

Experiencia en el uso de microrregistro para estimulación cerebral profunda del núcleo subtalámico en pacientes con enfermedad de Parkinson

Experience with the use of microrecordings in subthalamic nucleus deep brain stimulation for Parkinson's disease

Jose Libardo Bastidas Benavides, MD¹; Javier Mauricio Serrano Ortiz, MD²;
Mauricio Rueda Acevedo, MD³; José Bareño Silva, MD⁴



José L. Bastidas Benavides, MD
Neurocirujano

¹ Neurocirujano, especializado en neurocirugía funcional. Jefe del Servicio de Neurocirugía Funcional, Unidad de Movimientos Anormales Clínica Soma. Medellín, Colombia.

² Neurocirujano, Universidad de Antioquia.

³ Neurólogo, especializado en movimientos anormales y neurofisiología gangliobasal. Unidad de Movimientos Anormales, Clínica Soma. Medellín, Colombia.

⁴ Magister en Epidemiología, Universidad Centro de Estudios Superiores de Medellín.

RESUMEN

Introducción: El uso de Microrregistro (MR) para colocación de electrodos de Estimulación Cerebral Profunda (ECP) continúa siendo debatido en la corrección del blanco preoperatorio, complicaciones y resultados. Describimos la experiencia de su uso en el mapeo del Núcleo Subtalámico (NST) en pacientes con Enfermedad de Parkinson (EP).

Materiales y métodos: Se realizó un estudio observacional, retrospectivo de pacientes con EP tratados desde 2009 hasta 2012. Se describió la discrepancia entre la planeación inicial y la definitiva a través de la suma de los vectores de desviación en los planos X y Y, complicaciones y porcentaje de mejoría, correlacionado con variables demográficas, anatómicas y de la evolución de la enfermedad.

Resultados: Se trataron 43 pacientes, se implantaron 81 electrodos. La desviación media del blanco preoperatorio fue 2,57 mm. El 71,6% de los electrodos tuvieron desviación ≥ 2 mm, 40,7% ≥ 3 mm y el 16% ≥ 4 mm. Ninguna variable se asoció con mayor desviación, con el número de trayectos realizado ni con diferencias en mejoría del UPDRS III. Sólo un paciente presentó hemorragia.

Conclusiones: El uso del MR permitió una corrección significativa del blanco en un amplio porcentaje de casos, la cual podría relacionarse con un mejor resultado clínico. No se asociaron factores al grado de desviación, la frecuencia de complicaciones serias es baja.

Palabras clave: Enfermedad de Parkinson; Estimulación cerebral profunda; Registro con microelectrodos

SUMMARY

Introduction: Use of Microelectrode Recording (MER) for refinement of preoperative target in the placement of Deep Brain Stimulation (DBS) electrodes and its possible complications and results continues to be debated. We describe our experience using MER in mapping Subthalamic Nucleus in patients with Parkinson's Disease (PD).

Materials and methods: An observational, retrospective study was conducted from our database of patients treated for PD from 2009 to 2012. Discrepancy between initial targeting and definitive placement coordinates was described through the sum of vector differences in planes X and Y, complications and functional results of patients were registered and correlated with demographic, anatomical and disease related variables.

Results: Forty three patients were treated, 81 electrodes were implanted. The mean deviation of preoperative target was 2,57 mm, the 71,6% of electrodes had a 2 mm deviation of more 2 mm, 40,7% ≥ 3 mm and 16% ≥ 4 mm. Neither variable was associated with deviation magnitude, number of trajectories made or differences in UPDRS III scale improvement. Only 1 patient had hemorrhage.

Conclusions: The use of MER allowed a significant target refinement in a high percentage of the cases which could be associated with a better clinical result. Factors associated to correction degree were not found. Serious adverse events were infrequent.

Key words: Parkinson's disease; Deep brain stimulation; Micro-electrode recording

INTRODUCCIÓN

La ECP para la EP ha demostrado efectividad en el tratamiento tanto de síntomas motores como no motores a corto y largo plazo siendo de gran utilidad en aquellos que han agotado opciones de tratamiento.¹⁻³ La aplicación de protocolos, técnicas y ayudas de grupos diferentes en cuanto a infraestructura y experiencia hace que se encuentren variaciones principalmente en cuanto al éxito del procedimiento, la efectividad del tratamiento y el perfil de complicaciones en los diferentes centros.⁴⁻⁹

