

Eficacia y Seguridad de la Tractotomía Pálido-Talámica mediante Ultrasonido Focalizado Guiado por Resonancia Magnética en la Enfermedad de Parkinson: Una Revisión Sistemática

Efficacy and Safety of Pallidothalamic Tractotomy Using Magnetic Resonance-Guided Focused Ultrasound in Parkinson's Disease: A Systematic Review

Francisco Rivera¹ , Nelson Ernesto Quintanal Cordero¹ , Camila Casal¹ , Fabián Piedimonte¹  .

¹Fundación CENIT para la Investigación en Neurociencias. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina.

Autor para correspondencia: Fabián Piedimonte. Fundación CENIT para la Investigación en Neurociencias, Buenos Aires, Argentina.
Correo electrónico: fpiedimonte@fundacioncenit.org.ar

Cómo citar: Rivera F, Quintanal Cordero NE, Casal C, Piedimonte F. Eficacia y Seguridad de la Tractotomía Pálido-Talámica Unilateral mediante Ultrasonido Focalizado Guiado por Resonancia Magnética en la Enfermedad de Parkinson: Una Revisión Sistemática. NeuroTarget. 2026;20(1):37-43.

Recibido: 05-03-2026

Revisado: 14-05-2026

Aceptado: 16-07-2026

Publicado: 23-07-2026

Editor: Dr. Sergio Sacchettoni. 

Resumen

Introducción: La enfermedad de Parkinson (EP) es un trastorno neurodegenerativo progresivo que impacta significativamente en la calidad de vida de los pacientes. La tractotomía pálido-talámica mediante ultrasonido focalizado guiado por resonancia magnética ha emergido como una alternativa ablativa mínimamente invasiva para el tratamiento de los síntomas motores refractarios, particularmente la rigidez, la bradicinesia y las discinesias.

Métodos: Se realizó una revisión sistemática siguiendo las directrices PRISMA, con búsqueda exhaustiva desde enero de 2010 a diciembre del 2025 en PubMed/MEDLINE y Scopus. Se incluyeron estudios clínicos que evaluaron la eficacia y seguridad del ultrasonido focalizado guiado por resonancia magnética dirigido al tracto pálido-talámico en pacientes con EP, y que reportaron evaluaciones clínicas validadas y parámetros técnicos relevantes. Se consideraron ensayos clínicos, estudios prospectivos y series de casos con un mínimo de 3 pacientes y seguimiento mínimo de un mes.

Resultados: Cinco estudios evaluaron un total de 99 pacientes con EP avanzada. Las series mostraron reducciones consistentes del temblor (hasta el 84%), la rigidez (hasta el 70%) y la bradicinesia distal (hasta el 73%) en el lado tratado. Se documentó una supresión significativa de las discinesias inducidas por levodopa y una reducción de la dosis dopaminérgica en algunas cohortes. Las puntuaciones MDS-UPDRS III evidenciaron mejorías significativas tanto en el estado "on" como "off" de la medicación. Los eventos adversos fueron predominantemente leves o transitorios, incluyendo cefalea, alteraciones del habla y un caso reportado de freezing permanente de la marcha. Los parámetros técnicos incluyeron temperaturas focales superiores a 50–55 °C y dosis térmicas acumuladas ≥ 240

minutos equivalentes acumulados por punto focal (≥ 240 CEM43°C por punto focal).

Discusión: La tractotomía pálido-talámica mediante ultrasonido focalizado guiado por resonancia magnética representa un abordaje dirigido a un tracto de salida clave del sistema pálido, diferenciándose de los blancos nucleares clásicos como el núcleo ventral intermedio del tálamo, el núcleo subtalámico y el globo pálido interno. Los resultados disponibles sugieren un perfil de mejoría sintomática que podría posicionarla como alternativa complementaria dentro del espectro ablativo funcional. Sin embargo, la heterogeneidad metodológica, el tamaño muestral reducido y el seguimiento limitado impiden establecer conclusiones definitivas sobre su durabilidad y superioridad frente a otras técnicas.

Conclusiones: La tractotomía pálido-talámica mediante ultrasonido focalizado guiado por resonancia magnética demuestra eficacia clínica significativa en síntomas motores seleccionados de la EP, con un perfil de seguridad globalmente favorable en series especializadas. Se requieren estudios prospectivos multicéntricos con protocolos estandarizados para definir su rol definitivo dentro del algoritmo terapéutico de la cirugía funcional de la enfermedad de Parkinson.

Palabras clave: Enfermedad de Parkinson, MRgFUS, tracto pálido-talámico, tractotomía, cirugía funcional, discinesias, bradicinesia.

