

TC espectral y su aplicación en EPOC y tromboembolismo pulmonar

Rafael Sanz Bernardo, Natalia Cadrecha Sánchez, Isabel Álvarez Muñiz, Pedro Noval Noval y
Juan Toranzo Murugarren

Hospital Universitario de Cabueñes, Gijón (Asturias)

Objetivo / Propósitos docentes

- Describir los patrones de perfusión pulmonar obtenidos mediante TC espectral.
 - Describir el valor funcional de la evaluación de la perfusión pulmonar con TC espectral en pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y tromboembolismo pulmonar (TEP).
 - Destacar la contribución diagnóstica y el posible valor pronóstico de la TC espectral en comparación con la TC convencional.
-

Revisión del tema y métodos

La TC espectral permite generar mapas de perfusión pulmonar basados en la distribución del yodo, que reflejan de forma indirecta el flujo sanguíneo pulmonar regional. Mediante la separación espectral del material de contraste, esta técnica proporciona información funcional que complementa la evaluación morfológica convencional. Los mapas cuantitativos de yodo, las imágenes de número atómico efectivo (Z-effective) y las reconstrucciones monoenergéticas permiten una evaluación cualitativa y cuantitativa de la perfusión pulmonar.

La evaluación funcional de la perfusión pulmonar es especialmente relevante en enfermedades en las que la afectación vascular desempeña un papel clave, como el tromboembolismo pulmonar y la EPOC. La angiografía por TC convencional muestra principalmente alteraciones anatómicas, mientras que la TC espectral aporta información hemodinámica que puede influir en el diagnóstico, la estratificación del riesgo y el seguimiento.

Este trabajo docente se basa en una revisión narrativa de la literatura y en casos ilustrativos adquiridos con sistemas de TC espectral. Los mapas de perfusión pulmonar se obtuvieron a partir de conjuntos de datos de distribución de yodo derivados de angiografía por TC con contraste. Los patrones de perfusión se analizaron de forma cualitativa y, cuando fue posible, de forma cuantitativa mediante mediciones de concentración de yodo y número atómico efectivo (Z-effective)

Hallazgos

Tromboembolismo pulmonar

Los mapas de perfusión pulmonar derivados de la distribución de yodo permiten visualizar directamente las alteraciones regionales de la perfusión. En el tromboembolismo pulmonar agudo, los defectos de perfusión lobares, segmentarios o subsegmentarios corresponden a oclusiones vasculares observadas en la angiografía por TC.

La TC espectral también puede facilitar la caracterización del trombo, ya que los mapas de yodo y las imágenes monoenergéticas de bajo keV pueden mejorar la visualización del trombo y ayudar a sugerir su cronicidad en función de los patrones de realce y de los cambios de perfusión asociados.

Además, la morfología del trombo en la angiografía por TC aporta información complementaria: los émbolos de localización central asociados a dilatación arterial suelen sugerir tromboembolismo pulmonar agudo, mientras que los trombos excéntricos adheridos a la pared vascular junto con la reducción del calibre del vaso orientan hacia enfermedad crónica.

La evaluación funcional mejora la detección de émbolos distales y permite identificar áreas de reperfusión parcial, proporcionando una estimación más precisa de la carga trombótica funcional que la evaluación morfológica aislada.

