

Diagnóstico radiológico en el asma, más allá de la función pulmonar

Radiological diagnosis in asthma, beyond pulmonary function

Astrid Crespo-Lessmann¹, Ebymar Arismendi^{2*}

1. Servicio de Neumología y Alergia, Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, Barcelona, España

2. Servicio de Neumología, Hospital Clínic de Barcelona, Universidad de Barcelona, Barcelona, España

Recepción: 03/12/2025

Aceptación: 07/01/2026

Publicación: 06/02/2026

*Correspondencia: Ebymar Arismendi. earismen@clinic.cat

Resumen

El asma es una enfermedad pulmonar que causa inflamación e hiperreactividad bronquial, lo cual puede ocasionar en algunos casos cambios estructurales crónicos en las vías aéreas, conocidos como remodelación bronquial, con una consecuente limitación fija del flujo aéreo. Aunque los hallazgos histológicos obtenidos mediante biopsia bronquial continúan siendo el *gold standard* para definir la remodelación bronquial, y la evaluación de la función pulmonar permite conocer el grado y la reversibilidad de la limitación al flujo aéreo, la tomografía computarizada de alta resolución (TACAR) ha surgido como una herramienta que posibilita la visualización de estos cambios estructurales. En particular, permite evaluar el engrosamiento de la pared bronquial y el grado de atrapamiento aéreo, hallazgos que se asocian con una peor función pulmonar y con un mayor grado de inflamación de las vías aéreas en estos pacientes. Además, la TACAR puede ayudar a realizar diagnóstico diferencial de asma con otras patologías, tales como la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), la aspergilosis broncopulmonar alérgica y las eosinofiliias pulmonares, entre otras. Por otro lado, recientemente, la identificación y cuantificación de los tapones mucosos en los pacientes con asma grave ha demostrado ser un posible marcador de respuesta a tratamientos biológicos, tanto en ensayos clínicos como en cohortes de vida real. Otras técnicas emergentes, como la resonancia magnética con gases hiperpolarizados (HP-MRI), ofrecen una visión funcional del flujo aéreo al evaluar la ventilación pulmonar sin radiación, complementando la información estructural de la TACAR. Estas tecnologías avanzadas permiten una evaluación más precisa y personalizada del asma, facilitando un mejor manejo y tratamiento de la enfermedad.

En resumen, la imagenología está revolucionando la forma en que entendemos y tratamos el asma, permitiendo detectar cambios estructurales e inflamatorios con mayor precisión, lo que permitiría mejorar el abordaje clínico de estos pacientes.

Palabras clave: Asma. Función pulmonar. Tomografía computarizada de alta resolución. Atrapamiento aéreo. Engrosamiento de la pared bronquial. Remodelación.

Abstract

Asthma is a pulmonary disease that causes inflammation and bronchial hyperreactivity, which in some cases may lead to chronic structural changes in the airways, known as bronchial remodeling, resulting in fixed airflow limitation. Although histological findings obtained through bronchial biopsy remain the gold standard for defining bronchial remodeling, and pulmonary function testing allows assessment of the degree and reversibility of airflow limitation, high-resolution computed tomography (HRCT) has emerged as a tool that enables visualization of these structural changes. In particular, HRCT allows evaluation of bronchial wall thickening and the degree of air trapping, findings that are associated with poorer pulmonary function and a higher degree of airway inflammation in these patients. In addition, HRCT can aid in the differential diagnosis of asthma from other conditions, such as chronic obstructive pulmonary disease (COPD), allergic bronchopulmonary aspergillosis, and pulmonary eosinophilic disorders, among others.

More recently, the identification and quantification of mucus plugs in patients with severe asthma has been shown to be a potential marker of response to biologic therapies, both in clinical trials and in real-world cohorts. Other emerging techniques, such as hyperpolarized gas magnetic resonance imaging (HP-MRI), provide a functional view of airflow by assessing pulmonary ventilation without radiation, complementing the structural information provided by HRCT. These advanced technologies allow a more precise and personalized assessment of asthma, facilitating improved disease management and treatment.

In summary, imaging is revolutionizing the way asthma is understood and treated by enabling more accurate detection of structural and inflammatory changes, which may improve the clinical approach to these patients.

Keywords: Asthma. Pulmonary function. High-resolution computed tomography. Air trapping. Bronchial wall thickening. Airway remodeling.