Abstract

Background: Pallidothalamic tractotomy using magnetic resonance-guided focused ultrasound (MRgFUS-PTT) has emerged as a minimally invasive ablative option for treating refractory motor symptoms in Parkinson's disease (PD), particularly rigidity, distal bradykinesia, and levodopa-induced dyskinesias.

Methods: A systematic review was conducted according to PRISMA guidelines, searching PubMed/MEDLINE and Scopus from January 2010 to December 2025. Clinical studies evaluating MRgFUS targeting the pallidothalamic tract (PTT) in PD patients were included. Eligible studies reported efficacy outcomes, safety data, and relevant technical parameters, with at least three patients and a minimum follow-up of one month.

Results: Five studies including 99 patients were analyzed. MRgFUS-PTT demonstrated clinically meaningful reductions in tremor (up to 84%), rigidity (up to 70%), and distal bradykinesia (up to 73%) on the treated side. Significant reductions in levodopa-induced dyskinesias and dopaminergic medication dosage were also reported. MDS-UPDRS III scores improved significantly in both "on" and "off" medication states. Adverse events were predominantly mild or transient, including headache, mild dysarthria, and speech disturbances, with one reported case of permanent freezing of gait.

Technical parameters commonly included focal temperatures above 50–55 °C and cumulative thermal doses ≥ 240 cumulative equivalent minutes per focal point (≥ 240 CEM43°C per focal point).

Discussion: MRI-guided focused ultrasound-guided pallidal tractotomy represents an approach targeting a key outflow tract of the pallidal system, differing from classic nuclear targets such as the ventral intermediate nucleus of the thalamus, the subthalamic nucleus, and the internal globus pallidus. Available results suggest a symptomatic improvement profile that could position it as a complementary alternative within the functional ablation spectrum. However, methodological heterogeneity, small sample size, and limited follow-up prevent definitive conclusions regarding its durability and superiority over other techniques.

Conclusions: MRgFUS pallidothalamic tractotomy demonstrates significant clinical efficacy in selected motor symptoms of PD, with an overall favorable safety profile in specialized series. However, limited sample sizes, methodological heterogeneity, and short follow-up periods underscore the need for prospective multicenter trials to define its definitive role within the functional surgical armamentarium for PD.

Keywords: Parkinson's disease, MRgFUS, pallidothalamic tract, tractotomy, functional neurosurgery, dyskinesia, bradykinesia.

Introducción

La enfermedad de Parkinson (EP) es un trastorno neurodegenerativo progresivo caracterizado por la pérdida de neuronas dopaminérgicas en la sustancia negra.¹ Presenta síntomas motores típicos como bradicinesia, temblor, rigidez y alteraciones posturales.² La EP es uno de los trastornos del movimiento más prevalentes a nivel mundial, siendo su prevalencia estimada en Sudamérica de 31-470 cada 100.000 habitantes.³ Aunque la terapia farmacológica dopaminérgica es eficaz inicialmente, con el tiempo muchos pacientes requieren alternativas terapéuticas avanzadas. Se estima que el tratamiento quirúrgico suele indicarse, en promedio, entre 10 y 13 años desde el inicio de la enfermedad. Dentro de las opciones terapéuticas avanzadas, la ablación mediante ultrasonido focalizado guiado por resonancia magnética (MRgFUS, por sus siglas en inglés), ha surgido como una opción segura y eficaz.⁴ La tractotomía palidotalámica unilateral y bilateral mediante MRgFUS (MRgFUS-PTT, por sus siglas en inglés) comienza a emerger como una variante efectiva para el tratamiento del síndrome rígido acinético de la EP. Si bien los hallazgos iniciales son prometedores, la reducida cantidad de trabajos y sus diferentes protocolos de sonicación y criterios de evaluación no permiten la estandarización de efectos duraderos y de seguridad neurocognitiva.

Es ampliamente conocido que la neurocirugía funcional ha demostrado eficacia a largo plazo en la EP empleando técnicas de neuromodulación o lesiones dirigidas a estructuras

subcorticales.⁵ Tradicionalmente, los objetivos incluyen el núcleo ventral intermedio del tálamo (VIM) para temblor y el globo pálido interno (GPi) y el núcleo subtalámico (NST) para el control de discinesias y la mejoría motora global.^{2,6} Sin embargo, el manejo de combinaciones sintomáticas complejas y la búsqueda de procedimientos menos invasivos han impulsado el interés por abordajes dirigidos a tractos de conducción motores, en particular el tracto pallidotalámico (PTT, por sus siglas en inglés), que integra la salida del GPi hacia el tálamo y participa en la transmisión y modulación de patrones motores anormales en la EP.^{7,8} Funcionalmente, el PTT transmite principalmente la influencia inhibitoria del GPi sobre los circuitos talamocorticales motores, por lo que su modulación o lesión puede reducir la transmisión de patrones motores patológicos responsables de la rigidez, bradicinesia y discinesias en la EP. Su cercanía a estructuras críticas (cápsula interna, núcleos talámicos y tractos sensoriales) exige precisión milimétrica en la focalización del mismo para minimizar efectos motores o sensitivos colaterales.⁹