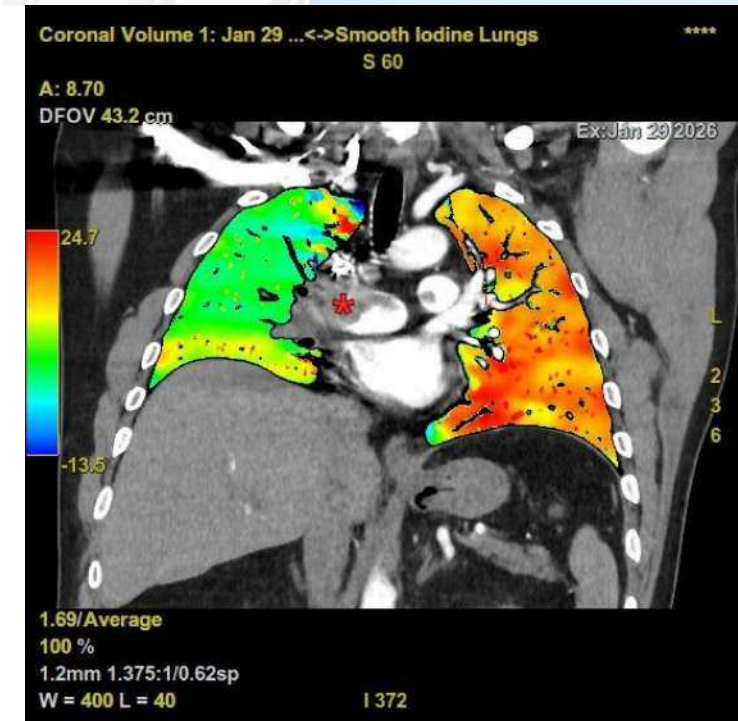
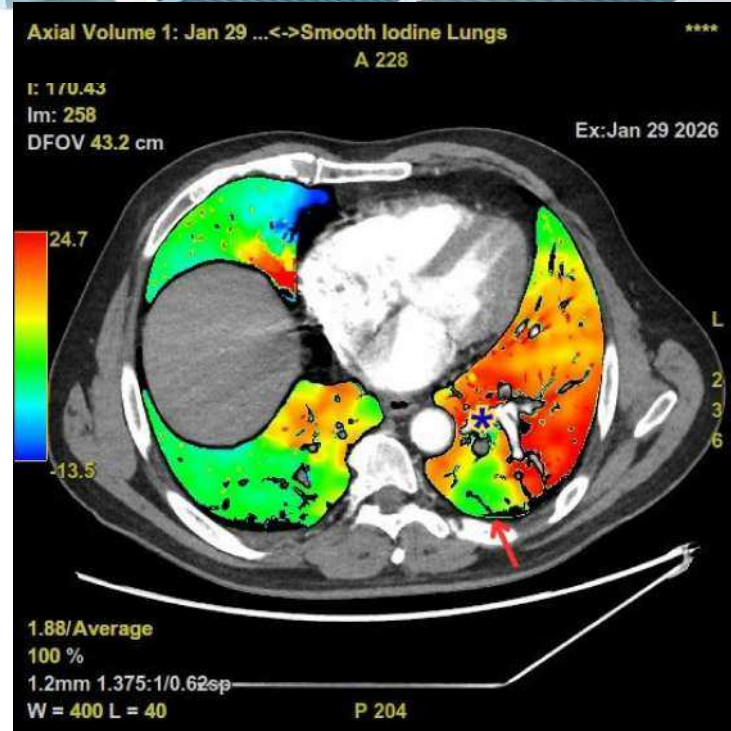
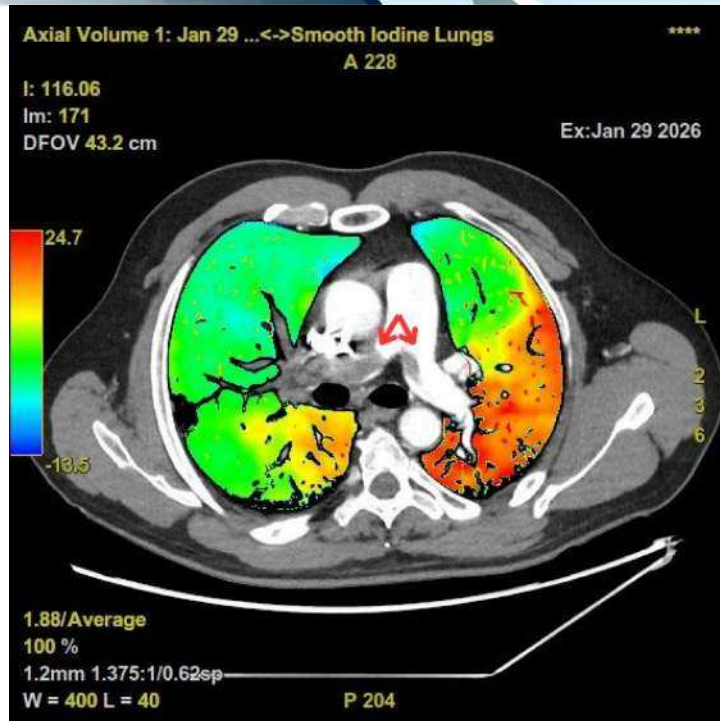


Fig 1-5. Tromboembolismo pulmonar.

