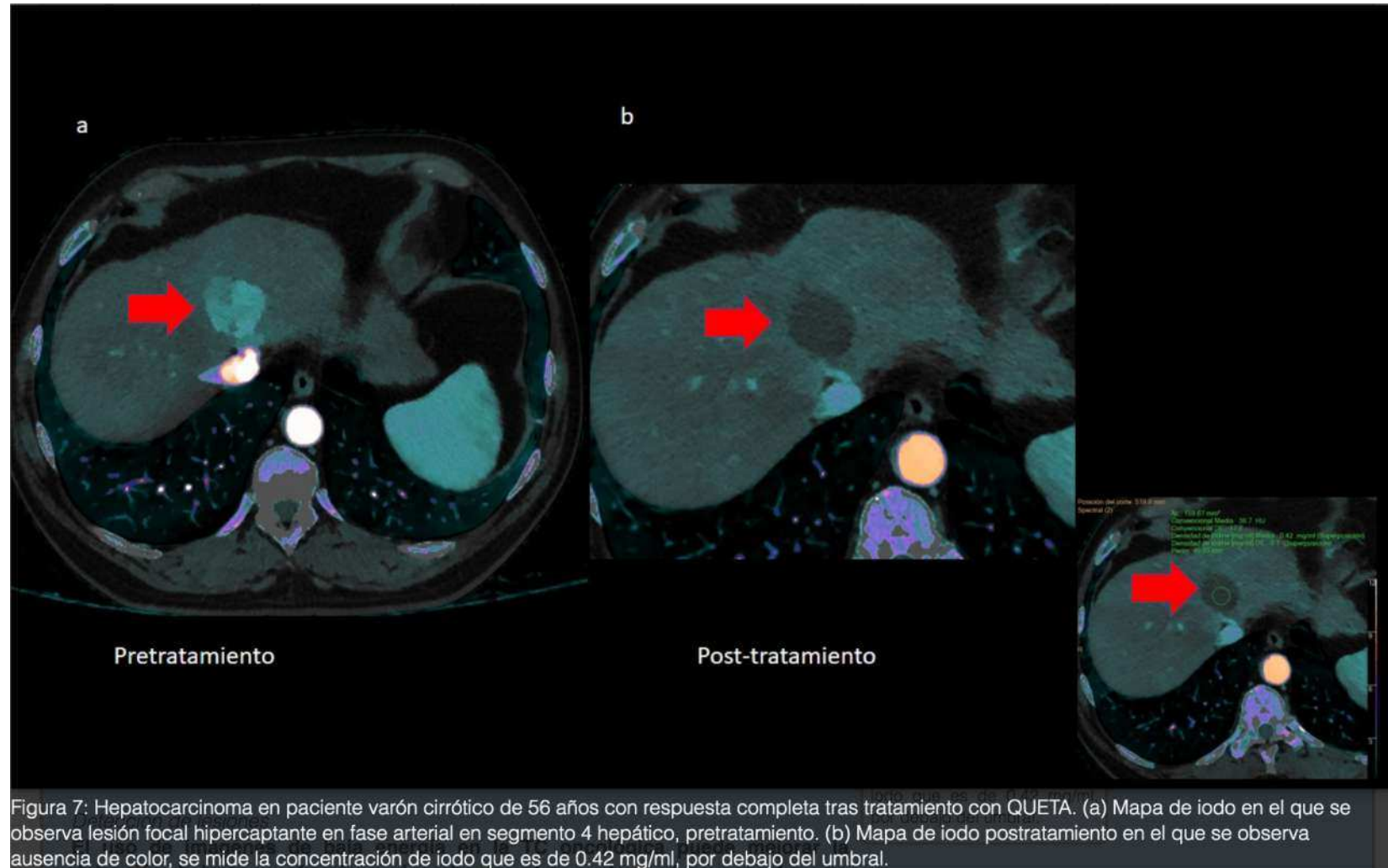


Figura 7: Hepatocarcinoma en paciente varón cirrótico de 56 años con respuesta completa tras tratamiento con QUETA. (a) Mapa de yodo en el que se observa lesión focal hipercaptante en fase arterial en segmento 4 hepático, pretratamiento. (b) Mapa de yodo postratamiento en el que se observa ausencia de color, se mide la concentración de yodo que es de 0.42 mg/ml, por debajo del umbral.