Introducción

La tomografía computarizada (TC) del tórax es una herramienta muy importante para los neumólogos en la práctica clínica actual. Gracias a su alta resolución, permite detectar alteraciones tanto a nivel pulmonar como en las estructuras cercanas de manera precoz y con gran precisión, ayudando en el diagnóstico, seguimiento y clasificación de muchas enfermedades respiratorias. A diferencia de la radiografía convencional, la TC ofrece imágenes en diferentes planos y en 3D, lo que facilita identificar lesiones incipientes, patrones intersticiales y alteraciones de las vías aéreas.

Su uso es de gran utilidad tanto en condiciones agudas, como pueden ser la neumonía, la embolia pulmonar, el neumotórax o las infecciones en pacientes inmunocomprometidos, como en enfermedades crónicas, como son las enfermedades intersticiales, las bronquiectasias, la EPOC, el asma grave.

La correcta interpretación de la TC requiere un conocimiento preciso de la anatomía radiológica y de los diferentes patrones radiológicos. En este contexto, la estandarización promovida por la Fleischner Society y otras entidades científicas ha sido determinante para homogenizar términos como vidrio deslustrado, consolidación, nódulo, masa, bronquiectasias y engrosamiento septal¹.

Este artículo aborda de una forma resumida la importancia de la imagenología torácica, específicamente de la TC en el abordaje del asma, sus diferentes aplicaciones y las últimas evidencias publicadas en la literatura.

Conceptos

La TC es una herramienta diagnóstica muy útil en el asma, especialmente si se sospecha de complicaciones, si se necesitan establecer diagnósticos diferenciales de procesos que simulan asma o de entidades asociadas (como, por ejemplo, las bronquiectasias, la aspergilosis broncopulmonar o la EPOC)².

La TC permite identificar patrones patológicos clásicos como el engrosamiento de la pared bronquial, la distensibilidad de las vías respiratorias, el atrapamiento aéreo, la localización de tapones mucosos, así como su fenotipificación. Actualmente, existe un auge en cuanto a las publicaciones que valoran la TC como herramienta útil para predecir la respuesta a tratamientos y, potencialmente, si las características radiológicas pueden predecir el riesgo futuro de exacerbación de la enfermedad y el deterioro de la función pulmonar³.

La tomografía computarizada de alta resolución (TCAR) es la técnica de elección para estudiar las vías aéreas, especialmente las vías aéreas pequeñas, y esta debe incluir cortes complementarios espiratorios (dinámicos). La diferencia entre un estudio TC convencional y una TCAR radica en el grosor del corte y el algoritmo de reconstrucción de las imágenes. En la TC convencional se utiliza un grosor de corte de 8-10 mm, mientras que en la TCAR el grosor de corte es de 1-2 mm⁴.

Para valorar el atrapamiento aéreo, se utiliza el concepto de si la atenuación pulmonar es inferior a 856 unidades

Hounsfield en la espiración en >15% del área pulmonar⁵. Un nuevo estudio aplicó un sistema de puntuación de segmentación para evaluar el atrapamiento de aire (AT) en segmentos broncopulmonares de pacientes con asma y clasificó a los pacientes según la gravedad del AT en tres categorías: mínima (0-2 segmentos), limitada (3-9 segmentos) y difusa (>10 segmentos)⁵.

El engrosamiento de la pared bronquial no tiene una definición objetiva para medirlo, lo que hace que sea difícil de cuantificar. Sin embargo, hay un método validado que se ha utilizado para definir la base del área de la pared (WA por sus siglas en inglés), WA corregida por el área de superficie corporal (WA/BSA) y el porcentaje del grosor de la pared bronquial (WA%), definido como (WA/área total) x 100 en el bronquio apical del lóbulo superior derecho⁶.

Para valorar los tapones mucosos en la TCAR de los pacientes con asma, Dunican et al.⁷ elaboraron el primer "score" que evalúa la presencia de tapones de moco en los segmentos de cada lóbulo pulmonar. Las puntuaciones generadas van desde 0 a 18. De 0,5 a 3,5 se considera una puntuación baja y ≥ 4 es una puntuación alta. Sin embargo, hay que tener en cuenta las limitaciones de este score, como por ejemplo que no se tienen en cuenta los tapones mucosos que condicionan una obstrucción parcial, los cuales podrían tener una repercusión funcional, y no permite evaluar la carga total de mocos, ya que la puntuación es la misma habiendo uno o múltiples tapones en el mismo segmento.