Los mapas de perfusión de yodo mediante TC espectral muestran un embolo pulmonar lobar derecho y segmentario izquierdo con hipoperfusión regional asociada. La técnica de superposición permite la visualización simultánea del trombo intravascular y del defecto de perfusión correspondiente. Dado que los mapas de perfusión se representan con una escala de color automática y relativa, las áreas que parecen bien perfundidas deben interpretarse en relación con el pulmón contralateral y no como perfusión normal absoluta. El análisis cuantitativo mediante ROI confirma una reducción de la concentración de yodo en las regiones afectadas, destacando el valor añadido de la imagen funcional frente a la evaluación convencional en ventana pulmonar.

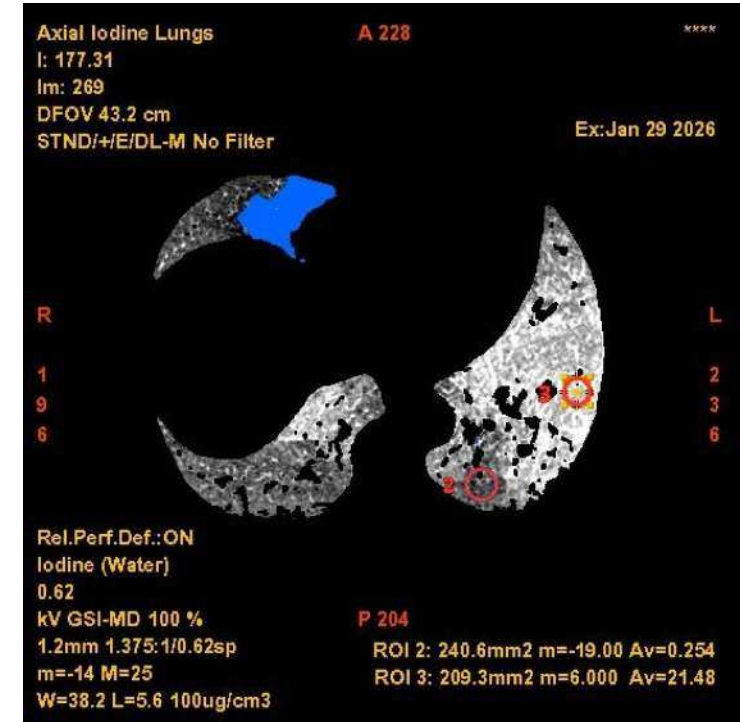
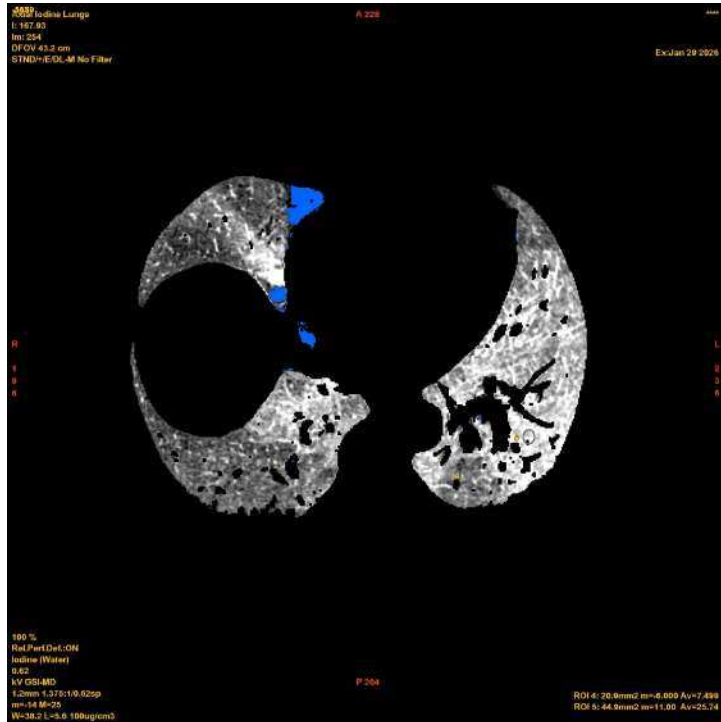


Fig 4-5 . Mapa de iodo axial.

