

Tomografía de perfusión pulmonar (SPECT) en Neumología

XAVIER SOLER TOMAS

Pulmonary and Critical Care Medicine Division
University of California San Diego
9300 Campus Point Dr. M/C 0804
La Jolla, CA, 92037-0804
USA

e-mail: xsoler@ucsd.edu

RESUMEN

El tromboembolismo pulmonar (TEP) es una de las causas más frecuentes de muerte de origen vascular. Sin embargo, su diagnóstico es difícil debido a la falta de una sintomatología específica. La gammagrafía de perfusión es una prueba de medicina nuclear que evalúa los defectos de perfusión pulmonar ante un paciente con sospecha de TEP. Dichos defectos de perfusión son una medida indirecta del bloqueo vascular pulmonar secundario a la presencia de trombos en su interior. A pesar de estar tecnológicamente superada por el SPECT, acrónimo de *Single Photon Emission Computerized Tomography*, la técnica en modo planar o bidimensional es la más utilizada, relegando al SPECT pulmonar a estudios de investigación clínica. Sin embargo, el SPECT permite evaluar la perfusión en todo el arco del espacio y permite la reconstrucción tridimensional así como la cuantificación de la perfusión. Se ha demostrado su utilidad en el TEP agudo y recientemente en el TEP crónico. Sin duda, el uso del SPECT se irá incorporando progresivamente a otras situaciones clínicas para las que en la actualidad se usa la gammagrafía planar. El presente artículo analiza el papel del SPECT pulmonar en el TEP y también su posible aplicación en otras áreas de la neumología.

PALABRAS CLAVE: SPECT pulmonar, gammagrafía de perfusión, enfermedad tromboembólica venosa, tromboembolismo pulmonar.

FUENTES DE FINANCIACIÓN: Parcialmente por la Sociedad Española de Neumología y Cirugía Torácica (SEPAR) y Fundació Catalana de Pneumologia (FUCAP).

El problema de la enfermedad tromboembólica

La enfermedad tromboembólica venosa (ETV) comprende la trombosis venosa profunda (TVP) y el TEP, siendo la tercera causa más frecuente de enfermedad vascular tras la cardiopatía isquémica y el accidente vascular cerebral. En un 50-80% de los casos, la ETV se asocia a factores de riesgo conocidos como la edad avanzada, la cirugía reciente,

cáncer, trombofilias, episodios embólicos previos y la hospitalización.^{1,3}

El TEP es una entidad frecuente con una elevada mortalidad. Hasta el 40% de los pacientes con TVP pueden evolucionar a TEP, cuya mortalidad a los 3 meses del episodio agudo es de hasta un 17% y su recurrencia estimada es del 20% durante los 5 años siguientes al episodio. En Estados Unidos existen más de 600.000 hospitalizaciones por año por TVP y el número de muertes anuales atribuidas a TEP



oscila entre 60.000 y 200.000. Ello equivale a las muertes por SIDA, cáncer de mama y accidentes de tráfico juntos². La incidencia de la ETV varía entre 56/100.000 y 182/100.000¹, y aumenta de forma exponencial por encima de los 60 años de edad.^{3,4} Existen pocos datos epidemiológicos en España, ya que normalmente se extrapolan cifras de otros países, pero podrían estimarse en 65.000 casos/año de ETV y en unos 25.000 casos/año de TEP declarados en el Sistema Nacional de Salud.⁵ La ETV cursa de forma asintomática en muchas ocasiones. Se estima que sólo se diagnostican un 1% de los episodios de TVP y me-

nos de un tercio de los TEP, por lo que la frecuencia real de la ETV podría ser mayor.

La hipertensión pulmonar secundaria al tromboembolismo crónico (CTEPH) se entiende como una extensión de la historia natural del TEP y puede ocurrir entre el 3 y el 4% de pacientes después de un episodio agudo tromboembólico.⁶ La CTEPH se caracteriza por la persistencia de un trombo no resuelto en el árbol arterial vascular pulmonar que provoca una disminución o la completa obstrucción de los vasos pulmonares. Ello provoca la aparición de remodelado vascular y de tejido fibrótico que incrementa las resistencias vasculares periféricas y como consecuencia el desarrollo de disfunción ventricular derecha, motivo habitual de muerte en éstos pacientes.⁷ Sin tratamiento la enfermedad es progresiva y a menudo fatal, siendo la resección quirúrgica del molde trombótico mediante tromboendarterectomía pulmonar (PTE) el único tratamiento eficaz⁸.

Por todo ello, la presencia de émbolos en el árbol vascular pulmonar es una condición clínica muy grave que, unida a la poca especificidad de sus síntomas, ocasiona grandes dificultades de diagnóstico. La mejora en técnicas de imagen para su correcto diagnóstico y evaluación tiene una gran relevancia.^{6,9}

Medicina nuclear para la evaluación de la perfusión pulmonar

La circulación arterial pulmonar sigue un trayecto paralelo al árbol bronquial desde los bronquios principales hasta las unidades alveolares. Cada alveolo es irrigado por una arteriola pulmonar terminal. Así pues, el bloqueo de la perfusión por un TEP provoca un déficit de perfusión en el parénquima pulmonar distal a la oclusión que puede evaluarse mediante la gammagrafía de perfusión. El ra-

