

Abordaje seguro al núcleo subtalámico. Impacto del ángulo parasagital mayor de 20 grados

Safe approach to the subthalamic nucleus impact of the parasagittal angle greater than 20 degrees

Dr. Nelson Ernesto Quintanal Cordero, MSc. Rafael Rodríguez Rojas, Lic. Maylen Carballo Barrera, Dr. Iván García Maeso, Dr.C. Juan Teijeiro Amador, Dr. Raúl Macías González, Ing. Karla Batista García-Ramó, Dra. Ivón Pedroso Ibáñez.

Centro Internacional de Restauración Neurológica. (CIREN). La Habana. Cuba

Autor para correspondencia: Nelson E. Quintanal Cordero. Correo electrónico: nequintanal@gmail.com

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la precisión, efectividad y seguridad en la identificación y lesión del núcleo subtalámico utilizando una nueva estrategia quirúrgica, guiada por imágenes y registro eléctrico cerebral profundo multiunitario. Se le prestó especial atención a la dilatación ventricular y la atrofia cerebral en relación con la trayectoria del electrodo y la precisión de la localización del blanco quirúrgico.

Método: Se realizó un estudio prospectivo para la identificación y lesión del núcleo subtalámico en 49 cirugías realizadas al mismo número de pacientes con enfermedad de Parkinson. El método de localización del blanco quirúrgico se basó en imágenes de tomografía computarizada estereotáctica, registro eléctrico cerebral profundo multiunitario con semimicroelectrodo y micro-estimulación eléctrica. Se modificó la trayectoria parasagital recomendada para este tipo de procedimiento que se encuentra entre 0 y 15 grados, a un valor igual o mayor de 20 grados en el primer trayecto de registro, con el objetivo de evitar el ventrículo lateral, los vasos sanguíneos y los surcos cerebrales. Las trayectorias de los electrodos se analizaron en las imágenes postoperatorias de resonancia magnética de cráneo. Se utilizaron métodos estadísticos para evaluar la efectividad del procedimiento para la localización y lesión del blanco quirúrgico.

Resultados: La actividad eléctrica del núcleo subtalámico fue identificada en el primer trayecto de registro cerebral multiunitario en el 83,7% de los procedimientos. El número promedio de trayectorias por procedimiento fue de 5 y los trayectos necesarios para la lesión del núcleo subtalámico fueron 2. La media del ángulo parasagital en el primer trayecto fue de 21,72 grados, con un mínimo de 20 grados y un máximo de 27,5.

Conclusiones: El método de localización anatómica y electrofisiológica utilizado, siguiendo un ángulo parasagital igual o mayor de 20 grados, resulta efectivo y quirúrgicamente seguro para identificar el núcleo subtalámico y realizar la lesión del mismo en los pacientes con enfermedad de Parkinson, evitando así el sistema ventricular, los vasos sanguíneos y los surcos cerebrales.

Palabras clave: Cirugía ablativa, enfermedad de Parkinson, núcleo subtalámico, subtalamotomía.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the precision, effectiveness and safety in the identification and lesion of subthalamic nucleus using a new surgical strategy, guided by images and multi-unit deep brain electrical recording. Special attention was given to ventricular dilation and cerebral atrophy in relation to electrode trajectory and the accuracy of the surgical target's location.

Method: A prospective study for the identification and lesion of subthalamic nucleus in 49 surgeries performed at the same number of patients with Parkinsons disease. The method for locating the surgical target was based on images of stereotactic computed tomography, multi-unit deep brain electrical recording with semimicroelectrode and electrical micro-stimulation. The recommended parasagittal trajectory was modified for this type of procedure that is between 0 and 15 degrees, at a value equal to or greater than 20 degrees in the first recording trajectory, with the aim of avoiding the lateral ventricle, blood vessels and brain grooves. The trajectories of the electrodes were analyzed in the postoperative magnetic resonance imaging of the skull. Statistical methods were used to assess the effectiveness of the procedure for the location and lesion of the surgical target.

Results: The electrical activity of the subthalamic nucleus was identified in the first trajectory of multi-unit brain recording in 83.7% of the procedures. The average number of trajectories per procedure was 5 and the paths necessary for subthalamic nucleus lesion were 2. The mean parasagittal angle on the first path was 21.72 degrees, with a minimum of 20 degrees and a maximum of 27.5.