Cuantificación de la concentración de yodo mediante dos regiones de interés (ROI). ROI 2: 0,26 $\mu\text{g/ml}$; ROI 3: 21,48 $\mu\text{g/ml}$. El análisis cuantitativo confirma la reducción de la concentración de yodo en las regiones pulmonares afectadas, destacando el valor añadido de la imagen funcional frente a la evaluación convencional en ventana pulmonar.

Enfermedad pulmonar obstructiva crónica

Patrón enfisematoso

En pacientes con EPOC predominantemente enfisematosa, los mapas de perfusión pulmonar en TC espectral muestran habitualmente hipoperfusión regional marcada que corresponde a áreas de destrucción parenquimatosa. Estos defectos reflejan la pérdida del lecho capilar pulmonar y contribuyen a una marcada heterogeneidad de la perfusión.

En el enfisema mixto, la reducción de la perfusión puede ser más intensa en las regiones enfisematosas paraseptales que en las áreas de enfisema centroacinar, lo que sugiere un mayor impacto funcional de la destrucción parenquimatosa subpleural.

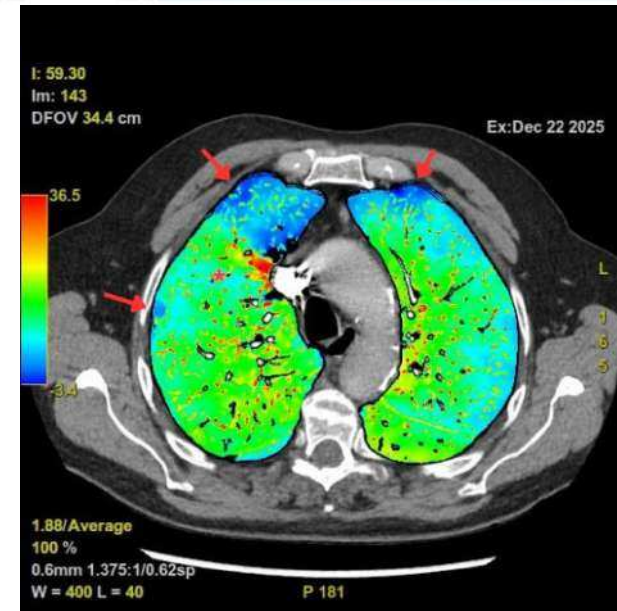
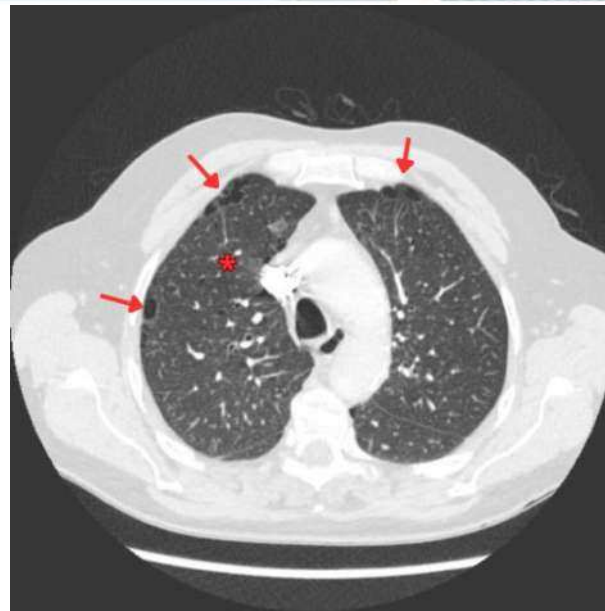


Fig. 6-9: EPOC enfisematosa (patrón mixto).