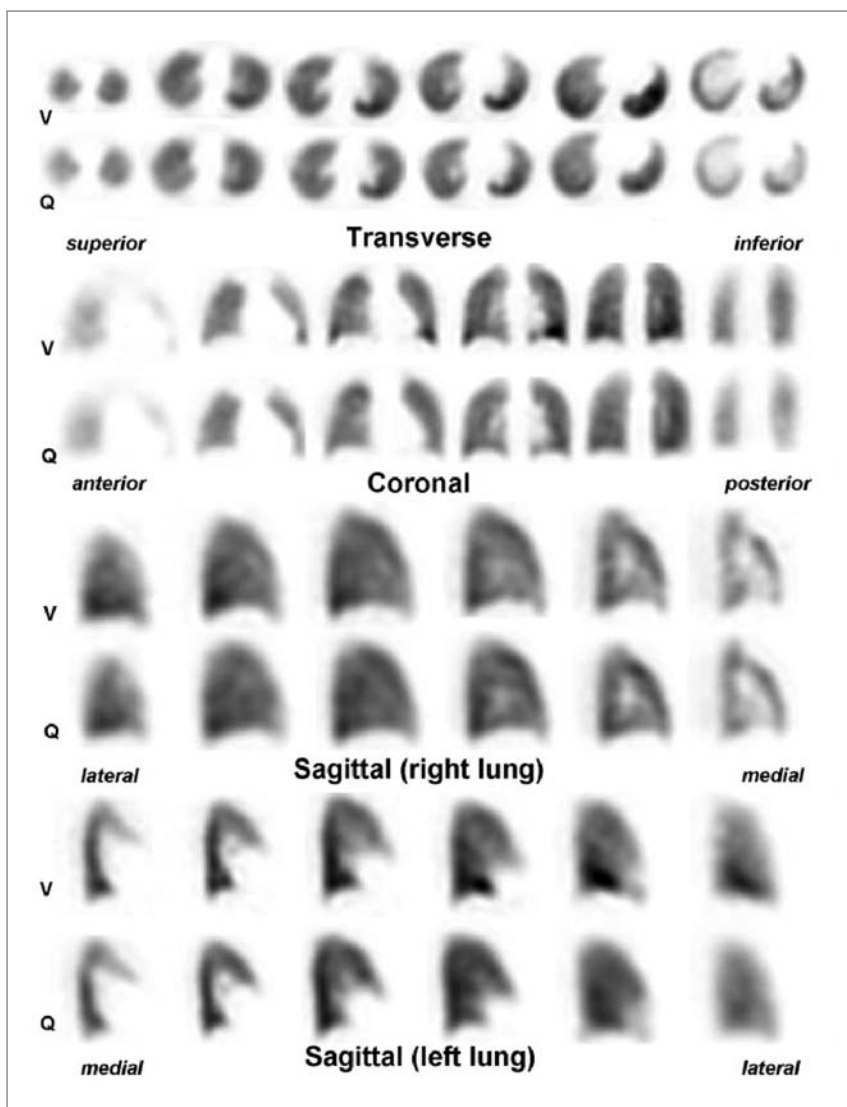


FIGURA 1. Ejemplo de un SPECT pulmonar normal. Las imágenes de ventilación y perfusión (usando Technegas para la ventilación y ^{99m}Tc-MAA para el estudio de la perfusión) son presentadas alineadas y en los planos transverso, coronal y sagital. V: Ventilación; Q: Perfusión. Reproducido con permiso de Roth et al. 2008

diisótopo o trazador nuclear utilizado para la evaluación de la perfusión pulmonar es el tecnecio unido a macro-agregados de albúmina ($^{99}\text{TC-MAA}$). El mecanismo de acción del $^{99}\text{TC-MAA}$ es crear de manera temporal "micro-émbolos" a nivel capilar pulmonar ya que las partículas mayores de $>10\ \mu\text{m}$ de diámetro quedan atrapadas en la circulación capilar en un efecto de primer paso.¹⁰⁻¹² El número de microembolismos causados por los $^{99}\text{TC-MAA}$ depende del número de partículas inyectadas y del número de arteriolas y capilares presentes, es decir, del flujo sanguíneo de cada segmento o subsegmento pulmonar. En sujetos adultos se aconseja inyectar al menos 100.000 partículas radiactivas y no más de 700.000 ya que podría ocasionar un exceso en el bloqueo capilar y una alteración hemodinámica secundaria.^{12,13} El tamaño ideal de las partículas es entre $25-60\ \mu\text{m}$. Partículas más pequeñas se degradan muy rápidamente y las mayores de $60\ \mu\text{m}$ de diámetro pueden bloquear el árbol capilar pulmonar en zonas más proximales de la circulación pulmonar y también causar alteraciones hemodinámicas.¹² Siguiendo a dicha acumulación en los pulmones (98% en 1-2 min.), los $^{99}\text{TC-MAA}$ son mecánica y enzimáticamente degradados en el pulmón en las 2 a 4 horas siguientes a su inyección, para después ser fagocitados en el hígado y en el bazo. La gammagrafía de perfusión detecta las partículas acumuladas antes de su degradación, por lo que en pacientes con perfusión normal la imagen tendrá una distribución homogénea y bilateral del trazador (Figura 1) a diferencia de la imagen compatible con un defecto de perfusión, que mostrará una ausencia de trazador radiactivo en el segmento o subsegmentos pulmonares afectados. (Figura 2).

Dos contraindicaciones relativas en los estudios de perfusión son la presencia de hipertensión pulmonar grave (HTAP) y pacientes con reconocido *shunt* o comunicación derecha-izquierda.¹³ En el caso de la HTAP por tratarse de un paciente con disminución de la reserva circulatoria y un lecho vascular pulmonar con resistencias elevadas. En los pacientes con un *shunt* derecha-izquierda, para evitar el trasvase y posterior impacto de partículas