Conclusions: The method of anatomical and electrophysiological location used, following a parasagittal angle equal to or greater than 20 degrees, is effective and surgically safe to identify the subthalamic nucleus and perform its lesion in patients with Parkinson disease, thus avoiding the ventricular system, blood vessels and brain grooves.

Keywords: Ablative surgery, Parkinson disease, subthalamic nucleus, subthalamotomy.

INTRODUCCIÓN

El núcleo subtalámico (NST) es considerado en la actualidad el blanco preferido para el tratamiento quirúrgico de pacientes con enfermedad de Parkinson avanzada (EP), siendo la estimulación cerebral profunda (ECP) un método eficaz y bien establecido para dicho tratamiento,¹⁻¹⁵ aunque los métodos ablativos continúan siendo una alternativa con buenos resultados.¹⁶⁻²² En algunos artículos se describe en detalle el método para la localización del núcleo,^{4,10,15,18,23} y sólo un reducido número de estos se detienen a evaluar la efectividad de dichos métodos.^{4,18,23} La combinación de la localización directa e indirecta mediante imágenes radiológicas y el registro eléctrico cerebral profundo (RECP) ha sido ampliamente descrita y parece determinante para la localización del NST en particular.^{4,18,23-25} Este núcleo, por su localización, forma, posición espacial compleja y pequeño tamaño, necesita un óptimo método de localización, de manera especial cuando el objetivo es el de realizar cirugía ablativa.¹⁸

La subtalamotomía (lesión en la región sensoriomotora del NST) se realizó por primera vez en humanos en el año 1995 por el grupo de cirugía funcional y colaboradores del Centro internacional de Restauración Neurológica (CIREN), La Habana, Cuba, reportándose los resultados a partir del año 1997,^{17-19,26-28} donde se han utilizado estrategias quirúrgicas de aproximación al NST que incluyen un ángulo antero-posterior del electrodo de 40 a 65 grados que posteriormente fue modificado a un ángulo de 60 a 65 grados y un ángulo parasagital del electrodo de 0 a 15 grados.¹⁸ También se han realizado otros estudios sobre el tema.^{29,30}

Los factores quirúrgicos que aumentan el riesgo de hemorragia incluyen el uso de RECP, el número de trayectos y la incursión por surcos cerebrales o ventrículos laterales. El uso meticuloso de la neuroimagen, tanto para planificar la trayectoria como para la verificación del objetivo, puede evitar todos estos factores de riesgo relacionados con la cirugía y parece tener un riesgo significativamente menor de hemorragia y déficit permanente asociado.^{31,32}

Para disminuir las posibles complicaciones derivadas del compromiso del ventrículo lateral y los surcos cerebrales en las trayectorias de registro y lesión, en pacientes con dilatación ventricular y/o atrofia cerebral, hemos observado que es necesario realizar el abordaje del NST con un ángulo parasagital mayor de 15 grados.⁽³³⁾ En nuestro centro, en las cirugías realizadas desde el año 1995 al 2009 de un total de 1.613 trayectos de registro en subtalamotomías, solo 92 de estos (5,7%) tuvieron un ángulo superior a 20 grados, de los cuáles el primer trayecto de registro (A) nunca superó los 20 grados. Es por ello que realizamos una investigación que

permitiera evaluar la precisión, efectividad y seguridad de una nueva estrategia quirúrgica para la identificación y lesión del NST en pacientes con dilatación ventricular y/o atrofia cerebral.

MÉTODO

Se realizó un estudio prospectivo en 49 pacientes con diagnóstico de enfermedad de Parkinson idiopática, a los que se les realizó subtalamotomía unilateral. Todos los procedimientos fueron realizados por el mismo grupo quirúrgico en el Centro Internacional de Restauración Neurológica y todos los pacientes ofrecieron su consentimiento informado escrito acorde con la declaración de Helsinki.

A los pacientes se les realizó una evaluación preoperatoria, que incluyó examen neurológico, neuropsicológico e imágenes de Resonancia Magnética (RMI) no estereotácticas que fueron tomadas en equipo de 1.5 T Siemens (Magnetom Aera).

Descripción de la técnica quirúrgica. Subtalamotomía dorsolateral.