La TC coronal en ventana pulmonar muestra enfisema mixto con componentes centrolobulillares y paraseptales. TC axial en ventana pulmonar. Se observan áreas de enfisema centrolobulillar (*) y paraseptal (flechas). Mapa axial de perfusión de yodo mediante TC espectral. Muestra hipoperfusión marcada no segmentaria que afecta predominantemente a las regiones enfisematosas paraseptales (flechas), con una reducción de la perfusión relativamente menor en las áreas de enfisema centrolobulillar (*). La distribución no sigue un territorio vascular, siendo consistente con la pérdida del lecho capilar pulmonar secundaria al enfisema y sugiriendo un mayor impacto funcional de la destrucción parenquimatosa subpleural. Mapa coronal de perfusión de yodo mediante TC espectral. Confirma la distribución heterogénea de la perfusión pulmonar sin patrón territorial vascular, en relación con enfisema mixto.

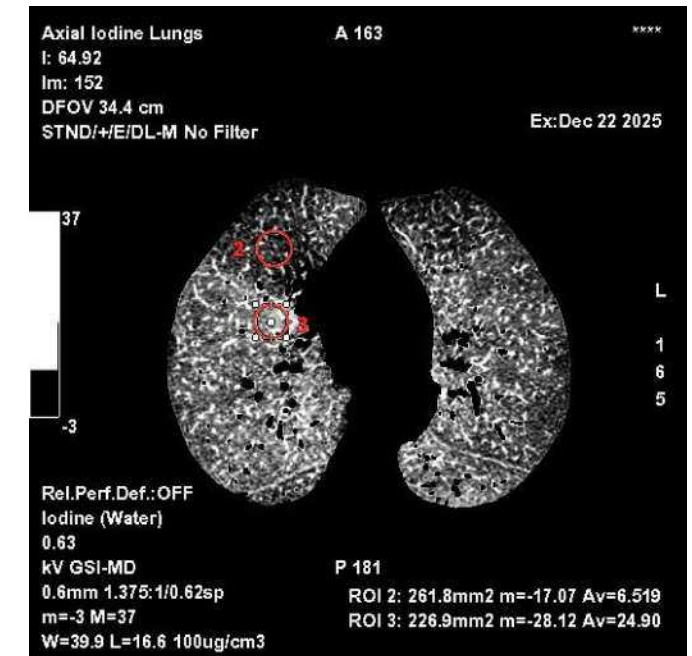
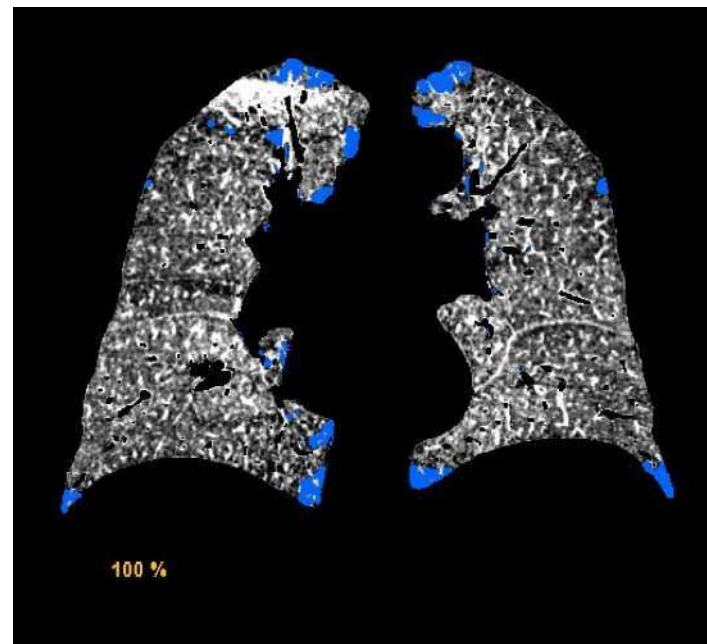
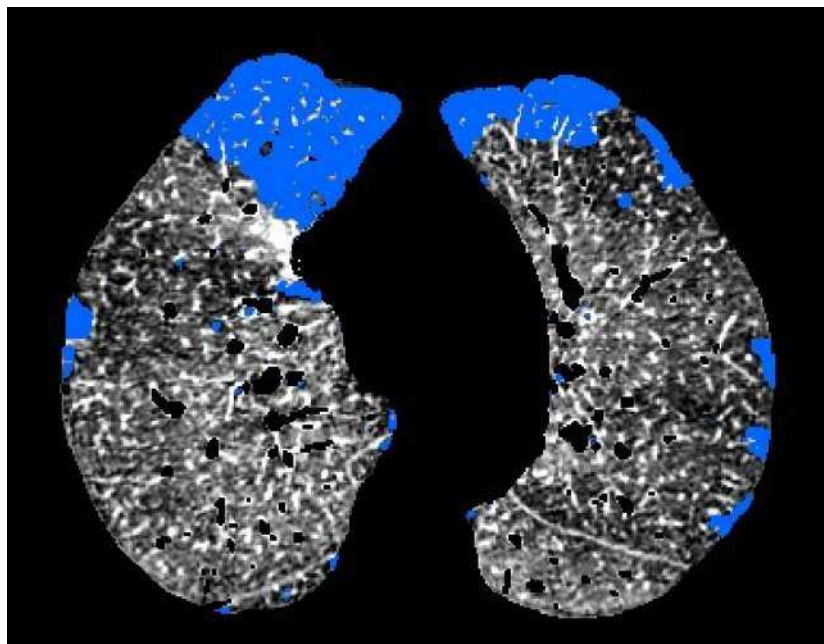