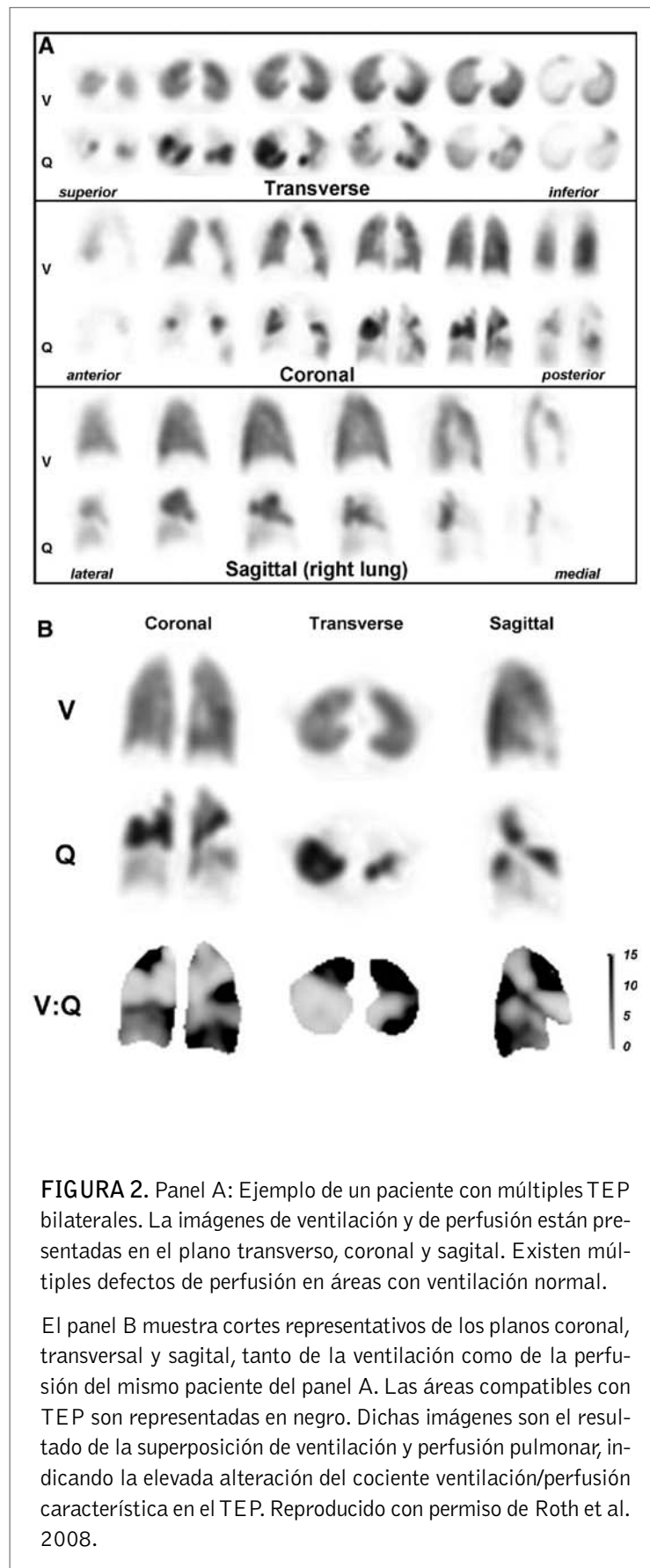
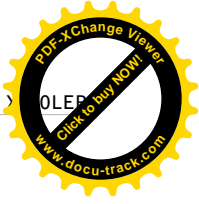
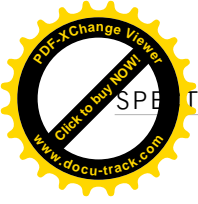


FIGURA 2. Panel A: Ejemplo de un paciente con múltiples TEP bilaterales. Las imágenes de ventilación y de perfusión están presentadas en el plano transverso, coronal y sagital. Existen múltiples defectos de perfusión en áreas con ventilación normal.

El panel B muestra cortes representativos de los planos coronal, transversal y sagital, tanto de la ventilación como de la perfusión del mismo paciente del panel A. Las áreas compatibles con TEP son representadas en negro. Dichas imágenes son el resultado de la superposición de ventilación y perfusión pulmonar, indicando la elevada alteración del cociente ventilación/perfusión característica en el TEP. Reproducido con permiso de Roth et al. 2008.



de material radiactivo en la circulación cerebral o coronaria que pueda desencadenar un accidente vascular cerebral iatrogénico. En ambos casos, la reducción de la cantidad de partículas inyectadas (por ejemplo 60-100.000 partículas) permite un margen razonable de seguridad.¹³

El estudio de la ventilación pulmonar, aunque no imprescindible en la evaluación de enfermedades con defectos en la perfusión puede ser útil en el proceso diagnóstico, ya que en este caso la ventilación tendría que estar conservada si el paciente no está afectado de enfermedad que afecte la vía aérea. El ¹³³Xenon es uno de los trazadores usados para el estudio de la ventilación. Este aerosol es lavado rápidamente del pulmón por lo que no interfiere en el estudio de perfusión posterior. Una de las limitaciones más importantes del uso de ¹³³Xenon es que sólo se puede realizar una proyección (usualmente la posterior) por su corta vida media. Ello comporta que pueda existir alguna área mal ventilada insuficientemente evaluada y dificultar así la interpretación de la prueba.¹³ Los aerosoles marcados con Tecnecio que utilizan el *diethyl-triamin-pentaacetic-acid* (^{99m}Tc-DTPA) como vehículo permiten una mejor evaluación de la ventilación pulmonar al permanecer más tiempo depositados en la vía aérea y permitir la adquisición de imágenes en diferentes proyecciones.¹³ El ^{99m}Tc-DTPA tiene otras ventajas respecto al ¹³³Xenon. Entre ellas destacan la elevada energía de imagen que desprende el radioisótopo, lo que hace innecesaria una franca colaboración del paciente para su administración, la mayor disponibilidad del radioisótopo en cualquier laboratorio de medicina nuclear y que se puede administrar en habitaciones independientes minutos antes de la prueba. Su principal inconveniente es que puede interferir en el estudio de perfusión posterior por su mayor vida media, afectando sobre todo la evaluación de pacientes con CTEPH en los que la afectación de la perfusión suele ser central y puede coincidir con lugares donde el ^{99m}Tc-DTPA se acumula, tales como la tráquea y los bronquios principales.¹²

A pesar de que las técnicas de medicina nuclear encaminadas a evaluar la perfusión pulmonar y por tanto la presencia de trombos en el lecho vascular se utilizan desde hace más de 30 años, tienen reconocidas limitaciones.¹⁴ Cuando los pulmones son evaluados en dos dimensiones, como ocurre con la gammagrafía convencional existe una superposición de los segmentos pulmonares, disminuyendo la probabilidad de una valoración adecuada de los segmentos

afectados. Los defectos de perfusión pueden no ser detectados si existen sombras que provienen de segmentos en el mismo plano con una perfusión normal.¹⁵ También se han descrito limitaciones derivadas de los criterios para la interpretación de los defectos de perfusión detectados con gammagrafía convencional.¹⁴