La confirmación del blanco por métodos electrofisiológicos (registro con microelectrodos y macroestimulación) ayuda a corregir varias limitaciones de los métodos de ubicación con imagen y/o coordenadas estereotácticas que disminuirían la exactitud en la colocación final de los electrodos de ECP y teóricamente su efectividad en el tratamiento.¹⁰⁻¹⁴ Dado que la variación en algunos parámetros anatómicos cerebrales puede correlacionarse con desplazamientos en la localización de los ganglios basales, las coordenadas utilizadas regularmente podrían producir un error adicional en la ubicación del blanco.^{15,16}

Hasta el momento en la literatura disponible no se encuentran estudios de calidad que permitan establecer una superioridad entre una técnica u otra incluyendo el uso o no del microrregistro, aunque se ha demostrado que la localización más precisa de los electrodos de estimulación se traduce en mejores resultados.^{17,18} Para algunos autores el perfil de complicaciones potencialmente asociado al empleo de este recurso hace debatible su uso rutinario sin haberse demostrado la superioridad de los resultados en cuanto al desenlace funcional de los pacientes. Además, se debate la importancia de la magnitud en la modificación del blanco obtenido en la planeación preoperatoria por métodos directos o indirectos.¹⁹⁻²³

Este estudio tiene como objetivo presentar la experiencia y los resultados de los pacientes que se trataron con electrodos en el NST para EP además de definir el perfil de complicaciones, el grado de corrección del blanco obtenido con el uso de la técnica y la posible variación con relación a parámetros anatómicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Pacientes

Se realizó un estudio observacional, tipo retrospectivo, de la cohorte de pacientes atendidos durante los años 2009 y 2012. Para el presente estudio se incluyeron los pacientes atendidos por la Unidad de

Movimientos Anormales del Instituto Neurológico de Colombia con diagnóstico de EP y que fueron seleccionados como candidatos a manejo con ECP del NST de acuerdo a los criterios del grupo. Se excluyeron pacientes a quienes se implantaron electrodos en otros blancos y los que recibieron procedimientos ablativos, exceptuando aquellos a quienes se colocó un electrodo en el NST contralateral. El período de seguimiento mínimo para la inclusión en el análisis fue de 6 meses.

Procedimiento

Después del proceso de selección de la Unidad de Movimientos Anormales los pacientes fueron programados para su intervención quirúrgica, previa firma de consentimiento informado y valoración por el servicio de anestesiología.

Previo a la cirugía se realizaron imágenes de Resonancia Magnética (RM) encefálica con cortes de 1 mm de espesor en cada caso, con las cuales se realizó la planeación quirúrgica del blanco, la trayectoria y punto de entrada de acuerdo a las características anatómicas de cada paciente. Para el blanco quirúrgico se utilizó la combinación de un método indirecto a partir de la visualización del núcleo rojo y la ubicación directa del NST en la imagen.

Para el procedimiento se utilizó el marco estereotáctico Leksell modelo G. La fijación del aro se realizó bajo anestesia local y se fusionaron las imágenes de Tomografía Computarizada (TC) y RM para el cálculo de las coordenadas de estereotaxia con la ayuda del software Surgiplan® Elekta. Se obtuvieron los valores en los ejes X, Y y Z para el blanco inicial en el NST.

El procedimiento de implantación de los electrodos fue realizado bajo anestesia local con asistencia de un anesthesiologo en caso de requerir analgesia y sedación. En el punto de entrada seleccionado se realizó la trepanación y la trayectoria inicial fue la planeada previamente. Se realizó el primer paso del microelectrodo y se registró la actividad desde 15 mm previos al blanco para la identificación del NST y sus bordes superior e inferior. Posteriormente se realizaron nuevas trayectorias para la localización de los bordes posterior y lateral. La ubicación final del electrodo fue el área sensoriomotora del NST determinada por la alteración del registro con el movimiento pasivo de las extremidades del paciente localizado aproximadamente 3 mm medial al borde lateral y 2 a 3 mm anterior al borde posterior, en donde se implantaron los electrodos definitivos.

Las historias clínicas de los pacientes fueron revisadas para obtener los datos demográficos de los pacientes, sus comorbilidades, la duración de su en-

fermedad y su estado basal según la subescala motora del Unified Parkinson's Disease Rating Scale (UPDRS III). Como parámetros propios del procedimiento se analizaron el número total de trayectos realizados para la obtención del microregistro en la colocación final de cada electrodo y el desplazamiento en milímetros de las coordenadas en los ejes X y Y necesario según el registro neurofisiológico para la ubicación del electrodo en el área sensoriomotora del NST.