En este marco, la técnica de ultrasonido focalizado guiado por resonancia magnética se ha consolidado como una técnica mínimamente invasiva que facilita la ablación térmica de estos objetivos neurológicos sin exposición a radiación ni necesidad de craniectomía.¹⁰ Aunque la mayor parte de la literatura sobre MRgFUS en EP se ha centrado en objetivos como el VIM, trabajos recientes han explorado la viabilidad técnica, eficacia clínica y perfil de seguridad de la tractotomía palidotalámica unilateral y bilateral mediante MRgFUS,

con resultados preliminares prometedores en la reducción del temblor, la rigidez y las discinesias, y con un perfil de eventos adversos mayoritariamente transitorios.^{11,12}

El objetivo de esta revisión sistemática es sintetizar y evaluar de manera crítica la evidencia clínica disponible sobre la eficacia, seguridad y parámetros técnicos de la tractotomía palidotalámica mediante MRgFUS en pacientes con enfermedad de Parkinson.

Métodos

Diseño del estudio

Se realizó una revisión sistemática siguiendo las directrices PRISMA, con el objetivo de evaluar la eficacia, seguridad y parámetros técnicos de la ablación del PTT mediante ultrasonido focalizado de alta intensidad guiado por resonancia magnética en pacientes con enfermedad de Parkinson.

Criterios de elegibilidad

Se incluyeron estudios clínicos que evaluaron la eficacia del MRgFUS dirigido al PTT en pacientes con enfermedad de Parkinson, que reportaron evaluaciones de seguridad y tolerabilidad del procedimiento y describieron parámetros técnicos relevantes, como temperatura máxima, número de sonicaciones y duración del procedimiento. Se consideraron ensayos clínicos controlados, estudios de cohorte prospectivos y series de casos con un mínimo de 3 pacientes, publicados en inglés o español, y con un seguimiento mínimo de un mes. Se excluyeron revisiones sin datos originales, estudios que no diferenciaron enfermedad de Parkinson de discinesias secundarias a otras causas, intervenciones combinadas no focalizadas, estudios preclínicos o en modelos animales, reportes de caso con menos de 3 pacientes, y publicaciones duplicadas o con datos superpuestos.

Estrategia de búsqueda

Se realizó una búsqueda exhaustiva desde enero del año 2010 hasta diciembre del 2025 en PubMed/MEDLINE y Scopus, empleando términos MeSH y palabras clave en inglés y español. Los términos principales incluyeron "Parkinson Disease" o "Enfermedad de Parkinson", "Focused Ultrasound" o "Ultrasonido Focalizado" o "High-Intensity Focused Ultrasound" o "HIFU" o "Pallido Thalamic Tract" o "PTT", y "MRgFUS" o "Magnetic Resonance-guided Focused Ultrasound". La combinación de búsqueda utilizada fue: ("Parkinson Disease" OR "Enfermedad de Parkinson") AND ("Focused Ultrasound" OR "MRgFUS" OR "High-Intensity Focused Ultrasound") AND ("Pallido Thalamic Tract" OR "PTT"). El prompt de búsqueda en las plataformas fue: ("MR-guided focused ultrasound" OR MRgFUS) AND (pallidothalamic OR pallido-thalamic OR "pallidothalamic tract").

Selección de estudios

La selección de artículos se realizó en dos etapas: primero,

cribado de títulos y resúmenes por dos investigadores independientes; posteriormente, análisis del texto completo de los artículos preseleccionados. Los desacuerdos se resolvieron por consenso o mediante la consulta a un tercer revisor.

Extracción de datos

Se diseñó una plantilla estandarizada para la recopilación de variables clínicas, técnicas y de evolución tecnológica. Las variables clínicas incluyeron número de muestra, sexo, duración de la enfermedad, reducción de discinesias evaluada mediante escalas validadas (UDysRS y sección III de la MDS-UPDRS), duración del seguimiento y eventos adversos. La evolución tecnológica se evaluó considerando la generación de la plataforma Exablate Neuro, mejoras en el control térmico y focalización, y avances en planificación y ejecución del procedimiento.

Síntesis de los datos

Dada la heterogeneidad de los estudios incluidos, se realizó un análisis descriptivo y cualitativo. Se enfatizó en la relevancia práctica de cada hallazgo para la interpretación de la eficacia y seguridad del MRgFUS en el tratamiento de la EP.