El diagnóstico del embolismo pulmonar no es una situación en la que el médico clínico agradezca informes con diagnóstico "indeterminado" como resultado.¹⁴ Para incrementar el valor diagnóstico de la gammagrafía tradicional, se aplicaron algoritmos computerizados procedentes de las pruebas de imagen mediante rayos X (tomografía computerizada o TC) dando lugar a la aparición del SPECT o tomografía de perfusión. Podemos decir que el SPECT de perfusión pulmonar es en relación a la gammagrafía planar lo que la angio-TC es a la radiografía ántero-posterior de tórax. Dicha técnica de imagen ya se utilizaba ampliamente en otros campos como la neurología y en el estudio de la perfusión miocárdica o del hígado.¹⁴

El estudio nuclear con adquisición tomográfica ofrece muchas ventajas sobre las imágenes bidimensionales. Una de las más importantes es la mayor resolución de la imagen adquirida, debido a la rotación de la gammacámara alrededor del organismo. Ello permite que la imagen obtenida provenga de una parcela anatómica menor, es decir, la adquisición se realiza sobre una parte más detallada del órgano estudiado y ello minimiza la superposición de imágenes que pudieran oscurecer el área de interés. Además, el SPECT proporciona una captación tridimensional real de la distribución del trazador radiactivo usado. Brevemente, el SPECT es un aparato con una cabeza detectora móvil orbitando alrededor del sujeto en todo el arco del espacio (360°). Existen aparatos con una o varias cámaras de detección. Éstas últimas proporcionarían mayor rapidez de adquisición de la imagen. Dichas cámaras son de muy alta calidad para permitir la definición necesaria.¹⁶ Los datos provienen de múltiples imágenes adquiridas en diferentes ángulos del espacio a través de la rotación del detector alrededor del paciente. Por ejemplo 60 stops (representando cada uno de ellos 6 grados de arco) permiten realizar la técnica en 20 minutos aproximadamente (normalmente no se precisan más de 20 segundos por corte). La cantidad de cortes necesarios depende de la indicación de la prueba, características del paciente, cantidad de trazador utilizado y



consideraciones de resolución requeridas. Usualmente, 64 imágenes sobre 360 grados son suficientes para una reconstrucción tridimensional de calidad óptima.¹⁶

Tomografía de perfusión (SPECT) y el Tromboembolismo Pulmonar (TEP)

Las ventajas del SPECT respecto al modo planar en el estudio del TEP ha sido bien demostradas en las dos últimas décadas induciendo TEP en diferentes modelos. Primero fue Osborne en un modelo animal canino¹⁷; años más tarde Magnussen en un modelo realizado a partir de pulmón de cadáver¹⁸ y más recientemente Bajc realizó un estupendo trabajo en un modelo porcino.¹⁹ Todos ellos mostraron que el SPECT era más sensible que el estudio convencional. En el estudio de Bajc la sensibilidad del SPECT fue del 91% vs. 64% en modo planar, con una especificidad del 87% y 79% respectivamente. Recientemente, se han investigado las prestaciones del SPECT en estudios clínicos. Bajc y colaboradores, en un estudio con 53 pacientes con sospecha de TEP, demostraron que el SPECT era más sensible que el modo planar (100% versus 85%).²⁰ Los autores mostraron además que el SPECT delineaba las imágenes y los defectos de ventilación/perfusión con menor variabilidad inter-observador comparado con el estudio bidimensional. Collart y su grupo, en un estudio con 114 pacientes también demostraron una mayor especificidad (96% vs. 78%), así como una mejor reproducibilidad intra-observador (94% versus 91%) y inter-observador (88% vs. 79%).²¹ Recientemente, se estudiaron de forma retrospectiva 2.328 pacientes en los que se había realizado un SPECT de perfusión por sospecha de TEP. De los 1.785 pacientes que completaron el estudio, 607 (34%) fueron diagnosticados de embolismo pulmonar. Las sensibilidades fueron del 99% para el diagnóstico de TEP y la especificidad del 98%. Los valores predictivos positivo y negativo fueron del 99% en ambos casos.⁹ Todos estos datos sugieren que SPECT tiene una mayor sensibilidad y especificidad con una mayor reproducibilidad respecto al estudio de perfusión en modo planar o bidimensional para el estudio del TEP.

Es interesante destacar, que a pesar de los avances tecnológicos en la tomografía computerizada mediante angiografía

pulmonar (angio-TC), dicha técnica no ha superado a la gammagrafía para el estudio del TEP. El estudio gammagráfico y sobre todo mediante el SPECT permite una evaluación cuantitativa de la función pulmonar y tiene la habilidad de mostrar tanto la integridad aérea como vascular a diferencia de estudios más morfológicos o anatómicos, como la angio-TC. Además en los defectos de perfusión periféricos el SPECT parece ser más sensible que la angio-TC.^{12,22,23} Cabe decir que prácticamente todos los estudios en los que se ha comparado la gammagrafía y la angio-TC, se han realizado comparando la adquisición de imagen en modo planar y no mediante SPECT por lo que el beneficio del SPECT probablemente es mayor en el diagnóstico del TEP agudo. El SPECT por lo tanto, tiene un papel muy relevante en el estudio de la enfermedad trombo-embólica.¹⁵ Resulta sorprendente que no sea una técnica ampliamente utilizada para el estudio de la perfusión pulmonar sobre todo si se tiene en cuenta que las gammacámaras con multi-detector están disponibles en la mayoría de centros en nuestro país y el procesamiento de las imágenes adquiridas mediante SPECT es muy rápido y preciso.