Fig. 10-12: Mapa axial de yodo con desajuste perfusional relativo. Destaca que los mapas de yodo pueden mostrar alteraciones funcionales de la perfusión de forma más sensible que los cambios morfológicos en la TC convencional en ventana pulmonar. Cuantificación del desajuste perfusional mediante ROI. Cuantificación mediante dos regiones de interés: ROI 2: 6,51 $\mu\text{g}/\text{ml}$; ROI 3: 24,9 $\mu\text{g}/\text{ml}$.

Enfermedad pulmonar obstructiva crónica

Patrón bronquítico

En pacientes con EPOC predominantemente enfisematosa, los mapas de perfusión pulmonar en TC espectral muestran habitualmente hipoperfusión regional marcada que corresponde a áreas de destrucción parenquimatosa. Estos defectos reflejan la pérdida del lecho capilar pulmonar y contribuyen a una marcada heterogeneidad de la perfusión.

En el enfisema mixto, la reducción de la perfusión puede ser más intensa en las regiones enfisematosas paraseptales que en las áreas de enfisema centroacinar, lo que sugiere un mayor impacto funcional de la destrucción parenquimatosa subpleural.

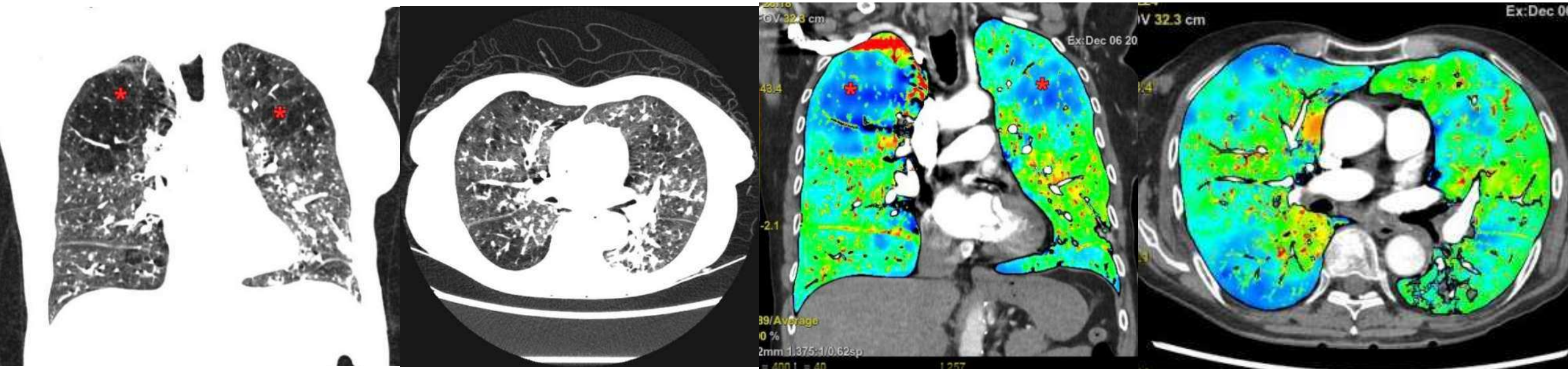


Fig 13-16. EPOC enfisematosa (patrón centroacinar). La TC en coronal y axial con ventana pulmonar muestra enfisema predominantemente centroacinar con predominio en lóbulos superiores (*). Mapa coronal y axial de perfusión de yodo. El mapa de perfusión de yodo coronal mediante TC espectral muestra hipoperfusión heterogénea no segmentaria (*) que coincide con áreas de destrucción parenquimatosa centroacinar. Mapa axial de perfusión de yodo. Confirma reducción regional de la perfusión sin distribución territorial vascular, reflejando pérdida del lecho capilar pulmonar asociada al enfisema.

Enfermedad pulmonar obstructiva crónica

Enfermedad pulmonar mixta

En los casos de coexistencia de tromboembolismo pulmonar y EPOC, la TC espectral puede mostrar alteraciones de perfusión superpuestas. Los defectos segmentarios debidos a oclusión embólica pueden coexistir con hipoperfusión difusa en mosaico relacionada con enfermedad pulmonar crónica, ilustrando desajustes ventilación-perfusión en patología mixta.

Esta evaluación integrada mejora la interpretación en escenarios clínicos complejos.

Análisis cuantitativo de la perfusión