La desviación real en la colocación del electrodo final fue calculada a través de una sumatoria de vectores que corresponden a la magnitud de la desviación en los ejes perpendiculares X, Y. Como variables anatómicas se tuvo en cuenta el tamaño del III ventrículo en su espesor mayor al nivel del plano de las comisuras anterior y posterior (AC-PC) y la distancia entre estas, las cuales se midieron en la RM previa para correlación con la variación del blanco y el número de trayectos realizado.

El resultado funcional evaluado fue la mejoría en la escala del UPDRS III a partir de la diferencia porcentual entre su estado basal sin medicamentos (estado Off) y el estado postquirúrgico con el estimulador encendido en ausencia de medicamentos (On-Off). Se registraron las complicaciones de cada paciente según historia clínica y lectura de imágenes diagnósticas y se midió el volumen de neumoencefalo de acuerdo a la fórmula $A \times B \times C / 2$ en los pacientes en quienes la imagen postquirúrgica estuvo disponible para el cálculo.

Análisis de datos

Se planteó en una primera fase un análisis descriptivo para la presentación de los datos y en una segunda fase se tomaron variables independientes posiblemente relacionadas con una mayor desviación del blanco planeado preoperatoriamente (medido por la media del vector y la proporción de electrodos desviados 2 mm o más), un mayor promedio en el número de trayectos o una diferencia entre los porcentajes de mejoría en la escala del UPDRS III para su estudio.

Las variables estudiadas fueron: el sexo; la edad, dicotomizada entre pacientes considerados mayores (60 años o mayor) y menores; diagnóstico de Parkinson de 10 años o mayor (larga duración); puntaje de UPDRS III preoperatorio de 50 o mayor; un espesor del III ventrículo de 4 mm o mayor y una distancia AC-PC de 25 mm o mayor según las medidas promedio reportadas en la literatura;^{15,24} tener o no comorbilidades, y el número de trayectos mayor de 8 por paciente en aquellos con implantación bilateral. El análisis de asociación entre las variables independientes y el resultado funcional se hizo en los pacientes con implan-

tación de electrodos bilaterales para efectos de comparación y la relación entre las mismas con el número de trayectos y la desviación del blanco fue estudiado por electrodo colocado individualmente. Las pruebas estadísticas utilizadas para establecer las posibles asociaciones fueron χ^2 y test t para la diferencia de medias en las asociaciones a las variables dependientes, resultado funcional, promedio de trayectos y desviación del blanco.

RESULTADOS

Se incluyeron 43 pacientes con diagnóstico de EP tratados desde el inicio del grupo de Movimientos Anormales, el primero de ellos intervenido en enero de 2009 y el último en septiembre de 2012. El promedio de edad de los pacientes fue de 54,6 años, la edad mínima fue 39 y la máxima 72, el 23% fue mayor de 60 años. Se intervinieron 29 hombres y 14 mujeres y la duración de la enfermedad en los pacientes fue en promedio de 10,1 años (DE. 5,7).

En los pacientes seleccionados fueron implantados 81 electrodos de estimulación cerebral profunda. 36 pacientes recibieron implantes bilaterales. 4 pacientes recibieron implantes unilaterales. 3 pacientes recibieron implantación de electrodo de un lado y lesión del NST en el otro. Un paciente requirió la recolocación de electrodos bilaterales por fuga de corriente.

El resultado funcional según la escala del UPDRS III estuvo disponible para 34 de los pacientes con implantación bilateral. Se obtuvo la diferencia entre el blanco y la localización final para todos los electrodos implantados. En la mayor parte de los casos la colocación final estuvo en sentido medial y posterior y el rango de desviación estuvo entre 0,5 y 6,1 mm teniendo en cuenta la desviación real. Sólo 12 electrodos (14,8%) no requirieron modificación medial-lateral y 13 (16%) no requirieron modificación en el plano anteroposterior. Dos de los electrodos (2,4%) tuvieron coordenadas idénticas a la planeación después del mapeo electrofisiológico. Los detalles de las desviaciones obtenidas con el método fisiológico se muestran en la Tabla 1. En promedio se realizaron 4,5 trayectos por cada electrodo para su colocación final con un rango entre 3 y 11.

La medición de las dimensiones del tercer ventrículo mostró una media de 4,6 mm (mediana de 4 mm) con un rango entre 1 y 10 mm. La media de la distancia AC-PC fue de 24,7 mm (mediana 25 mm) con rango entre 22,5 y 27 mm.

Los pacientes estudiados tuvieron un puntaje basal en el UPDRS III de 50,6 en promedio y la diferencia absoluta entre su puntaje pre y postquirúrgico fue de 29,2 puntos, que equivalen a una mejoría del 56,3%.