Estudios de perfusión en la hipertensión pulmonar

La importancia de diferenciar la HTAP de la CTPEH radica en que la presentación clínica es muy similar, sino igual, entre ambas entidades y sin embargo, el enfoque terapéutico es muy diferente: tratamiento médico para la HTAP y PTE en los pacientes afectados de CTEPH. Fishman evaluó mediante gammagrafía convencional la perfusión en pacientes afectados de HTAP sin encontrar en ninguno de ellos defectos segmentarios o sub-segmentarios compatibles con material trombótico en los vasos pulmonares. Todos los pacientes habían sido estudiados previamente con angiografía pulmonar. Por el contrario, todos los pacientes con CTEPH tenían defectos de perfusión compatibles con enfermedad tromboembólica.²⁴ Aunque se trataba de un estudio retrospectivo con un pequeño número de sujetos, fue uno de los estudios que sentaron las bases para la evaluación de los pacientes afectados de hipertensión pulmonar. Así pues, en dichos pacientes, si el estudio de perfusión es negativo para enfermedad tromboembólica no hace falta realizar pruebas invasivas como la angiografía pulmonar.²⁵



Lisbona y colaboradores tuvieron resultados similares en un trabajo con 8 pacientes diagnosticados de HTAP mediante autopsia y/o angiografía pulmonar estudiados con gammagrafía planar.²⁶

Cabe decir, sin embargo, que el estudio de perfusión mediante gammagrafía planar no es estrictamente normal en algunos enfermos afectados de HTAP. En ellos existe un patrón gammagráfico no segmentario, no homogéneo y parcheado.^{24,27} Ante dichos hallazgos han aparecido diferentes teorías: alteración parcial de la perfusión como parte de un remodelado vascular, o bien consecuencia de microembolismos periféricos. Sin embargo, ninguna de ellas se ha demostrado. Nuestro grupo está realizando en la actualidad un estudio mediante SPECT en pacientes con HTAP con el objetivo de caracterizar de una manera más precisa los cambios inespecíficos que aparecen descritos en los estudios de perfusión en modo planar.

SPECT y Hipertensión Pulmonar Tromboembólica Crónica (CTEPH)

La angiografía pulmonar y los estudios de perfusión mediante gammagrafía planar subestiman la intensidad de la oclusión en la CTEPH cuando se determina por tromboendarterectomía.²⁷⁻³⁰ Por ello, en la Universidad de California en San Diego hemos realizado un trabajo para averiguar si el SPECT es más sensible que la gammagrafía convencional en la población afectada de CTEPH³¹ y (Soler et al., enviado para su publicación). En dicho estudio, se analizó a 20 pacientes consecutivos con el fin de comparar las sensibilidades de la gammagrafía de perfusión bidimensional y del SPECT. En los 17 sujetos que cumplieron los criterios de inclusión se realizaron ambas pruebas de manera consecutiva antes de someterse al programa quirúrgico (PTE). Para definir el criterio de referencia o gold standard añadimos a la angiografía pulmonar, prueba estándar, una aproximación clínico-patológica mediante la pieza quirúrgica reseca (molde del árbol vascular pulmonar) y otras pruebas al alcance como la angio-TC o la angioscopia en el caso de haberse realizado. Dos clínicos expertos en CTEPH evaluaron de forma independiente dicha información para decidir la presencia o no de trombo en cada segmento pul-



monar. Los resultados mostraron un aumento significativo de la sensibilidad a favor del SPECT para evaluar la presencia de oclusión en los segmentos vasculares pulmonares (63% vs. 42%) sin diferencias significativas en la especificidad (Figura 3). Se ha de tener en cuenta que los defectos de perfusión pueden recanalizar parcialmente a lo largo de meses o años, existir un proceso de remodelado vascular o aparecer circulación colateral compensatoria que pueden explicar, al menos en parte, la menor sensibilidad de las pruebas de perfusión en la enfermedad tromboembólica crónica respecto al proceso embólico agudo. En dicho estudio analizamos además la sensibilidad y especificidad entre la angio-TC y el SPECT en un subgrupo de pacientes. En este estudio piloto, el SPECT demostró una mayor especificidad respecto al angio-TC sin diferencias significativas en la sensibilidad.³² Aunque se trata de un estudio piloto con un número reducido de sujetos, los resultados sugieren que el SPECT podría ser la prueba de elección en pacientes afectados de CTEPH. En mi opinión, el uso rutinario del angio-TC para la evaluación de pacientes con CTEPH, no sería aconsejable al no estar dicha técnica suficientemente validada en la CTEPH mientras sí lo está en el TEP agudo.

SPECT en otras enfermedades neumológicas

Existen otras enfermedades que pueden y deben estudiarse mediante pruebas de medicina nuclear ya que proporcionan la información funcional adicional necesaria para su interpretación y análisis. Es decir, podremos cuantificar la perfusión o la ventilación pulmonar de manera detallada y dicho resultado se utilizará para la evaluación del paciente y posible tratamiento. El uso del SPECT pulmonar en estas enfermedades no se ha validado todavía, aunque ya ha empezado a utilizarse en algunos centros. En mi opinión, su uso se irá extendiendo cada vez más debido a que permite una evaluación más precisa y detallada del área a estudiar.^{12,33,34}