Función pulmonar e imagenología

Introducción

En algunos pacientes, el asma puede provocar una obstrucción irreversible del flujo aéreo. En este contexto, la TCAR se ha recomendado como una herramienta clave para evaluar los cambios estructurales pulmonares en el asma grave, permitiendo analizar la relación entre el engrosamiento de la pared de las vías aéreas y los parámetros clínicos y funcionales. Diversos estudios han empleado tanto TCAR convencional como tomografía computarizada cuantitativa (qTC) para caracterizar la remodelación bronquial y su impacto sobre la función pulmonar, incluso en pacientes con tratamiento óptimo o con síntomas mínimos.

Resultados

Mateusz Patyk et al.⁸ evaluaron mediante qTC el engrosamiento de las paredes de las vías aéreas en 83 pacientes con asma de larga duración y 30 voluntarios sanos no fumadores. Los resultados mostraron que las paredes bronquiales, desde la tercera hasta la novena generación, eran significativamente más gruesas en los pacientes asmáticos en comparación con los controles. Asimismo, el tamaño del lumen bronquial y el diámetro interno se relacionaron con la función pulmonar y fueron menores en las generaciones bronquiales más pequeñas.

Por su parte, Little SA et al.⁹ realizaron TCAR en 49 pacientes asmáticos con control óptimo. Dos radiólogos independientes midieron el diámetro total de la vía aérea y el de la luz, calculando el área de la pared como porcentaje del

área transversal total (WA%) y la relación entre el grosor de la pared y el diámetro de la vía aérea (G/D). Estas mediciones se correlacionaron con parámetros funcionales (FEV₁, flujo espiratorio medio forzado, coeficiente de transferencia de monóxido de carbono), marcadores inflamatorios (esputo inducido y FeNO) y escalas de gravedad del asma. Se observó que el engrosamiento de la pared bronquial era mayor en los pacientes con asma más grave y se asociaba con alteraciones en la transferencia de gases.

En un estudio previo, Gono H et al.¹⁰ analizaron mediante TCAR helicoidal a 24 asmáticos asintomáticos tras más de seis meses de tratamiento óptimo con glucocorticosteroides. El engrosamiento de la pared bronquial en el bronquio apical del lóbulo superior derecho (B1) y el atrapamiento aéreo evaluado mediante la relación espiración/inspiración (E/I) fueron significativamente mayores en los asmáticos con obstrucción reversible deficiente del flujo aéreo que en aquellos con espirometría normal y en sujetos sanos. Además, tanto el grosor de la pared bronquial como el atrapamiento aéreo se correlacionaron negativamente con el FEV₁ tras broncodilatador.

Otros estudios han confirmado que el porcentaje de grosor de la pared bronquial (WT%) y el WA% son mayores en pacientes con asma grave, mostrando correlaciones inversas con el FEV₁ basal y positivas con su mejoría tras el uso de broncodilatadores¹¹⁻¹⁴.

Interpretación

En conjunto, estos estudios demuestran que la remodelación de las vías aéreas, especialmente en las vías medias y pequeñas, es un hallazgo frecuente en el asma de larga evolución y se asocia con la gravedad de la enfermedad y con alteraciones funcionales relevantes. Aunque la espirometría convencional puede no detectar de forma sensible estos cambios estructurales, la TCAR y la qTC permiten visualizar y cuantificar el engrosamiento bronquial y el atrapamiento aéreo, aportando información complementaria sobre la ventilación regional y la inflamación persistente. Estos hallazgos refuerzan el valor de la imagenología como una herramienta clave para comprender la fisiopatología del asma grave y apoyar su diagnóstico, seguimiento y manejo individualizado.

Imagenología y tratamientos biológicos para el asma

Diversos estudios han evaluado, a través de la TCAR, los efectos de algunos tratamientos biológicos para el asma grave sobre los tapones mucosos, además de los cambios en la función pulmonar, la inflamación y el control del asma. Tezepelumab, en el estudio CASCADE¹⁵, demostró en un análisis *post-hoc* que reduce significativamente los tapones mucosos comparado con placebo, mejorando además la función pulmonar y disminuyendo marcadores inflamatorios. Además, en ese estudio se observaron asociaciones entre las reducciones en las puntuaciones del score de tapones de moco y las disminuciones en las concentraciones séricas de IL-5, IL-13¹⁵.