Tabla 1. Diferencia entre el blanco inicial y el blanco determinado con asimetría del microrregistro para los 81 electrodos implantados

Orientación de la desviación	Electrodos con desviación n (%)	Promedio de la desviación mm	Electrodos con desviación		
			≥ 2 mm nn (%)	≥ 3 mm n (%)	≥ 4 mm n (%)
Medial	57 (70,4)	1,71	43 (53,1)	18 (22,2)	5 (6,2)
Lateral	12 (14,8)	1,70	3 (3,7)	1 (1,2)	0
Anterior	16 (19,8)	1,56	6 (7,4)	0	0
Posterior	52 (64,2)	1,55	25 (30,9)	15 (18,5)	5 (6,2)
Real	79 (97,5)	2,57	58 (71,6)	33 (40,7)	13 (16)

Tres pacientes (7%) presentaron alguna complicación quirúrgica y ningún paciente desarrolló déficit permanente. El único caso de déficit neurológico nuevo (hemiparesia) con respecto a su estado previo se observó en el contexto de un episodio convulsivo y una pequeña hemorragia subdural al segundo día postquirúrgico, logrando una recuperación completa en el segundo mes de seguimiento. Un paciente presentó un estado confusional con resolución en el segundo día postoperatorio. Otro paciente presentó un episodio convulsivo aislado autolimitado que no requirió administración a largo plazo de anticonvulsivantes. Ninguno de los 3 pacientes tenía comorbilidades asociadas y sus características se registran en la Tabla 2. Dado el pequeño número de complicaciones asociadas no se realizó análisis estadístico en busca de asociaciones.

Las complicaciones asociadas al hardware se presentaron en 9% de los casos. Dos pacientes presentaron migración de uno de sus electrodos, 1 paciente presentó fuga de corriente que requirió recolocación de los electrodos, 1 paciente tuvo un tracto fibroso alrededor de la extensión en región cervical que requirió liberación en un procedimiento quirúrgico (Tabla 2).

Al explorar la relación de las variables estudiadas con el número de trayectos por electrodos y la magnitud de la desviación del blanco no se encontraron asociaciones significativas así como en el análisis de las características posiblemente asociadas con el porcentaje de cambio del puntaje UPDRS III postquirúrgico. Las tendencias se muestran en las Tablas 3 y 4.

Tabla 4. Características respecto al desenlace funcional en la escala UPDRS III

Variable	Mejoría %	p
F vs M	55,9 vs 58,1	1
Edad (≥ 60 vs < 60 años)	52,6 vs 58,3	0,8
Dur. de la enfermedad (≥10 vs. <10 años)	56,7 vs 56,4	0,8
Hipertensión (sí vs no)	50,8 vs 58,7	0,7
Hipotiroidismo (sí vs no)	52,5 vs 58,1	0,7
Trayectos (>8 vs ≤ 8 tray de MR)	53,1 vs 62,1	0,9
UPDRS III basal (≥ 50 vs < 50)	58,9 vs 54,3	0,9

F: femenino; M: masculino; MR microrregistro
Mejoría promedio de porcentajes de cambio en UPDRS III

Tabla 2. Características de los pacientes con complicaciones potencialmente relacionadas al uso del microrregistro

Sexo	Edad	Puntaje basal UPDRS III	Mejoría (%)	Tr		Desv (mm)		Complicaciones
				Izq	Der	Izq	Der	
F	49	71	57,8	3	3	5,3	1	Estado confusional
M	53	Sin datos	Sin datos	5	3	0,7	0	Convulsión postoperatoria
M	57	36	13,9	4	4	2	4	Hemorragia subdural convulsión, hemiparesia

Tr: número de trayectos por electrodo; Desv: desviación real en milímetros con respecto al blanco inicial

Tabla 3. Características con respecto al promedio del número de trayectos por electrodo colocado y la proporción de electrodos con desviaciones

Variable	Promedio de trayectos		Desv ≥ 2mm	
	%	p	%	p
Masculino vs. Femenino	4,53 vs 4,29	0,5	74,0 vs 76,6	0,4
III Ventrículo (≥ 4 mm vs < 4 mm)	4,60 vs 4,36	0,8	65,7 vs 78,5	0,4
AC-PC (≥ 25 mm vs < 25 mm)	4,73 vs 4,18	0,7	74,3 vs 71,0	0,7
Edad (≥ 60 años vs < 60 años)	4,43 vs 4,55	0,9	70,4 vs 75,0	0,6
Duración de la enfermedad (≥ 10 vs, < 10 años)	4,48 vs 4,44	0,8	78,7 vs 66,6	0,2
UPDRS III basal (≥ 50 vs < 50)	4,58 vs 4,28	0,9	45,8 vs 35,7	0,2

En aquellos pacientes en quienes fue cuantificado el volumen de neumoencéfalo no se encontró una asociación significativa con el número de trayectos o con el resultado funcional.