a. Evaluación pre-operatoria de la función pulmonar

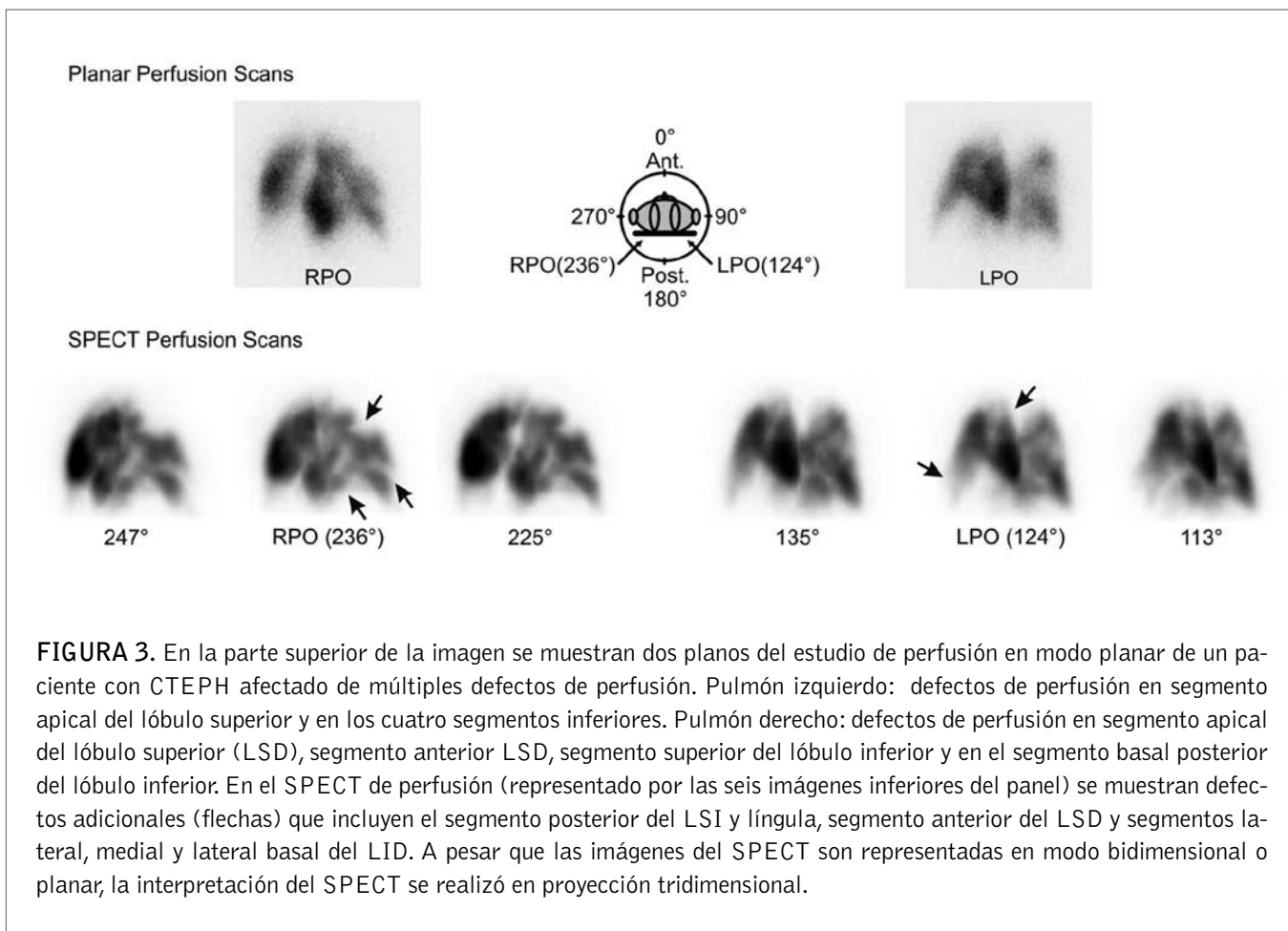
Los tests convencionales realizados en el laboratorio de función pulmonar como la espirometría pueden reflejar de manera muy precisa la función pulmonar global, aunque no permiten detectar diferencias existentes entre segmentos pulmonares, así como tampoco entre el pulmón izquierdo y

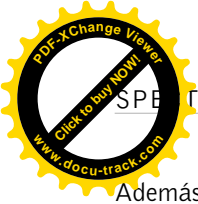
derecho. El estudio de la ventilación pulmonar a través de técnicas de medicina nuclear permite dicha cuantificación segmentaria y con ello disponer de un valor expresado en porcentaje del pulmón "funcionante", es decir disponer de datos fisiológicos y no sólo anatómicos. Dicha evaluación es de gran utilidad, por ejemplo en la cirugía de riesgo. La cuantificación permitirá el cálculo del porcentaje de pulmón residual fisiológicamente viable en la planificación de técnicas quirúrgicas que conlleven resección de parénquima pulmonar. Dicha evaluación es más precisa mediante técnicas de SPECT por su mayor capacidad de resolución y más recientemente se ha sugerido la utilidad de la fusión entre el SPECT y la angio-TC.¹⁴ Especial interés tiene en la evaluación del paciente con cáncer de pulmón ya que dichos sujetos tienen dañados, al menos parcialmente, otros segmentos pulmonares por efecto del humo del tabaco. Así pues, la gammagrafía pulmonar permite la evaluación funcional a nivel regional y cuantificar diferentes segmentos pulmonares. En la actualidad el estudio mediante gamma-

grafía de ventilación/perfusión (V/Q) pulmonar es un test complementario muy valorado junto a la medida del aire espirado en el primer segundo (FEV1) en el contexto del paciente quirúrgico. Si el FEV1 es menor de 1 litro, la cirugía estaría en general contraindicada y los estudios de V/Q no serían necesarios para predecir la función pulmonar post-operatoria. Si el FEV1 se encuentra entre 1 y 2.5 l, las pruebas de V/Q permiten predecir si la función pulmonar post-quirúrgica será mayor del mínimo necesario (1 l/s) para no incurrir en insuficiencia respiratoria.^{12,35} Otros métodos propuestos como la resonancia nuclear magnética son más costosos y no existen estudios comparativos con la gammagrafía tradicional que sugieran una mayor eficacia.

b. Evaluación pre-operatoria en el trasplante pulmonar

La evaluación cualitativa de la perfusión pulmonar aporta información muy valiosa en la evaluación del paciente candidato a trasplante pulmonar al poder evaluar con precisión el porcentaje de pulmón funcionalmente activo.





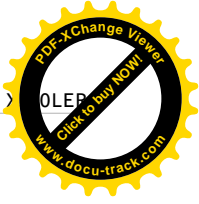
Además, existen otros hallazgos interesantes: En un estudio realizado en 46 pacientes de fibrosis quística, en lista de espera para trasplante pulmonar, se demostró que los defectos de perfusión unilaterales estaban asociados a una mayor mortalidad durante el periodo previo a cirugía, por lo que dicho estudio aconsejaba modificar el criterio de espera para dichos pacientes.³⁶ En otro estudio en el que se cuantificó la perfusión al mes y a los tres meses post-trasplante, la gammagrafía de perfusión fue capaz de predecir el rechazo pulmonar con una mayor sensibilidad (83% vs. 80%) y especificidad (88% vs. 67%) que el estudio espirométrico de función pulmonar utilizado habitualmente.³⁷