1. Colocación del marco estereotáctico.

Se colocó el marco estereotáctico (ESTEREOFLEX, Tecnosuma, La Habana, Cuba),³⁴ bajo condiciones de antisepsia y anestesia local, logrando el máximo paralelismo posible entre el plano del marco estereotáctico y el plano intercomisural (comisura anterior y comisura posterior). Esto se logra posicionando el marco perpendicular al plano medio-sagital y evitando la inclinación coronal del marco al igual que se intenta lograr una inclinación sagital del anillo correspondiente a un ángulo de entre 10 y 15° entre este y la línea imaginaria orbitomeatal.

2. Adquisición de imágenes estereotácticas.

Se tomaron imágenes estereotácticas de Tomografía Axial Computarizada (TAC) después de fijar el localizador estereotáctico sobre el marco y acoplar el mismo a la mesa del tomógrafo y con la administración intravenosa de contraste iodado.

Las imágenes son tomadas en cortes axiales, perpendiculares a la camilla, sin inclinación del gantry, cortes de 1 mm de espesor sin solapamiento entre imágenes, FOV de 250 mm y matriz de 512x512. Los equipos empleados fueron SOMATON Sensation cardiac 64 y SOMATON Definition 128 (Siemens, Erlangen, Alemania).

Las imágenes se exportaron a una computadora personal ubicada en el salón de operaciones.

3. Planificación de coordenadas hacia el blanco.

Se utilizó el Sistema de planificación STASSIS

(CIREN, La Habana, Cuba)³⁵ para la planificación sobre TAC. (Figura 1)

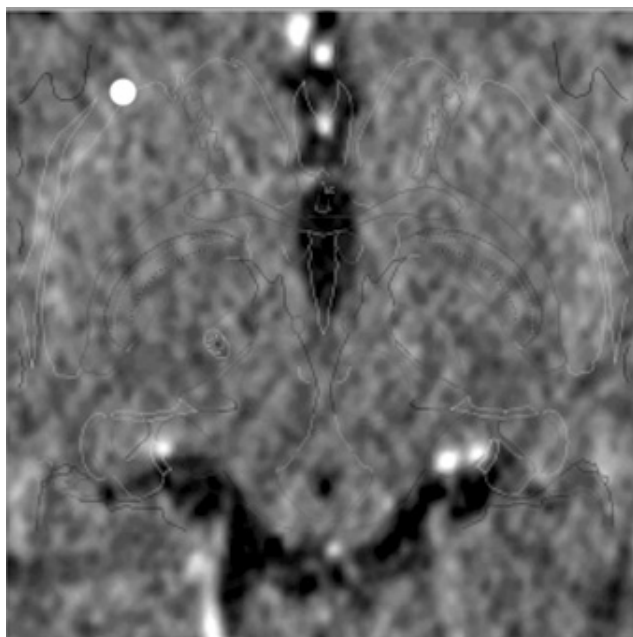


Figura 1. Sistema de planificación STASSIS (CIREN, La Habana, Cuba).

Se identificaron la comisura anterior (CA) y posterior (CP) y se ubicó el plano anatómico que correspondió con la mejor definición de ambas; de no coincidir estas en el mismo corte axial se reconstruyeron las imágenes. Una vez que los puntos CA y CP fueron localizados y marcados, se añadieron los cortes digitalizados del atlas estereotáctico de Schaltenbrand - Wahren (SW) a las imágenes de TAC, escalados tras ajuste automático en relación con la distancia intercomisural del paciente, definiéndose entonces el borde de los ventrículos, el tálamo-capsular y el pálido-capsular.

La localización del blanco quirúrgico y de la trayectoria hacia él, se realizó según lo mostrado en la tabla 1. La posición del blanco se estableció relativo al punto medio intercomisural (ICP). Los dos grados de libertad para definir la trayectoria se consideraron (alfa) respecto al plano medio sagital (evitando el sistema ventricular) y (beta) ángulo anteroposterior respecto al plano horizontal intercomisural. Las coordenadas iniciales para identificar esta región fueron partiendo de ICP, 3 mm posterior, 3 mm inferior y de 11 a 12 mm lateral. Las trayectorias con el semimicroelectrodo se

planificaron y realizaron con un ángulo parasagital (alfa) igual o mayor de 20 grados y un ángulo de 60 a 65 grados en dirección anteroposterior (beta) con respecto al plano AC-PC. (Figuras 2 y 3)