Consideraciones éticas

Esta revisión se basó únicamente en estudios publicados, por lo que no requirió aprobación del comité de ética. Se respetaron las buenas prácticas en revisiones sistemáticas y los derechos de autor de las publicaciones incluidas.

Resultados

Características de los estudios incluidos

Tras aplicar la estrategia de búsqueda y los criterios de elegibilidad, se identificaron 16 estudios, de los cuales, 5 cumplieron los criterios de inclusión y fueron incorporados al análisis cualitativo final. Los estudios excluidos corresponden principalmente a reportes duplicados, protocolos sin resultados clínicos, cartas al editor, estudios en poblaciones no parkinsonianas o series con abordajes no claramente atribuibles a la tractotomía palidotalámica mediante ultrasonido focalizado guiado por resonancia magnética.

Los cinco estudios incluidos comprendieron series clínicas prospectivas y retrospectivas, así como estudios observacionales monocéntricos. En total se incluyeron 99 pacientes con enfermedad de Parkinson refractaria o avanzada sometidos a MRgFUS-PTT. El seguimiento reportado varió desde evaluaciones intraoperatorias e inmediatas hasta seguimientos prolongados de hasta 12 meses, e incluyó procedimientos unilaterales y bilaterales escalonados.^{7,12-15}

Eficacia clínica

Los estudios analizados mostraron resultados consistentes que respaldan la eficacia clínica del MRgFUS-PTT en el control de los síntomas motores de la enfermedad de Parkinson,

particularmente el temblor, la rigidez y la bradicinesia distal. En la serie más amplia publicada por Galloway et al., que incluyó 47 pacientes (52 intervenciones), se observaron reducciones promedio del 84% en el temblor, del 70% en la rigidez y del 73% en la bradicinesia distal; todas estas reducciones en el lado tratado.¹² Asimismo, se documentó una supresión completa de las discinesias inducidas por levodopa, junto con mejoras significativas en el dolor, la distonía y los trastornos del sueño REM ($p < 0.01$), además de una reducción media del 55% en la dosis diaria de levodopa.¹² Un estudio realizado por el mismo grupo en 10 pacientes sometidos a MRgFUS-PTT bilateral, evaluado con seguimiento de un año luego de la segunda intervención, evidenció una reducción del 52% en la puntuación total del UPDRS off-medicación, con mejoras del 91% en el temblor, del 67% en la rigidez distal y del 54% en la bradicinesia distal.¹³ Sin embargo, los síntomas axiales, incluyendo marcha y estabilidad postural, no mostraron cambios significativos en comparación con el estado basal.¹²

Estudios más recientes que evaluaron el PTT como blanco complementario dentro de abordajes secuenciales VIM-PTT demostraron una mejoría clínica inmediata adicional tras la ablación del PTT, particularmente en la rigidez, incluso cuando el mayor impacto inicial sobre el temblor se producía tras la talamotomía VIM. En estas series, las puntuaciones UPDRS-III y CRST mostraron reducciones significativas inmediatamente después de la lesión del PTT ($p < 0.05$).¹⁴

De manera concordante, Ikezawa et al. evaluaron nueve pacientes con enfermedad de Parkinson avanzada sometidos a MRgFUS-PTT unilateral, con evaluaciones clínicas a los 3 meses y planificación de intervención contralateral hasta 12 meses. En este estudio, la puntuación MDS-UPDRS parte III mostró una mejoría significativa tanto en condición "on" como en "off" medicación, reduciéndose de 26.1 ± 15.4 y 54.4 ± 16.7 en la evaluación basal a 11.9 ± 9.6 y 26.6 ± 15.9 , respectivamente, a los tres meses del procedimiento unilateral. Asimismo, la Unified Dyskinesia Rating Scale (UDysRS, por sus siglas en inglés) se redujo de 25.0 ± 18.9 a 3.6 ± 7.0 , indicando una disminución marcada de las discinesias inducidas por levodopa. Debido a la mejoría observada en síntomas ipsilaterales y axiales, el tratamiento bilateral fue suspendido en siete de los nueve pacientes, lo que sugiere la presencia de efectos ipsilaterales y axiales funcionales tras la MRgFUS-PTT unilateral, al menos en el corto plazo.⁷