El análisis cuantitativo de la concentración de yodo y del número atómico efectivo (Z-effective) permite una evaluación objetiva de la perfusión pulmonar regional.

Estos parámetros cuantitativos podrían ser útiles para el seguimiento longitudinal y la estratificación pronóstica, representando un paso hacia la imagen pulmonar funcional cuantitativa.

Conclusión

La TC espectral proporciona una evaluación funcional complementaria de la perfusión pulmonar al integrar información morfológica y hemodinámica en una única exploración.

Tanto en la EPOC como en el tromboembolismo pulmonar, la TC espectral añade información funcional a la TC convencional al mejorar la evaluación de la perfusión y contribuir a la estratificación del riesgo.

Entre las limitaciones de este trabajo se incluyen su naturaleza narrativa y basada en casos ilustrativos, así como el uso de escalas de color relativas en los mapas de perfusión de yodo, lo que puede influir en la interpretación visual. Por ello, la valoración cualitativa debe complementarse con evaluación cuantitativa mediante mediciones de concentración de yodo o análisis con regiones de interés (ROI) para asegurar una identificación precisa de las verdaderas alteraciones de perfusión.

Bibliografía

1. Pontana F, Faivre JB, Remy-Jardin M, et al. Lung perfusion with dual-energy CT: assessment in patients with pulmonary embolism and chronic obstructive pulmonary disease. *Eur Radiol.* 2012;22:1760–1770.
 2. Meinel FG, Graute V, Nikolaou K, et al. Quantitative lung perfusion with dual-energy CT: diagnostic value of iodine maps. *Radiology.* 2014;272:499–506.
 3. Thieme SF, Graute V, Nikolaou K, et al. Dual-energy CT for the assessment of lung perfusion in pulmonary embolism. *Eur Radiol.* 2012;22:190–198.
 4. Apfaltrer P, Meyer M, Robinson S, et al. Detection of pulmonary embolism using iodine maps derived from dual-energy CT. *AJR Am J Roentgenol.* 2012;198:W630–W636.
 5. Kirby M, Tanabe N, Tan WC, et al. Pulmonary vascular changes in COPD assessed using quantitative CT imaging. *Radiology.* 2013;268:234–242.
 6. Chae EJ, Seo JB, Lee J, et al. Quantitative assessment of regional lung perfusion using dual-energy CT iodine mapping. *Eur Radiol.* 2014;24:125–134.
-