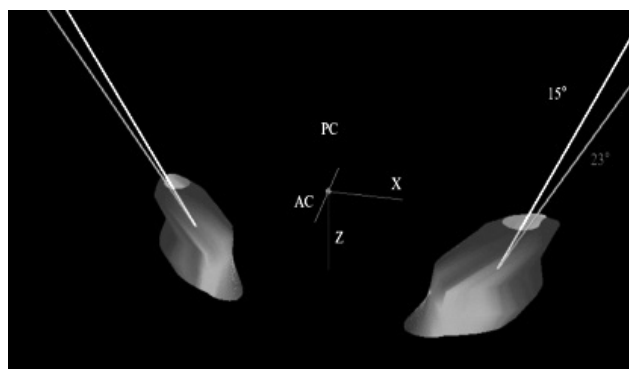


Figura 2. Reconstrucción 3D del NST desde series axiales del atlas digitalizado de Schaltenbrand & Wahren de 1977. Relación entre dos trayectorias parasagitales diferentes con un mismo ángulo anteroposterior (60 grados respecto al plano AC-PC) Trayectoria 1: 15 grados respecto al plano parasagital Trayectoria 2: 23 grados respecto al plano parasagital

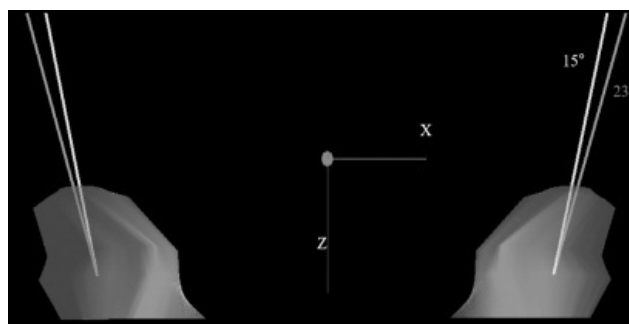


Figura 3. Reconstrucción 3D de vista frontal del NST desde series axiales del atlas digitalizado de Schaltenbrand & Wahren de 1977. Relación entre dos trayectorias parasagitales diferentes con un mismo ángulo anteroposterior (60 grados respecto al plano AC-PC). Trayectoria 1: 15 grados respecto al plano parasagital. Trayectoria 2: 23 grados respecto al plano parasagital

4. Localización del blanco quirúrgico por Registro Cerebral Multiunitario (RCM).

Se introdujo la cánula con semi-microelectrodo bipolar concéntrico ØUK 100 Unique Medical Co. Ltd, Tokyo, Japón- (Ø 0,4 mm e impedancia 100 KΩ o equivalente). La actividad neuronal multiunitaria se registró y visualizó con la ayuda del programa informático para registro y procesamiento digital NDRS

Tabla 1. Planificación del blanco quirúrgico (NST)

Posición relativa a ICP			Ángulos trayectoria	
Latero-lateral (Eje X) ± 11-12 mm	Pósterio-anterior (Eje Y) 3 mm	Dorso-ventral (Eje Z) - 3 mm	Parasagital (Ángulo alfa) ≥ 20°	Anteroposterior Ángulo beta) 60°-65°

(Neurosurgical Deep Recording System, CIREN, La Habana, Cuba).^{28,36} Este sistema consta de una máquina de registro de actividad multiunitaria, a la que se conectan los semi-microelectrodos. Las señales cerebrales del orden de los microvolts son amplificadas, filtradas y transferidas a una computadora personal. Se avanzó cuidadosamente bajo visión y audición de la actividad eléctrica multiunitaria desde un punto 20 mm superior al blanco teórico e intentando reconocer con ayuda del micro-manipulador las diferentes estructuras antes de su arribo al blanco. Se realizaron subsecuentes trayectos para establecer los límites entre sustancia gris y sustancia blanca y definir además la representación somatotópica del NST.

4.1- Identificación del NST.

El avance en cada trayectoria de registro, se realizó cada 1 mm en la proximidad del blanco y terminó cuando se sobrepasó el incremento de la actividad multiunitaria que regresó al nivel de los registros de sustancia blanca o se observó una caída de la actividad eléctrica integrada de 2/3 del máximo del núcleo. Se realizaron desplazamientos anteriores y/o posteriores buscando el borde anterior y posterior del núcleo en su eje antero-posterior, para luego, y en base a los mejores registros, desplazarnos a 45° hacia el extremo lateral y posterior del núcleo. Se realizó estimulación eléctrica en este trayecto desde un punto ubicado en la mitad superior del núcleo; esta estimulación es muy importante para el cálculo de la distancia a las fibras motoras provenientes de corteza motora.