c. Optimización de la radioterapia para el cáncer de pulmón

El tratamiento radioterápico provoca neumonitis secundaria en un 10% de los pacientes. En algunos, dicha lesión desencadena fibrosis pulmonar irreversible asociada a un aumento de la mortalidad³⁸ y depende de la cantidad de radiación utilizada, del volumen pulmonar irradiado, de factores biológicos y también si el tratamiento ha sido administrado de manera fraccionada. Los tests de perfusión pulmonar con ^{99m}Tc-MAA ayudan a optimizar el esquema de tratamiento radioterápico ya que permiten evaluar el efecto de la radiación sobre la función pulmonar. Una prueba cuantitativa de V/Q mediante SPECT da información regional y funcional que los métodos morfológicos no pueden proporcionar, y es capaz de predecir mejor los efectos de la radiación sobre el tejido pulmonar.¹²

d. Cuantificación de la comunicación o shunt derecho-izquierdo

En el adulto, las causas más frecuentes de comunicación o shunt inter-pulmonar derecha/izquierda son la enfermedad de Rendu-Webber-Osler, la macroglobulinemia de Waldenström, la esclerodermia, el angioma arterio-venoso y la fibrosis pulmonar.³⁹ Además, varias enfermedades pulmonares como la hipertensión pulmonar primaria presentan con frecuencia *shunt* en su fase final.⁴⁰ El estudio de perfusión mediante gammagrafía ofrece el método más económico y simple para la detección y cuantificación de las comunicaciones derecha/izquierda.³⁵ Sospechamos comunicación cuando existe depósito extrapulmonar de material radiactivo en el cerebro, el hígado y en los riñones. La ausencia de trazador en las imágenes cerebrales significan prácticamente la exclusión de una comunicación significativa.⁴⁰



Uso de la gammagrafía pulmonar en pediatría

El estudio de perfusión pulmonar en la población pediátrica tiene un significado especial, ya que algunas de las pruebas que se utilizan en la edad adulta para evaluar enfermedades pulmonares están normalmente contraindicadas por su elevado contenido radiactivo como sucede con el contraste yodado utilizado en la angio-TC. Así pues, debemos utilizar la gammagrafía ante la pérdida de función pulmonar en la fibrosis quística, ante la sospecha de bronquiectasias, la evaluación de la perfusión pulmonar pre y post-quirúrgica en anomalías cardíacas congénitas. También es una prueba utilizada para la cuantificación de shunts derecha/izquierda o el estudio de TEP. Las dosificaciones de los fármacos radiactivos están en las diferentes guías disponibles.⁴¹ No existen en la actualidad estudios publicados utilizando el SPECT en dicha población pediátrica, aunque cabe suponer que se irá incorporando de manera progresiva.

Conclusiones

Los estudios clínicos actuales han demostrado que la gammagrafía de perfusión pulmonar tiene un papel principal ante la sospecha de un embolismo pulmonar agudo o crónico, en la evaluación de la cuantificación pulmonar, en la de otras enfermedades pulmonares como las comunicaciones derecha-izquierda o en el paciente pediátrico. También en el estudio pre-operatorio principalmente del cáncer de pulmón y en el contexto del tratamiento con radioterapia. El modo SPECT de perfusión supone un claro avance al aumentar la capacidad de análisis por disponer de una mayor resolución espacial y mejor adquisición de la imagen. Sin embargo, su divulgación sigue siendo muy limitada a pesar de ser una técnica asequible en la gran mayoría de Centros Hospitalarios.²³

Aunque en el embolismo agudo grave (y por ello probablemente de gran tamaño y central), la angio-TC pueda ser útil para evaluar otras patologías de manera simultánea, la gammagrafía en modo planar o el SPECT sigue siendo la prueba de elección. Además, debemos de utilizar dichas técnicas (SPECT o planar) ante la sospecha de TEP en la mujer embarazada (es recomendable plantear su uso en todas las mujeres en edad fértil), en la insuficiencia renal y en pa-

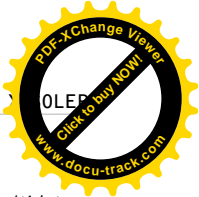
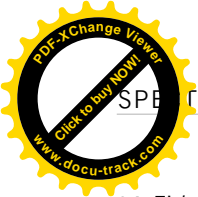


cientes alérgicos al contraste yodado. Otras ventajas del SPECT o la gammagrafía planar sobre la angio-TC es que utilizan una cantidad de radiactividad mucho menor que el contraste iodado, por lo que es una técnica ideal en el paciente pediátrico o en el seguimiento a largo plazo. Finalmente, las técnicas de perfusión no han sido superadas por la angio-TAC para el estudio de defectos periféricos, es decir, en la circulación pulmonar a nivel sub-segmentario.

En conclusión y en mi opinión, los estudios de perfusión en modo bidimensional o planar son a día de hoy una técnica obsoleta que debe sustituirse de manera progresiva por la adquisición de imagen mediante SPECT para el estudio de los trastornos que incluyan la evaluación de la perfusión pulmonar.