DISCUSIÓN

Múltiples variaciones en equipos y técnica se han reportado para los procedimientos de colocación de los electrodos para ECP en los ganglios basales. En nuestra serie los pacientes tratados con la técnica descrita presentaron correcciones considerables usando el microregistro y con un perfil de morbilidad favorable.

La corrección del blanco inicial con métodos electrofisiológicos ha sido reportada por diferentes grupos con resultados variables siendo no significativa para algunos²⁵ e importante para otros.^{19, 20, 26, 27} Molinuevo y colaboradores evaluaron 30 electrodos seleccionando el blanco inicial combinando TC y coordenadas por mapas de estereotaxia encontrando 11 de los 30 electrodos fuera del NST. La distancia tridimensional media entre uno y otro fue de 2.1 mm con el 10 % de los casos separados por 4 mm o más en algún eje.²¹ En nuestro caso la sumatoria de los vectores en los planos X, Y dio como resultado una desviación media más amplia (2,57 mm) que se encuentra por fuera del rango de estimulación de los electrodos comúnmente usados.

Teniendo en cuenta el pequeño tamaño del NST (9,3 x 10,6 x 3,1 mm)^{28, 29} una desviación importante del blanco planeado implicaría una ubicación potencialmente fuera del mismo. Además, la organización somatotópica demuestra dentro de la estructura el área sensoriomotora (de ubicación posterolateral dorsal)³⁰⁻³² como el lugar más indicado para la estimulación. Esto determina que el margen de error tolerado sea aún menor en la procura de menores parámetros de estimulación para alcanzar el sitio ideal con la consiguiente mayor duración de las baterías y teóricamente reducción de los efectos adversos derivados de la estimulación de las estructuras adyacentes alcanzando mejores resultados clínicos. La desviación encontrada justifica el uso del microregistro ya que incluso la cantidad de electrodos con desviación igual o mayor a 3 y 4 mm fue de 40,7% y 16% respectivamente en la sumatoria de los vectores que sería la distancia verdadera en un plano bidimensional teniendo en cuenta que la distancia en profundidad podría ser corregida por los diferentes contactos a lo largo de un mismo electrodo.

El grado de desviación del blanco pudiera limitarse con el uso de mejores métodos de localización directa. En la serie publicada por Foster se mostró una menor corrección cuando se utilizó la fusión de RM y TC en

comparación con sus casos con TC únicamente (67% vs. 90% de los casos).²² Sin embargo, Guridi y colaboradores reportaron cifras comparables a las de este trabajo usando también RM como modalidad de imagen con discrepancias tanto en NST (36 pacientes) como GPi (21 pacientes) con diferencias mayores de 3 mm en 43 y 45% de los casos respectivamente.^{26, 27} Otras fuentes de error no serían corregidas mejorando la definición de las imágenes sin embargo.

Asimismo, en esta serie observamos que el uso del microregistro intraoperatorio puede permitir un mejor ajuste en la selección del blanco inicial basado en los resultados obtenidos (en nuestro caso, mayoría de correcciones en los planos medial y posterior). Los dos primeros tercios de la serie mostraron un porcentaje mayor de electrodos con desviación mayor o igual a 2 mm en comparación con el último tercio de la serie (78% vs. 57%). Aunque la diferencia no fue importante en cuanto a la desviación media y el número de trayectos realizados entre estos dos grupos, hay que tener en cuenta que con la experiencia se podría mejorar la precisión del planeamiento preoperatorio.

Las medidas usadas para representar la desviación del blanco (magnitud del vector) o la dificultad del mapeo fisiológico (número de trayectos) no estuvieron influenciadas por las variables estudiadas propias del paciente, la enfermedad o la anatomía. Aunque hubo variabilidad anatómica encontrada en las dimensiones del III ventrículo y esta podría considerarse una alteración que dificultaría la aplicación de las coordenadas en el método indirecto, la ausencia de una diferencia significativa podría sugerir que la rectificación a través de la visualización directa del blanco es suficiente para la corrección de esta limitación y como consecuencia sustenta que la combinación de ambos métodos sería el método de planeación más confiable, como ya ha sido sugerido.¹⁹ Por último, la cantidad de trayectos realizados fue uniforme sugiriendo que el mapeo electrofisiológico del NST es reproducible en el espectro de pacientes representados en esta muestra.