Durante el registro multiunitario la identificación del NST se efectúa en base a los siguientes parámetros:

- Actividad eléctrica aumentada, caracterizada por una gran amplitud de descarga, siempre mayor a la actividad talámica y la sustancia negra pars reticulata.

- Registro secuencial de las siguientes estructuras según avanza el electrodo: tálamo anterior y/o corona radiada, zona incerta, NST, reticulata y/o sustancia blanca.

- Las variaciones de amplitud de las descargas tanto como la distancia en milímetro de la actividad eléctrica integrada, son factores determinantes del límite de la estructura.

1- Microestimulación.

Efectuada con el mismo electrodo de registro siendo utilizada para la identificación de las vías motoras provenientes de la corteza cerebral.

2- Macroestimulación.

Se realiza con equipo Generador de lesiones ELECKTA y con electrodos de punta activa de 2 mm. Los parámetros utilizados son de 61 Hz con ancho de

pulso de 0,5 ms en modo corriente controlada (mA) aumentando de forma creciente y manual desde los 0 mA hasta un máximo de 5 mA o hasta obtener efectos adversos. Se considera como umbral de seguridad a una estimulación de 2 mA o mayor, por debajo de los cuáles se reevalúa la localización de la lesión.

3- Lesión del área localizada y seleccionada.

Las coordenadas finales para la definición del área de lesión se basaron fundamentalmente, en los hallazgos neurofisiológicos con mínimas correcciones ante efectos que sugieran proximidad a la cápsula interna por estimulación.

Se completaron dos lesiones por radiofrecuencia con electrodo de 1,1 mm de diámetro y 2 mm de punta activa, a fin de cubrir en la medida de lo posible, los puntos de mayor actividad eléctrica, de manera que queden de la mitad del núcleo hacia arriba y sobresaliendo del núcleo entre 0.5 y 1 mm en la dirección del trayecto de lesión. La primera lesión es la más postero-lateral y la segunda a 2 mm anterior y 2 mm medial respecto a la primera. La temperatura máxima fue de 70 u 80 grados Celsius.

Este procedimiento se llevó a cabo bajo estricto control clínico con el paciente despierto, evaluando permanentemente respuestas positivas, tomando como base la rigidez, así como efectos adversos, principalmente motores.

A todos los pacientes se les realizó estudio de evaluación postquirúrgica de RMI, las cuáles fueron tomadas en equipo de 1.5 T Siemens (Magnetom Aera).

Se realizó un análisis estadístico de los datos obtenidos, tanto de la información anatómica y electrofisiológica como de las observaciones realizadas durante la intervención para cada registro. Se determinó el ángulo parasagital del primer trayecto de registro (A) en cada paciente así como el porcentaje de primeros trayectos que hicieron blanco en el NST; además se determinó el total y el porcentaje de los trayectos que pasaron por el núcleo así como la longitud de cada trayecto intranuclear.

RESULTADOS

Se realizaron un total de 285 trayectos de registro en 49 cirugías unilaterales a igual número de pacientes, 38 de estos casos fueron del sexo masculino y 11 del femenino, con un promedio de edad de 58 años y un intervalo de 43 a 68 años.

El primer trayecto se realizó con un mínimo de 20 grados y un máximo de 27,5 grados para una media de 21,72. Los diferentes valores del ángulo parasagital en el primer trayecto de registro y sus frecuencias se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Valores del ángulo parasagital en el primer trayecto de registro y sus frecuencias.

Primer trayecto de registro		
Valor de Alfa	Frecuencia	Porcentaje
20,0	20	40,8
20,5	1	2,0
21,0	4	8,2
21,5	1	2,0
22,0	9	18,4
23,0	6	12,2
24,0	2	4,1
25,0	3	6,1
25,5	1	2,0
26,5	1	2,0
27,5	1	2,0
Total	49	100

Con estos valores del ángulo parasagital, la trayectoria de los registros hasta alcanzar el blanco es generalmente a través de la cápsula interna, evitando la penetración en el sistema ventricular y sin atravesar además los vasos sanguíneos corticales y subcorticales, el núcleo caudado ni la porción antero-lateral del tálamo, como se muestra en un gráfico de la integral eléctrica del RCM realizado a estos pacientes. (Figura 4).