BIBLIOGRAFÍA

1. Tapson VF. The role of smoking in coagulation and thromboembolism in chronic obstructive pulmonary disease. *Proc Am Thorac Soc* 2005; 2:71-77
2. Tapson VF, Humbert M. Incidence and prevalence of chronic thromboembolic pulmonary hypertension: from acute to chronic pulmonary embolism. *Proc Am Thorac Soc* 2006; 3:564-567
3. White RH. The epidemiology of venous thromboembolism. *Circulation* 2003; 107:14-8
4. Anderson FA, Jr, Wheeler HB, Goldberg RJ, et al. A population-based perspective of the hospital incidence and case-fatality rates of deep vein thrombosis and pulmonary embolism. The Worcester DVT Study. *Arch Intern Med* 1991; 151:933-938
5. Montes Santiago J. Tromboembolismo pulmonar en pacientes médicos. Aproximación a los costes hospitalarios y tendencias evolutivas en España. *An Med Interna* 2004; 21:326-330
6. Pengo V, Lensing AW, Prins MH, et al. Incidence of chronic thromboembolic pulmonary hypertension after pulmonary embolism. *N Engl J Med* 2004; 350:2257-2264
7. Auger WR, Kim NH, Kerr KM, et al. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Clin Chest Med* 2007; 28:255-269, x
8. Thistlethwaite PA, Madani M, Jamieson SW. Pulmonary thromboendarterectomy surgery. *Cardiol Clin* 2004; 22:467-478, vii
9. Bajc M, Olsson B, Palmer J, et al. Ventilation/Perfusion SPECT for diagnostics of pulmonary embolism in clinical practice. *J Intern Med* 2008; 264:379-387
10. Kumar AM, Parker JA. Ventilation/perfusion scintigraphy. *Emerg Med Clin North Am* 2001; 19:957-973
11. Taplin GV, MacDonald NS. Radiochemistry of macroaggregated albumin and newer lung scanning agents. *Semin Nucl Med* 1971; 1:132-152
12. Zophel K, Bacher-Stier C, Pinkert J, et al. Ventilation/perfusion lung scintigraphy: what is still needed? A review considering technetium-99m-labeled macro-aggregates of albumin. *Ann Nucl Med* 2009; 23:1-16
13. Mettler. *Essentials of Nuclear Medicine Imaging*, 2006; 159-201
14. Roach PJ, Bailey DL, Harris BE. Enhancing lung scintigraphy with single-photon emission computed tomography. *Semin Nucl Med* 2008; 38:441-449
15. Meignan MA. Lung ventilation/perfusion SPECT: the right technique for hard times. *J Nucl Med* 2002; 43:648-651
16. Petersson J, Sanchez-Crespo A, Larsson SA, et al. Physiological imaging of the lung: single-photon-emission computed tomography (SPECT). *J Appl Physiol* 2007; 102:468-476
17. Osborne DR, Jaszczak RJ, Greer K, et al. Detection of pulmonary emboli in dogs: comparison of single photon emission computed tomography, gamma camera imaging, and angiography. *Radiology* 1983; 146:493-497
18. Magnussen JS, Chicco P, Palmer AW, et al. Single-photon emission tomography of a computerised model of pulmonary embolism. *Eur J Nucl Med* 1999; 26:1430-1438
19. Bajc M, Bitzen U, Olsson B, et al. Lung ventilation/perfusion SPECT in the artificially embolized pig. *J Nucl Med* 2002; 43:640-647
20. Bajc M, Olsson CG, Olsson B, et al. Diagnostic evaluation of planar and tomographic ventilation/perfusion lung images in patients with suspected pulmonary emboli. *Clin Physiol Funct Imaging* 2004; 24:249-256
21. Collart JP, Roelants V, Vanpee D, et al. Is a lung perfusion scan obtained by using single photon emission computed tomography able to improve the radionuclide diagnosis of pulmonary embolism? *Nucl Med Commun* 2002; 23:1107-1113
22. Schumichen C. V/Q-scanning/SPECT for the diagnosis of pulmonary embolism. *Respiration* 2003; 70:329-342
23. Sostman HD, Stein PD, Gottschalk A, et al. Acute pulmonary embolism: sensitivity and specificity of ventilation-perfusion scintigraphy in PIOPED II study. *Radiology* 2008; 246:941-946



24. Fishman AJ, Moser KM, Fedullo PF. Perfusion lung scans vs pulmonary angiography in evaluation of suspected primary pulmonary hypertension. *Chest* 1983; 84:679-683
25. Powe JE, Palevsky HI, McCarthy KE, et al. Pulmonary arterial hypertension: value of perfusion scintigraphy. *Radiology* 1987; 164:727-730
26. Lisbona R, Kreisman H, Novales-Diaz J, et al. Perfusion lung scanning: differentiation of primary from thromboembolic pulmonary hypertension. *AJR Am J Roentgenol* 1985; 144:27-30
27. Worsley DF, Palevsky HI, Alavi A. Ventilation-perfusion lung scanning in the evaluation of pulmonary hypertension. *J Nucl Med* 1994; 35:793-796
28. Auger WR, Fedullo PF, Moser KM, et al. Chronic major-vessel thromboembolic pulmonary artery obstruction: appearance at angiography. *Radiology* 1992; 182:393-398
29. Ryan KL, Fedullo PF, Davis GB, et al. Perfusion scan findings understate the severity of angiographic and hemodynamic compromise in chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *Chest* 1988; 93:1180-1185
30. Brandstetter RD, Naccarato E, Sperber RJ, et al. Normal lung perfusion scan with extensive thromboembolic disease. *Chest* 1987; 92:565-567
31. Soler X, Hoh CK, Test V, et al. SPECT perfusion scanning in Chronic Thromboembolic Pulmonary Hypertension. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 2008; 177:A185
32. Soler X, Renner J, Hoh C, Morris TA. SPECT perfusion scanning and Computed Tomographic Pulmonary Angiography (CTPA) in Chronic Thromboembolic Pulmonary Hypertension. *Am J Respir Crit Care Med* 2009; 179 (1) A3331
33. Freeman LM. Don't bury the V/Q scan: it's as good as multidetector CT angiograms with a lot less radiation exposure. *J Nucl Med* 2008; 49:5-8
34. Freeman LM. Scintigraphy or Multidetector CT Angiography for Suspected Pulmonary Embolism? *J Nucl Med* 2008
35. Schumichen C. [Guidelines for lung scintigraphy]. *Nuklearmedizin* 1999; 38:233-236
36. Stanchina ML, Tantisira KG, Aquino SL, et al. Association of lung perfusion disparity and mortality in patients with cystic fibrosis awaiting lung transplantation. *J Heart Lung Transplant* 2002; 21:217-225
37. Hardoff R, Steinmetz AP, Krausz Y, et al. The prognostic value of perfusion lung scintigraphy in patients who underwent single-lung transplantation for emphysema and pulmonary fibrosis. *J Nucl Med* 2000; 41:1771-1776
38. Goethals I, Dierckx R, De Meerleer G, et al. The role of nuclear medicine in the prediction and detection of radiation-associated normal pulmonary and cardiac damage. *J Nucl Med* 2003; 44:1531-1539
39. Schumichen C. [Nuclear medicine diagnosis of the lung]. *Radiologie* 2000; 40:878-887
40. Graves MW, Kiratli PO, Mozley D, et al. Scintigraphic diagnosis of a right to left shunt in end-stage lung disease. *Respir Med* 2003; 97:549-554
41. Piepsz A, Colarinha P, Gordon I, et al. [Recommendations for the performance of DMSA scintigraphy in children]. *Nuklearmedizin* 1999; 38:259-261