Benralizumab también ha demostrado reducir los tapones mucosos y mejorar el control del asma en pacientes con asma eosinofílica, con efectos que persisten incluso

años después del tratamiento¹⁶. Además, en estudios con resonancia magnética y TC, se observó una disminución en la mucosidad y en los eosinófilos en las vías aéreas tras su uso, en el control del asma, evaluado por el cuestionario ACQ-6 y en el porcentaje de defectos de ventilación (VDP) medidos por HP-MRI con xenón 129 (129Xe) a los 28 días postratamiento. También observaron que los tapones mucosos de las vías aéreas postinyección y el VDP medidos en la HP-MRI 129Xe y en la TC de forma independiente podían predecir esta respuesta temprana del ACQ-6 al benralizumab¹⁷.

El estudio VESTIGE¹⁸ ha sido el primer ensayo clínico de tratamiento biológico para el asma grave comparado con placebo en el que uno de los objetivos (objetivo secundario) fue evaluar el cambio de los tapones mucosos según el score de Dunican antes y después del tratamiento con dupilumab. Ha mostrado mejoras en los tapones de moco y en la función pulmonar tras 24 semanas de tratamiento. El estudio VESTIGE fue un ensayo clínico de fase 4 realizado en 14 países, con pacientes adultos con asma tipo 2 moderada a grave no controlada, que estaban en tratamiento con glucocorticosteroides inhalados y otros medicamentos controladores. Los participantes fueron asignados aleatoriamente para recibir dupilumab (300 mg cada dos semanas) o un placebo durante 24 semanas. Los principales objetivos fueron evaluar si el tratamiento reducía los niveles de FeNO por debajo de 25 ppb y si mejoraba el volumen de las vías aéreas, medido por pruebas funcionales y por TCAR con imágenes respiratorias funcionales. Los resultados mostraron que, al final del estudio, el 57% de los pacientes tratados con dupilumab lograron reducir su FeNO por debajo de ese umbral, en comparación con solo el 11% del grupo placebo, lo que indicó una reducción significativa de la inflamación. Aunque hubo una tendencia a mejorar el volumen de las vías aéreas con dupilumab, esta diferencia no fue estadísticamente significativa. En resumen, dupilumab ayudó a reducir la inflamación y mejorar la función pulmonar en pacientes con asma moderada a severa no controlada, y dentro de los objetivos secundarios disminuyó el score de Dunican, demostrando el valor de la tecnología de imágenes para el abordaje integral de la enfermedad. Finalmente, se han publicado recientemente dos estudios en vida real con mepolizumab¹⁹⁻²⁰: el primero fue en una serie de 20 pacientes con asma grave eosinofílica evaluados aproximadamente a los 12 meses posteriores al inicio del tratamiento (11+/-3 meses), del Hospital Clínic de Barcelona, en el que se observó una reducción significativa del score de Dunican¹⁹, y el segundo es de un grupo de investigadores italianos, Campisi et al.²⁰, quienes han demostrado en vida real en 47 pacientes una reducción significativa de los tapones mucosos 12 meses después del inicio del mepolizumab.

Tal y como muestra la literatura, la valoración de tapones mucosos en la TC es un objetivo común en auge en los tratamientos biológicos, puesto que su presencia está relacionada con una peor función pulmonar y mayor gravedad de la enfermedad. Tang M et al. analizaron²¹ si los tapones de moco en los pulmones, detectados mediante TC, son una característica persistente en el asma grave y si los cambios en estos tapones a lo largo del tiempo

están relacionados con cambios en la función pulmonar. Los resultados mostraron que los pacientes que tenían tapones de moco al inicio del estudio también los tenían tres años después, indicando que estos tapones son una característica persistente en ciertos tipos de asma. Además, se encontró que un aumento en los tapones de moco estaba asociado con una disminución en la capacidad de flujo aéreo, lo que sugiere que los tapones de moco pueden jugar un papel causal en la obstrucción del flujo de aire en el asma. En resumen, los tapones mucosos podrían identificar un fenotipo de asma que tiende a mantenerse y están relacionados con la disminución de la función pulmonar a lo largo del tiempo. Por lo tanto, podrían ser un biomarcador en el asma grave.