Nuestra serie muestra una buena evolución de los pacientes con implantación bilateral en su puntaje motor del UPDRS la cual es comparable a 6 meses con lo reportado en la literatura para el NST.³³⁻³⁵ Las variables estudiadas en cuanto su relación con el desenlace funcional de nuestros pacientes no presentaron diferencias importantes teniendo en cuenta una población compuesta en su mayoría por menores de 60 años y con pocas comorbilidades. La literatura con respecto a la efectividad del tratamiento ha demostrado utilidad en un amplio espectro de pacientes independiente de la edad, duración de la enfermedad, sexo o enfermedades concomitantes.³⁵⁻³⁷

La controversia vinculada al uso del microregistro es en mayor medida debida al posible aumento de las complicaciones del procedimiento, en especial el riesgo de hemorragia reportado por algunos como mayor en el grupo intervenido con MR.^{38,39} En esta serie el riesgo de hemorragia estuvo representado por un paciente (2%) quien tuvo control tomográfico en el postoperatorio inmediato sin sangrado y en las siguientes 24 horas presentó un sangrado subdural asociado a episodio convulsivo y hemiparesia que requirió manejo por rehabilitación hasta el segundo mes postoperatorio. En este caso el número de trayectos usados para la colocación del electrodo no fue mayor al promedio del grupo y por lo tanto no soporta la asociación de esta variable con el riesgo de sangrado. Ya que en procedimientos de neurocirugía funcional la probabilidad de hemorragia se ha reportado alrededor del 5% con una posibilidad de ser sintomática del 2% y dejar secuelas permanentes en el 1%. Esta casuística se encuentra dentro de lo esperado, mostrando la seguridad del procedimiento con MR siguiendo los parámetros técnicos específicos para disminuir este riesgo.⁴⁰⁻⁴²

En conjunto, no se presentó morbilidad permanente en la serie y la frecuencia de otras complicaciones postquirúrgicas: estado confusional (2%), convulsión (1 paciente con episodio aislado, 1 paciente asociado a hemorragia), infección (0), que potencialmente serían aumentadas por el uso del microregistro estuvieron dentro de lo esperado para los procedimientos estereotácticos. Las otras complicaciones también mostraron frecuencias dentro de lo reportado en la literatura.⁴²⁻⁴⁷

Aunque el número de complicaciones fue reducido y no es posible realizar un análisis estadístico concluyente, la relación de las mismas con el desenlace motor de los pacientes parece no tener un peso significativo en los resultados globales (57% de mejoría en pacientes con alguna complicación vs. 56,5% en pacientes sin complicaciones).

CONCLUSIONES

El refinamiento obtenido usando mapeo electrofisiológico del NST en esta serie de pacientes con EP, sugiere un beneficio verdadero corrigiendo una localización variable e imprecisa en un amplio porcentaje de pacientes con un riesgo quirúrgico bajo y sin comprometer resultados funcionales motores que fueron comparables con los reportados en la literatura.

Agradecimientos:

Al Instituto Neurológico de Colombia por facilitarnos la información.