Por su parte, el estudio pionero de Magara et al. incluyó 13 pacientes con enfermedad de Parkinson refractaria tratados de manera unilateral mediante MRgFUS-PTT. Tras una adaptación del protocolo de sonicación —basada en la repetición de exposiciones térmicas finales—, nueve pacientes presentaron una reducción media del 60.9% en la puntuación UPDRS a los tres meses, junto con una mejoría subjetiva global del 56.7%. Estos resultados fueron comparables a los obtenidos históricamente con tractotomía pallidotálamica por radiofrecuencia y las lesiones se mantuvieron visibles en estudios de

neuroimagen de seguimiento.¹⁵

Seguridad y tolerabilidad

El perfil de seguridad del MRgFUS-PTT fue globalmente favorable en los cinco estudios incluidos. Los eventos adversos reportados fueron en su mayoría leves o transitorios, sin evidencia consistente de deterioro cognitivo significativo tras el procedimiento. En las series de Galloway et al., no se observaron cambios significativos en las puntuaciones del Montreal Cognitive Assessment (MoCA, por sus siglas en inglés) durante el seguimiento.¹³ Los efectos adversos más frecuentemente descritos incluyeron la cefalea transitoria durante la sonicación, fatiga, disartria leve, hipofonía y alteraciones del habla (particularmente en procedimientos bilaterales) donde se documentaron dificultades del lenguaje ($p = 0.06$).^{12,13}

En el estudio de Ikezawa et al., se reportó un evento adverso grave consistente en el freezing permanente de la marcha en un paciente, mientras que el resto de los eventos adversos no fueron descritos como clínicamente significativos en el artículo publicado.⁷ En el estudio de Magara et al., no se documentaron déficits neurológicos persistentes ni deterioro cognitivo postoperatorio, incluso tras la aplicación de múltiples exposiciones térmicas, y no se observaron hemorragias ni reacciones tisulares adversas en los estudios de resonancia magnética de seguimiento.¹⁵

Parámetros técnicos y consideraciones anatómicas

Los estudios incluidos describieron una focalización consistente del PTT a nivel del campo H1 de Forel, inmediatamente por debajo del tálamo, región donde convergen la ansa lenticularis y el fasciculus lenticularis. Las coordenadas estereotáxicas se definieron en relación con la línea intercomisural y el borde talámico medial, utilizando atlas estereotáxicos y reconstrucciones tridimensionales individualizadas.^{12,13} En este contexto, Galloway et al. definieron la localización del PTT como 6,5 mm lateral en el eje X desde el borde talámico medial, 1 mm posterior en el eje Y desde el punto medio intercomisural (ICP, por sus siglas en inglés) y a nivel del plano comisural en el eje Z.^{12,13} De manera concordante, Jamora et al. describieron que el PTT se localiza habitualmente a nivel de ICP (0–1,0 mm posterior) en el eje anteroposterior, a 8–10 mm lateral a la línea intercomisural en el eje mediolateral y a 6,5–7,5 mm lateral del borde tálamo-ventricular.¹⁶ Sin embargo, el mismo grupo reportó una localización de 0–1,5 mm inferior en el eje Z con respecto a la línea intercomisural. Asimismo, los estudios describieron la aplicación de múltiples subunidades lesionales de pequeño tamaño con el objetivo de optimizar la cobertura del tracto y minimizar la propagación térmica a estructuras vecinas.^{12,13} El estudio de Jamora et al. reportó protocolos de sonicación de 40–45 °C durante 10–20 segundos.¹⁶

En las series más recientes, esta estrategia se definió mediante la disposición contigua de las lesiones a lo largo del eje longitudinal del tracto y la incorporación de un control

explícito de dosis térmica. Se estableció como objetivo una dosis acumulada ≥ 240 minutos equivalentes acumulados (≥ 240 CEM43°C) por punto focal, con potencias máximas promedio cercanas a 1.000 ± 265 W, ajustadas en función de la densidad ósea del cráneo.^{12,13} Algunos estudios reportaron además criterios térmicos mínimos para la obtención

de una lesión efectiva, describiendo temperaturas sostenidas superiores a 50 °C, y en la mayoría de los casos superiores a 55 °C, así como volúmenes lesionales promedio cercanos a 290 ± 120 mm³, medidos en secuencias T2 de resonancia magnética a las 48 horas postoperatorias.^{13,14} La verificación de la localización del blanco se realizó de forma sistemática

Tabla 1: Características de los estudios incluidos sobre MRgFUS-PTT.