Conclusiones

La TC torácica constituye una herramienta fundamental en la neumología moderna, ya que permite identificar con gran precisión alteraciones en todas las estructuras pulmonares, facilitando el diagnóstico, el seguimiento y la caracterización de múltiples enfermedades respiratorias, incluido el asma grave. En particular, la TCAR resulta especialmente útil para el estudio detallado de las vías aéreas grandes y pequeñas, permitiendo detectar patrones como el engrosamiento de las paredes bronquiales, el atrapamiento aéreo y la presencia de tapones mucosos. Estos cambios estructurales, reflejo de la remodelación de las vías aéreas, son frecuentes en pacientes con asma de larga evolución y se asocian estrechamente con la gravedad de la enfermedad y el deterioro de la función pulmonar. Estudios recientes han demostrado que los tapones mucosos endobronquiales suelen ser persistentes en el tiempo y que su incremento puede contribuir de manera significativa a la obstrucción del flujo aéreo. Asimismo, tratamientos biológicos como dupilumab y tezepelumab han mostrado, frente a placebo, una reducción de estos tapones mucosos acompañada de una mejoría funcional, lo que subraya el valor de la imagenología en la evaluación de la respuesta terapéutica. En este contexto, la TC emerge no solo como una herramienta diagnóstica, sino como un potencial biomarcador estructural y funcional, con un papel clave en el futuro del manejo personalizado del asma grave, permitiendo optimizar la selección de tratamientos y mejorar el control de la enfermedad.

Financiación

No se recibió financiación para la investigación, autoría y/o publicación de este artículo.

Contribución de autoría

Astrid Crespo Lessmann: Conceptualización, Validación, Supervisión, Investigación, Administración del proyecto, Análisis formal, Redacción - borrador inicial, Recopilación de datos, Visualización, Redacción - revisión y edición, Metodología, Software, Recursos

Ebymar Arismendi: Análisis formal, Validación, Administración del proyecto, Visualización, Metodología, Recopilación de datos, Conceptualización, Redacción - revisión y edición, Redacción - borrador inicial, Recursos, Investigación, Supervisión, Software

Conflictos de interés

Los autores declaran que no hay ningún conflicto de interés comercial o financiero para esta investigación.

Uso de herramientas de inteligencia artificial

Los autores declaran que no se ha utilizado ninguna herramienta de inteligencia artificial (como ChatGPT, Copilot, Gemini, u otras) en la redacción, análisis o revisión de este artículo.

Referencias

1. Bankier AA, MacMahon H, Colby T, Gevenois PA, Goo JM, Leung ANC, et al. Fleischner Society: Glossary of Terms for Thoracic Imaging. *Radiology* 2024; 310 (2).
2. Guía Española para el Manejo del Asma 5.4 (GEMA5.4). Madrid: Luzan 5; 2024. Disponible en: <https://www.gemasma.com>
3. Louis R, Satia I, Ojanguren I, Schleich F, Bonini M, Tonia T, et al. European Respiratory Society guidelines for the diagnosis of asthma in adults. *Eur Respir J*. 2022 Sep 7;60(3):2101585.
4. Tomás Franquet. Técnicas de imagen en la exploración de la vía aérea pequeña: asma y EPOC. *Arch Bronconeumol*. 2011;47(Supl 2):20-26.
5. Clarus Leung, Monica Tang, Brendan K Huang, Sean B Fain, Eric A Hoffman, Jiwoong Choi, et al. A Novel Air Trapping Segment Score Identifies Opposing Effects of Obesity and Eosinophilia on Air Trapping in Asthma. *Am J Respir Crit Care Med*. 2024 May 15;209(10):1196-1207.
6. A Niimi, H Matsumoto, R Amitani, Y Nakano, M Mishima, M Minakuchi, et al. Airway wall thickness in asthma assessed by computed tomography. Relation to clinical indices. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000 Oct;162(4 Pt 1):1518-23.
7. Dunican EM, Elicker BM, Gierada DS, Nagle SK, Schiebler ML, Newell JD, et al. National Heart Lung and Blood Institute (NHLBI) Severe Asthma Research Program (SARP). Mucus plugs in patients with asthma linked to eosinophilia and airflow obstruction. *J Clin Invest* 2018; 128:997–1009.
8. Patyk M, Obojski A, Sokołowska-Dąbek D, Parkitna-Patyk M, Zaleska-Dorobisz U. Airway wall thickness and airflow limitations in asthma assessed in quantitative computed tomography. *Ther Adv Respir Dis*. 2020 Jan-Dec; 14:1753466619898598.
9. S A Little, M W Sproule, M D Cowan, K J Macleod, M Robertson, J G Love, et al. High resolution computed tomographic assessment of airway wall thickness in chronic asthma: reproducibility and relationship with lung function and severity. *Thorax*. 2002 Mar; 57(3):247-53.
10. H Gono, K Fujimoto, S Kawakami, K Kubo. Evaluation of airway wall thickness and air trapping by HRCT in asymptomatic asthma. *Eur Respir J*. 2003 Dec; 22(6):965-71.
11. Ravi S Aysola, Eric A Hoffman, David Gierada, Sally Wenzel, Janice Cook-Granroth, Jaime Tarsi, et al.