REFERENCIAS

1. Castrioto A, Lozano AM, Poon YY, et al. Ten-year outcome of subthalamic stimulation in Parkinson disease: a blinded evaluation: *Arch Neurol*. 2011 Dec;68(12):1550-6.
2. Weaver FM, Follett KA, Stern M, et al. Randomized trial of deep brain stimulation for Parkinson disease: Thirty-six-month outcomes: *Neurology*. 2012 Jul 3;79(1):55-65.
3. Williams A, Gill S, Varma T, et al. Deep brain stimulation plus best medical therapy versus best medical therapy alone for advanced Parkinson's disease (PD SURG trial): a randomised, open-label trial: *Lancet Neurol*. 2010 Jun;9(6):581-91.
4. Bronstein JM, Tagliati M, Alterman RL, et al. Deep brain stimulation for Parkinson disease: an expert consensus and review of key issues. *Arch Neurol*. 2011 Feb;68(2):165.
5. Rezaei AR, Kopell BH, Gross RE, et al. Deep brain stimulation for Parkinson's disease: surgical issues. *Mov Disord*. 2006 Jun;21 Suppl 14:S197-218.
6. Temel Y, Wilbrink P, Duits A, et al. Single electrode and multiple electrode guided electrical stimulation of the subthalamic nucleus in advanced Parkinson's disease: *Neurosurgery*. 2007 Nov;61(5 Suppl 2):346-55.
7. Machado A, Rezaei AR, Kopell BH, et al. Deep brain stimulation for Parkinson's disease: surgical technique and perioperative management. *Mov Disord*. 2006 Jun;21 Suppl 14:S247-58.
8. Lanotte MM, Rizzone M, Bergamasco B, et al. Deep brain stimulation of the subthalamic nucleus anatomical, neurophysiological, and outcome correlations with the effects of stimulation: *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2002 Jan;72(1):53-8.
9. Goodman RR, Kim B, McClelland S 3rd, et al. Operative techniques and morbidity with subthalamic nucleus deep brain stimulation in 100 consecutive patients with advanced Parkinson's disease: *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2006 Jan;77(1):12-7.
10. Sumanaweera TS, Adler JR Jr, Napel S, Glover GH. Characterization of Spatial Distortion in Magnetic Resonance Imaging and Its Implications for Stereotactic Surgery: *Neurosurgery*. 1994 Oct;35(4):696-703.
11. Elias WJ, Fu KM, Frysinger RC. Cortical and subcortical brain shift during stereotactic procedures: *J Neurosurg*. 2007 Nov;107(5):983-8.
12. Maciunas RJ, Galloway RL Jr, Latimer JW. The application accuracy of stereotactic frames. *Neurosurgery*. 1994 Oct;35(4):682-94.
13. Burchiel KJ, Nguyen TT, Coombs BD, Szumoski J. MRI distortion and stereotactic neurosurgery using the Cosman-Roberts-Wells and Leksell frames. *Stereotact Funct Neurosurg*. 1996;66(1-3):123-36.
14. Sterio D, Zonenshayn M, Mogilner AY, et al. Neurophysiological refinement of subthalamic nucleus targeting. *Neurosurgery*. 2002 Jan;50(1):58-67.
15. Zhu XL, Hamel W, Schrader B, et al. Magnetic Resonance Imaging-Based Morphometry and Landmark Correlation of Basal Ganglia Nuclei. *Acta Neurochir (Wien)*. 2002 Oct;144(10):959-69.
16. Daniluk S, G Davies K, Ellias SA, et al. Assessment of the variability in the anatomical position and size of the subthalamic nucleus among patients with advanced Parkinson's disease using magnetic resonance imaging. *Acta Neurochir (Wien)*. 2010 Feb;152(2):201-10.
17. Paek SH, Yun JY, Song SW, et al. The clinical impact of precise electrode positioning in STN DBS on three-year outcomes. *J Neurol Sci*. 2013 Apr 15;327(1-2):25-31.
18. Paek SH, Lee JY, Kim HJ, et al. Electrode position and the clinical outcome after bilateral subthalamic nucleus stimulation. *J Korean Med Sci*. 2011 Oct;26(10):1344-55.
19. Zonenshayn M, Rezaei AR, Mogilner AY, et al. Comparison of anatomic and neurophysiological methods for subthalamic nucleus targeting. *Neurosurgery*. 2000 47:282-294.
20. Sugita K, Takaoka Y, Mutsuga N, et al. Correlation between anatomically calculated target point and physiologically determined