REVISIÓN DEL TEMA

- *Minimizar los riesgos del material de contraste en pacientes oncológicos*
 - La cantidad de material de contraste administrada a pacientes oncológicos que se someten a una TC, ya sea para una evaluación inicial o de seguimiento, es un problema reconocido en personas con función renal comprometida. En pacientes con cáncer, la edad avanzada y un alto número de factores de riesgo, como diabetes, hipertensión, hiperlipidemia y antecedentes de nefrectomía, aumentan la susceptibilidad a eventos renales adversos relacionados con el material de contraste. Por lo tanto, es deseable reducir la dosis de yodo o el volumen del material de contraste sin comprometer la calidad diagnóstica de las imágenes de TC abdominal. Las imágenes de baja energía (voltaje de kiloelectrones) generadas a partir de TC de energía dual ya permiten el uso de bajas dosis de yodo en la angiografía por TC torácica y abdominal.
 - En nuestro centro contamos con dos tablas diferentes en el cálculo de dosis de contraste para los distintos aparatos de TC (convencional y espectral).
-

REVISIÓN DEL TEMA

Desafíos del flujo de trabajo

- Las diferentes aplicaciones de las imágenes de TC de energía dual posprocesadas tienen el potencial de cambiar la forma en que se evalúan y monitorizan los pacientes oncológicos. Sin embargo, existen algunos desafíos del flujo de trabajo con esta nueva técnica, algunos de los cuales están relacionados con la disponibilidad y los costos de los escáneres de TC, otros de los cuales tienen que ver con el almacenamiento de datos y la necesidad de una estación de trabajo dedicada.
 - Familiarizarse con los nuevos tipos de imágenes posprocesadas también es un desafío tanto para los técnicos como para los médicos
-

CONCLUSIONES

- La TC de energía dual tiene aplicaciones potenciales en la representación, estadificación y seguimiento de tumores. La combinación de imágenes de baja energía y mapas de yodo puede permitir una mejor representación y caracterización de lesiones primarias y secundarias y es una herramienta adicional para monitorizar la respuesta al tratamiento.
-

REFERENCIAS

- **Zhang LJ**, Wu SY, Nance JW Jr, et al.
State-of-the-art dual-energy CT in abdominal oncology imaging. *Radiology*. 2021;299(1):28-45.
 - **Nagayama Y**, Nakaura T, Oda S, Utsunomiya D.
Dual-energy CT applications in abdominal tumors: technical principles and clinical impact. *Radiographics*. 2020;40(3):708-726.
 - **Marin D**, Nelson RC, Samei E.
Low-keV virtual monoenergetic imaging for improved tumor conspicuity at contrast-enhanced CT. *Radiology*. 2022;302(1):78-89.
 - **Albrecht MH**, Vogl TJ, Martin SS.
Clinical applications of spectral CT in oncologic imaging. *Eur Radiol*. 2023;33(5):3201-3215.
 - **McCollough CH**, Leng S, Yu L, et al.
Dual- and multi-energy CT: principles and oncologic applications. *Radiology*. 2020;295(3):654-672.
 - **Forghani R**, De Man B, Gupta R.
Dual-energy CT in head and neck and body oncology: lesion detection and characterization. *AJR Am J Roentgenol*. 2020;215(3):546-559.
 - **Sundin A**, Arnold R, Baudin E, et al.
ENETS 2022 guidance paper for imaging in neuroendocrine neoplasms. *Neuroendocrinology*. 2022;112(3):215-237.
 - **Gao Y**, Liu D, Zhang Z, et al.
Diagnostic value of low-keV monoenergetic images for detection of hypervascular abdominal tumors. *Eur Radiol*. 2021;31(5):3148-3157.
 - **Heye T**, Nelson RC, Ho LM, et al.
Iodine quantification using dual-energy CT: role in tumor response assessment. *Eur J Radiol*. 2021;139:109731.
 - **Rajiah P**.
Spectral CT: workflow challenges and future directions in oncologic imaging. *Radiographics*. 2024;44(2):e230089.
-