- Airway remodeling measured by multidetector CT is increased in severe asthma and correlates with pathology. *Chest*. 2008 Dec;134(6):1183-1191.
12. Sumit Gupta, Ruth Hartley, Umair T Khan, Amisha Singapuri, Beverly Hargadon, William Monteiro, et al. Quantitative computed tomography-derived clusters: redefining airway remodeling in asthmatic patients. *J Allergy Clin Immunol*. 2014 Mar; 133(3):729-38.e18.
 13. Dongzhu Lu, Qing Yu, Lichang Chen, Qiannuan Liao, Junkang Lan, Shu-Bing Chen. HRCT quantitative analysis of airway remodeling and airway trapping in the small airway asthma phenotype and its correlation with pulmonary function. *J Asthma*. 2023 Jan; 60(1):32-42.
 14. Rachid Berair, Ruth Hartley, Vijay Mistry, Ajay Sheshadri, Sumit Gupta, Amisha Singapuri, et al. Associations in asthma between quantitative computed tomography and bronchial biopsy-derived airway remodelling. *Eur Respir J*. 2017 May 1; 49(5):1601507.
 15. Nordenmark Lars H , Hellqvist Åsa, Emson Claire, Diver Sarah, Porsbjerg Celeste, Griffiths Janet M, et al. Tezepelumab and Mucus Plugs in Patients with Moderate-to-Severe Asthma. *NEJM Evid*. 2023 Oct; 2(10): EVIDoa2300135.
 16. McIntosh MJ, Kooner HK, Eddy RL, Jeimy S, Liciskai C, Mackenzie CA, et al. Asthma Control, Airway Mucus, and (129) Xe MRI Ventilation After a Single Benralizumab Dose. *Chest*. 2022 Sep;162(3):520-533.
 17. McIntosh MJ, Kooner Harkiran K, Eddy Rachel L, Wilson Angela, Serajeddini Hana, Bhalla Anurag, et al. CT Mucus Score and 129Xe MRI Ventilation Defects After 2.5 Years' Anti-IL-5Rα in Eosinophilic Asthma. *Chest*. 2023 Jul;164(1):27-38.
 18. Mario Castro, Alberto Papi, Celeste Porsbjerg, Njira L Lugogo, Christopher E Brightling, Francisco-Javier González-Barcala, et al. Effect of dupilumab on exhaled nitric oxide, mucus plugs, and functional respiratory imaging in patients with type 2 asthma (VESTIGE): a randomised, double-blind, placebo-controlled, phase 4 trial. *Lancet Respir Med*. 2025 Mar;13(3):208-220.
 19. Arismendi E, Cedillo H, García de La Fuente A, Paredes M et al. Real-world Impact of Mepolizumab on Mucus Plug reduction in severe eosinophilic asthma. *Eur Respir J* 2025; 66: Suppl. 69, PA4659.
 20. Campisi R, Nolasco S, Bonsignore M, Nardo AA, Intravaia R, Pelaia C, Vancheri C, Crimi N, Crimi C, "Effectiveness of Mepolizumab on Mucus Plug Reduction and Clinical Outcomes in Severe Eosinophilic Asthma: A Prospective Observational Study", *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice* (2025), October 24, 2025. Articles in Press.
 21. Tang M, Elicker BM, Henry T, Gierada DS, Schiebler ML, Huang BK, et al. Mucus Plugs Persist in Asthma, and Changes in Mucus Plugs Associate with Changes in Airflow over Time. *Am J Respir Crit Care Med*. 2022 May 1;205 (9):1036-1045.