- point in stereotaxic surgery. *Confin Neurol* 1972;34:84-93.
21. Molinuevo JL, Valdeoriola F, Valls-Solé J. Usefulness of neurophysiologic techniques in stereotactic subthalamic nucleus stimulation for advanced Parkinson's disease: *Clin Neurophysiol*. 2003 Oct;114(10):1793-9.
 22. Foster A, Eljamel MS, Varma TR, et al. Audit of neurophysiological recording during movement disorder surgery. *Stereotact Funct Neurosurg*. 1999;72(2-4):154-6.
 23. Palur RS, Berk C, Schulzer M, Honey CR: A metaanalysis comparing the results of pallidotomy performed using microelectrode recording or macroelectrode stimulation. *J Neurosurg* 2002 96:1058-1062.
 24. Karaka P, Koç Z, Koç F, Gülhal Bozkır M. Morphometric MRI evaluation of corpus callosum and ventricles in normal adults. *Neurol Res*. 2011 Dec;33(10):1044-9.
 25. Senatus PB, Teeple D, McClelland S 3rd, et al. A technique for minimally altering anatomically based subthalamic electrode targeting by microelectrode recording. *Neurosurg Focus*. 2006 May 15;20(5):E8.
 26. Guridi J, Rodríguez-Oroz MC, Lozano AM, et al. Targeting the basal ganglia for deep brain stimulation in Parkinson's disease. *Neurology* 2000 55[Suppl 6]:S21-S28.
 27. Guridi J, Rodríguez-Oroz MC, Ramos E, et al. Discrepancy between imaging and neurophysiology in deep brain stimulation of medial pallidum and subthalamic nucleus in Parkinson's disease [in Spanish]. *Neurologia* 2002 17:183-192.
 28. Bubnov AN. Individual anatomic variability of the subthalamic nucleus in frontal sections. *Arkh Anat Gistol Embriol*. 1975;68(2):85-87.
 29. Patil PG, Conrad EC, Aldridge JW, et al. The anatomical and electrophysiological subthalamic nucleus visualized by 3-T magnetic resonance imaging. *Neurosurgery*. 2012 Dec;71(6):1089-95.
 30. Romanelli P, Heit G, Hill BC, et al. Microelectrode recording revealing a somatotopic body map in the subthalamic nucleus in humans with Parkinson disease. *Neurosurg*. 2004 Apr;100(4):611-8.
 31. Theodosopoulos PV, Marks WJ Jr, Christine C, Starr PA. Locations of movement-related cells in the human subthalamic nucleus in Parkinson's disease. *Mov Disord*. 2003 Jul;18(7):791-8.
 32. Rodríguez-Oroz MC, Rodríguez M, Guridi J, Mewes K, et al. The subthalamic nucleus in Parkinson's disease: somatotopic organization and physiological characteristics. *Brain*. 2001 Sep;124(Pt 9):1777-90.
 33. Kleiner-Fisman G, Herzog J, Fisman DN, et al. Subthalamic nucleus deep brain stimulation summary and meta-analysis of outcomes. *Mov Disord*. 2006 Jun;21 Suppl 14:S290-304.
 34. Deuschl G, Schade-Brittinger C, Krack P, et al. A randomized trial of deep-brain stimulation for Parkinson's disease. *N Engl J Med*. 2006 Aug 31;355(9):896-908.
 35. Schüpbach WM, Maltête D, Houeto JL, et al. Neurosurgery at an earlier stage of Parkinson disease: A randomized, controlled trial. *Neurology*. 2007 Jan 23;68(4):267-71.
 36. Schuepbach WM, Rau J, Knudsen K, et al. Neurostimulation for Parkinson's Disease with Early Motor Complications. *N Engl J Med*. 2013 Feb 14;368(7):610-22.
 37. 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 Jan 7;301(1):63-73.
 38. Honey CR, Berk C, Palur RS, Schulzer M. Microelectrode recording for pallidotomy: mandatory, beneficial or dangerous? *Stereotact Funct Neurosurg*. 2001 77:98-100.
 39. Alkhani A, Lozano AM. Pallidotomy for Parkinson disease: a review of contemporary literature. *J Neurosurg* 2001 94:43-49.
 40. Zrinzo L, Foltynie T, Limousin P, Hariz MI: Reducing hemorrhagic complications in functional neurosurgery: a large case series and systematic literature review. *J Neurosurg*. 2012 Jan;116(1):84-94.
 41. Sansur CA, Frysinger RC, Pouratian N, et al. Incidence of symptomatic hemorrhage after stereotactic electrode placement. *J Neurosurg*. 2007 Nov;107(5):998-1003.
 42. Binder DK, Rau GM, Starr PA. Risk factors for hemorrhage during microelectrode-guided deep brain stimulator implantation for movement disorders. *Neurosurgery*. 2005 56:722-732.
 43. Goodman RR, Kim B, McClelland S 3rd, et al. Operative techniques and morbidity with subthalamic nucleus deep brain stimulation in 100 consecutive patients with advanced Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2006 Jan;77(1):12-7.
 44. Vergani F, Landi A, Pirillo D, et al. Surgical, Medical, and Hardware Adverse Events in a Series of 141 Patients Undergoing Subthalamic Deep Brain Stimulation for Parkinson Disease. *World Neurosurg*. 2010 Apr;73(4):338-44.
 45. Hu X, Jiang X, Zhou X et al. Avoidance and management of surgical and hardware-related complications of deep brain stimulation. *Stereotact Funct Neurosurg*. 2010;88(5):296-303.
 46. Chou YC, Lin SZ, Hsieh WA, et al. Surgical and hardware complications in subthalamic nucleus deep brain stimulation: *J Clin Neurosci*. 2007 Jul;14(7):643-9.
 47. Guehl D, Cuny E, Benazzouz A, et al. Side-effects of subthalamic stimulation in Parkinson's disease: clinical evolution and predictive factors. *Eur J Neurol*. 2006 Sep;13(9):963-71.