Autor/año	Diseño	N	Abordaje	Seguimiento (m)	Población	Principales resultados clínicos
Magara et al. 2014 ⁽¹⁵⁾	Serie prospectiva consecutiva, monocéntrica	13	Unilateral	3	EP refractaria	Reducción media del 60.9% de la UPDRS tras optimización del protocolo de sonicación; mejoría subjetiva global del 56.7%; resultados comparables con tractotomía pallidotalámica por radiofrecuencia; sin déficits neurológicos ni deterioro cognitivo significativo.
Gallay et al. 2019 ⁽¹²⁾	Serie prospectiva consecutiva, monocéntrica.	47	Unilateral y bilateral escalonado	12	EP	Reducción significativa de temblor (84%), rigidez (70%) y bradicinesia distal (73%) en el lado tratado; supresión completa de discinesias; reducción del 55% de la dosis de levodopa.
Gallay et al. 2021 ⁽¹³⁾	Análisis retrospectivo observacional	10	Bilateral (escalonado o en una sesión)	12	EP	Reducción del 52% en la UPDRS total en estado off; mejoría marcada del temblor (91%), rigidez distal (67%) y bradicinesia distal (54%); síntomas axiales sin cambios significativos.
Chen et al. 2025 ⁽¹⁴⁾	Serie prospectiva observacional	20	Dual-target (VIM + PTT ipsilateral)	Inmediato, 1 día y 6 meses	EP temblor dominante con rigidez	Mejoría significativa adicional de la rigidez tras PTT; reducción inmediata de la UPDRS-III y CRST.
Ikezawa et al. 2025 ⁽⁷⁾	Serie prospectiva observacional	9	Unilateral	3	EP avanzada	Mejoría significativa de la MDS-UPDRS III en condiciones on y off medicación; reducción marcada de las discinesias (UDysRS); efectos bilaterales clínicos tras MRgFUS-PTT unilateral; congelamiento permanente de la marcha en 1 paciente.

mediante reconstrucciones postoperatorias y co-registro con atlas estereotáxicos. Por otro lado, el estudio de Jamora et al. describió protocolos de sonicación inicial a temperaturas sublesionales (40–45 °C durante 10–20 segundos) con fines de localización y seguridad antes de la sonicación definitiva.¹⁶

Discusión

En esta revisión sistemática sintetizamos la evidencia clínica disponible sobre la MRgFUS-PTT como intervención para la enfermedad de Parkinson refractaria al tratamiento médico. En conjunto, los estudios analizados sugieren que el MRgFUS-PTT se asocia de forma consistente con mejoras clínicamente

relevantes de los síntomas motores cardinales de la EP, particularmente el temblor, la rigidez y la bradicinesia distal, manteniendo un perfil de seguridad globalmente favorable en series seleccionadas de pacientes. Estos hallazgos deben interpretarse en el contexto de la literatura contemporánea sobre la cirugía funcional en la EP, donde la mayor parte de la evidencia sobre MRgFUS se ha centrado históricamente en blancos nucleares clásicos como el núcleo ventral intermedio del tálamo, el globo pálido interno y el núcleo subtalámico. En contraste, los abordajes dirigidos a tractos, y en particular al sistema pallidotalámico, han sido menos explorados y evaluados de manera fragmentaria, con variabilidad en los diseños, protocolos técnicos y métricas de resultado. En este

sentido, el presente trabajo aporta una síntesis estructurada de la evidencia existente sobre MRgFUS-PTT, permitiendo delimitar con mayor claridad su eficacia clínica, perfil de seguridad y fundamentos técnicos, así como identificar las principales limitaciones metodológicas que condicionan su interpretación y su posicionamiento actual dentro del espectro de las terapias ablativas no invasivas para la enfermedad de Parkinson.

La tractotomía palidotalámica con MRgFUS se basa en un blanco distinto a los objetivos nucleares clásicos. La ablación del núcleo ventral intermedio del tálamo mediante MRgFUS ha demostrado eficacia principalmente en el control del temblor, especialmente en fenotipos temblor-dominantes, aunque con un impacto limitado sobre otros dominios motores.¹⁷⁻¹⁹ Por su parte, la subtalamotomía mediante MRgFUS se ha asociado a mejoras motoras globales en pacientes seleccionados con marcada asimetría clínica.²⁰ Sin embargo, la subtalamotomía posee un perfil de eventos adversos no despreciable, particularmente en relación con alteraciones de la marcha y del habla.^{6,16,21,22,23} De manera similar, la palidotomía con MRgFUS dirigida al GPi cuenta con evidencia de mayor efecto favorable sobre las discinesias y la severidad motora contralateral.^{21,24} En este contexto, el MRgFUS-PTT introduce un enfoque dirigido a un tracto de salida clave del sistema palidal, lo que podría explicar el patrón de mejoría observado en el temblor distal, la rigidez, la bradicinesia y las discinesias, reportado en las series disponibles. Además, posee un perfil que no se superpone completamente con ninguno de los blancos nucleares tradicionales y que sugiere un posible rol complementario dentro del espectro de blancos quirúrgicos ablativos en la enfermedad de Parkinson.^{12,13,15}

Desde el punto de vista técnico y terapéutico, el abordaje del tracto palidotalámico mediante MRgFUS debe interpretarse en relación con otras estrategias quirúrgicas dirigidas al mismo blanco. La estimulación cerebral profunda del STN o del GPi continúa siendo el estándar quirúrgico para pacientes con enfermedad de Parkinson avanzada, con eficacia sostenida en la reducción de la medicación y el control de las discinesias según el blanco seleccionado.²⁵ Sin embargo, la DBS implica la implantación de hardware intracraneal y requiere seguimiento a largo plazo, lo que puede limitar su indicación en determinados contextos clínicos o preferencias del paciente.^{25,26} En contraste, la tractotomía palidotalámica por radiofrecuencia representa un antecedente histórico de lesión directa del mismo sistema de conducción con mejoras motoras en fenotipos predominantemente acinético-rígidos, aunque a expensas de procedimientos invasivos y con menor control lesional intraoperatorio.²⁷ En este escenario, el MRgFUS-PTT emerge como una alternativa ablativa menos invasiva, que permite la interrupción precisa del tracto palidotalámico, combinando ventajas conceptuales de la lesión dirigida con un perfil de seguridad favorable en series seleccionadas. No obstante, la evidencia actual sigue siendo insuficiente para establecer su equivalencia o superioridad frente a técnicas lesionales con-

vencionales, lo que subraya la necesidad de futuros estudios para definir su posicionamiento definitivo dentro del arsenal quirúrgico para la enfermedad de Parkinson.

Limitaciones

Esta revisión sistemática presenta varias limitaciones inherentes a la evidencia disponible. En primer lugar, el número de estudios incluidos y el tamaño muestral global son reducidos, con predominio de series de casos y estudios observacionales monocéntricos, lo que limita la generalización de los resultados. En segundo lugar, existe heterogeneidad significativa en los diseños de estudio, protocolos de sonicación, criterios de selección de pacientes y métricas de evaluación clínica, lo que impidió la realización de un metaanálisis cuantitativo. Asimismo, algunos estudios presentan posible superposición parcial de cohortes y seguimientos relativamente cortos, lo que dificulta la evaluación de la durabilidad de los efectos clínicos y del perfil de seguridad a largo plazo, en particular en relación con la función cognitiva y los síntomas axiales. Finalmente, la mayoría de los procedimientos fueron realizados en centros con alta experiencia en MRgFUS, lo que introduce un potencial sesgo de centro experto y limita la extrapolación de los resultados a contextos más amplios.

Conclusiones

La evidencia disponible sugiere que la tractotomía palidotalámica mediante MRgFUS es una intervención ablativa no invasiva factible, asociada a mejoras clínicamente relevantes de síntomas motores seleccionados de la enfermedad de Parkinson, con un perfil de seguridad globalmente favorable en series cuidadosamente seleccionadas. No obstante, la limitada cantidad de estudios, la heterogeneidad metodológica y el seguimiento a corto plazo subrayan la necesidad de investigaciones prospectivas, multicéntricas y con desenlaces estandarizados para definir con mayor precisión el papel del MRgFUS-PTT dentro del espectro terapéutico de la cirugía funcional de la enfermedad de Parkinson.

Bibliografía

1. Bloem BR, Okun MS, Klein C. Parkinson's disease. *Lancet*. 2021;397(10291):2284-2303.
2. Postuma RB, Berg D, Stern M, et al. MDS clinical diagnostic criteria for Parkinson's disease. *Mov Disord*. 2015;30(12):1591-1601.
3. Kalia LV, Lang AE. Parkinson's disease. *Lancet*. 2015;386(9996):896-912.
4. Schlesinger I, Sinai A, Zaaroor M. MRI-Guided Focused Ultrasound in Parkinson's Disease: A Review. *Parkinsons Dis*. 2017;2017:8124624.
5. Marsili L, Bologna M, Chen LY, Espay AJ. Treatment of Motor Symptoms of Parkinson's Disease. *Neurol Clin*.

- 2025;43(2):341-363.
6. Miranda RB, Rivera F, Quintanal Cordero NE, Piedimonte F. Talamotomía VIM con RMgFUS en la Enfermedad de Parkinson: Eficacia, Seguridad y Técnica. *NeuroTarget*. 2025;19(1):48-54.
7. Ikezawa J, Yokochi F, Yamaguchi T, et al. Bilateral Effects of Unilateral Pallidothalamic Tractotomy Using Focused Ultrasound in Parkinson's Disease. *Mov Disord*. 2025;40(9):1983-1989.
8. Moser D, Zadicario E, Schiff G, Jeanmonod D. MR-guided focused ultrasound technique in functional neurosurgery: targeting accuracy. *J Ther Ultrasound*. 2013;1:3.
9. Guridi J, Gonzalez-Quarante LH. Revisiting Forel Field Surgery. *World Neurosurg*. 2021;147:11-22.
10. Bond AE, Shah BB, Huss DS, et al. Safety and Efficacy of Focused Ultrasound Thalamotomy for Patients With Medication-Refractory, Tremor-Dominant Parkinson Disease: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Neurol*. 2017;74(12):1412-1418.
11. Barrit S, Carron R, Hariz M. Staged Bilateral MR-Guided Focused-Ultrasound Pallidothalamic Tractotomy for Parkinson's Disease Cleared by the FDA: Caveat Empor! *Stereotact Funct Neurosurg*. Published online November 3, 2025:1-3.
12. Galloway MN, Moser D, Rossi F, et al. MRgFUS Pallidothalamic Tractotomy for Chronic Therapy-Resistant Parkinson's Disease in 51 Consecutive Patients: Single Center Experience. *Front Surg*. 2019;6:76.
13. Galloway MN, Moser D, Magara AE, Haufler F, Jeanmonod D. Bilateral MR-Guided Focused Ultrasound Pallidothalamic Tractotomy for Parkinson's Disease With 1-Year Follow-Up. *Front Neurol*. 2021;12:601153.
14. Chen JC, Chen CM, Aoh Y, Cheng YK, Lu MK, Tsai CH. Immediate Motor Control Enhancement via Pallidothalamic Tract (PTT) Circuit Ablation: A Dual-Target MR-Guided Focused Ultrasound Approach for Tremor-Dominant Parkinson's Disease. *Eur J Neurol*. 2025;32(9):e70345.
15. Magara A, Bühler R, Moser D, Kowalski M, Pourtehrani P, Jeanmonod D. First experience with MR-guided focused ultrasound in the treatment of Parkinson's disease. *J Ther Ultrasound*. 2014;2:11.
16. Jamora RDG, Khu KJO, Sy MCC, Pascual JSG, Legaspi GD, Aguilar JA. Transcranial magnetic resonance-guided focused ultrasound pallidothalamic tractotomy for patients with X-linked dystonia-parkinsonism: a study protocol. *BMC Neurol*. 2023;23(1):306.
17. Aubignat M. Clarifying Order and Carry-Over Effects in Sequential MRgFUS Thalamotomy and Pallidothalamic Tract Ablation. *Eur J Neurol*. 2025;32(11):e70444.
18. Sinai A, Nassar M, Sprecher E, Constantinescu M, Zaa-roor M, Schlesinger I. Focused Ultrasound Thalamotomy in Tremor Dominant Parkinson's Disease: Long-Term Results. *J Parkinsons Dis*. 2022;12(1):199-206.
19. Fasano A, De Vloo P, Llinas M, et al. Magnetic Resonance Imaging-Guided Focused Ultrasound Thalamotomy in Parkinson Tremor: Reoperation After Benefit Decay. *Mov Disord*. 2018;33(5):848-849.
20. Miranda RB, Rivera F, Quintanal Cordero NE, Piedimonte F. Eficacia y Seguridad de la Subtalamotomía Unilateral mediante Ultrasonido Focalizado Guiado por Resonancia Magnética en la Enfermedad de Parkinson: Una Revisión Sistemática. *NeuroTarget*. 2025;19(1):63-68.
21. Rivera F, Quintanal Cordero NE, Miranda RB, Piedimonte F. Palidotomía mediante ultrasonido focalizado guiado por resonancia magnética en la enfermedad de Parkinson: revisión sistemática de eficacia y seguridad. *NeuroTarget*. 2024;18(1):78-84.
22. Martínez-Fernández R, Mániz-Miró JU, Rodríguez-Rojas R, et al. Randomized Trial of Focused Ultrasound Subthalamotomy for Parkinson's Disease. *N Engl J Med*. 2020;383(26):2501-2513.
23. Martínez-Fernández R, Natera-Villalba E, Rodríguez-Rojas R, et al. Staged Bilateral MRI-Guided Focused Ultrasound Subthalamotomy for Parkinson Disease. *JAMA Neurol*. 2024;81(6):638-644.
24. Krishna V, Fishman PS, Eisenberg HM, et al. Trial of Globus Pallidus Focused Ultrasound Ablation in Parkinson's Disease. *N Engl J Med*. 2023;388(8):683-693.
25. Weaver FM, Follett K, Stern M, et al. Bilateral deep brain stimulation vs best medical therapy for patients with advanced Parkinson disease: a randomized controlled trial. *JAMA*. 2009;301(1):63-73.
26. Liu Y, Li F, Luo H, et al. Improvement of Deep Brain Stimulation in Dyskinesia in Parkinson's Disease: A Meta-Analysis. *Front Neurol*. 2019;10:151.
27. Horisawa S, Fukui A, Yamahata H, et al. Unilateral pallidothalamic tractotomy for akinetic-rigid Parkinson's disease: a prospective open-label study. *J Neurosurg*. 2021;135(3):799-805.