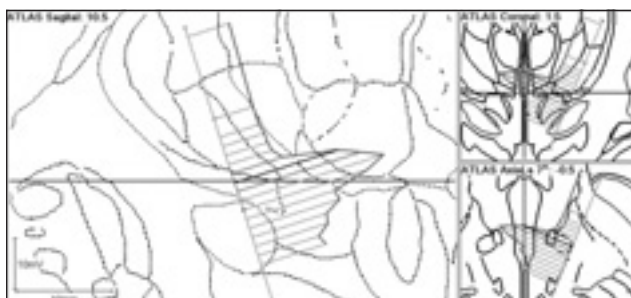


Figura 4 .Vista del NDRS.En las 3 ventanas muestra la representación de la posición espacial del trayecto del electrodo de registro (línea inclinada) en vistas sagital, coronal y axial (de izquierda a derecha), además de los 3 cortes de un atlas anatómico cerebral ajustado al paciente.

El promedio de las coordenadas del blanco quirúrgico y de los ángulos de las trayectorias para el mapeo del mismo se resumen en la tabla 3.

De los 49 trayectos de registro iniciales en cada uno de los núcleos estudiados se identificó el NST en 41 de ellos para un 83,7% de efectividad en el primer registro. (Tabla 4)

Tabla 3. Promedio de las coordenadas del blanco quirúrgico y de los ángulos de las trayectorias.

	Media	Desv. estándar
Coordenada X del Blanco (mm)	11,47	± 0,45
Coordenada Y del Blanco (mm)	- 3,1	± 0,64
Coordenada Z del Blanco (mm)	- 3,4	± 0,96
Ángulo parasagital (alfa)	21,72°	± 1,97
Ángulo anteroposterio (beta)	59,16°	± 2,98

Tabla 4. Identificación del NST en los trayectos de registro.

Identificación del NST en los trayectos de registro.		
	Frecuencia	Porcentaje
A	41	83,7
B	5	10,2
C	1	2,0
D	2	4,1
Total	49	100

Del total de los trayectos de RCM, el 90,5% fueron intranucleares. Los trayectos de registros necesarios para el mapeo del NST fueron de un mínimo de 3 y un máximo de 10, para una media de 5,73 registros por paciente, la frecuencia y el porcentaje de estos se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Número de Trayectos de Registro necesarios para el mapeo del NST.

Número de trayectos de registro	Frecuencia	Porcentaje
3	2	4,1
4	7	14,3
5	13	26,5
6	15	30,6
7	7	14,3
8	3	6,1
9	1	2,0
10	1	2,0
Total	49	100,0

La longitud de los trayectos intranucleares varió de un mínimo de 5 mm a un máximo de 9 mm para una media de 6,57 mm. Los diferentes valores de la longitud de los trayectos y sus frecuencias se muestran en la tabla 6.

Se realizaron 2 trayectos de lesión, la primera lesión (L1), es la más postero-lateral y la segunda (L2), a 2 mm anterior y 2 mm medial respecto a la primera. El promedio de las coordenadas del centro de las lesiones y de los ángulos de las trayectorias de las mismas se resumen en la tabla VII.

Tabla 6. Longitud del trayecto y sus frecuencias.

Longitud trayecto (mm)	Frecuencia trayectos (mm)	Porcentaje
5	6	12,2
6	21	42,9
7	12	24,5
8	8	16,3
9	2	4,1
Total	49	100,0

Tabla 7. Promedio de las coordenadas del centro de las lesiones y de los ángulos de las trayectorias.

	Media	Desv. estándar
Coordenada X del Blanco (mm)	11,95	± 1,50
Coordenada Y del Blanco (mm)	- 3,36	± 0,88
Coordenada Z del Blanco (mm)	- 3,58	± 0,95
Ángulo parasagital (alfa) L1	21,10°	± 2,36
Ángulo anteroposterio (beta) L1	60,18°	± 4,12
Ángulo parasagital (alfa) L2	22,45°	± 2,33
Ángulo anteroposterio (beta) L2	62,02°	± 4,14

No se presentaron complicaciones relacionadas con el proceder de localización, mapeo y lesiones del núcleo. Se comprobó la localización intranuclear de las lesiones en todas las imágenes de RMI postoperatorias así como los trayectos de los electrodos. (Figuras 5 y 6 respectivamente).

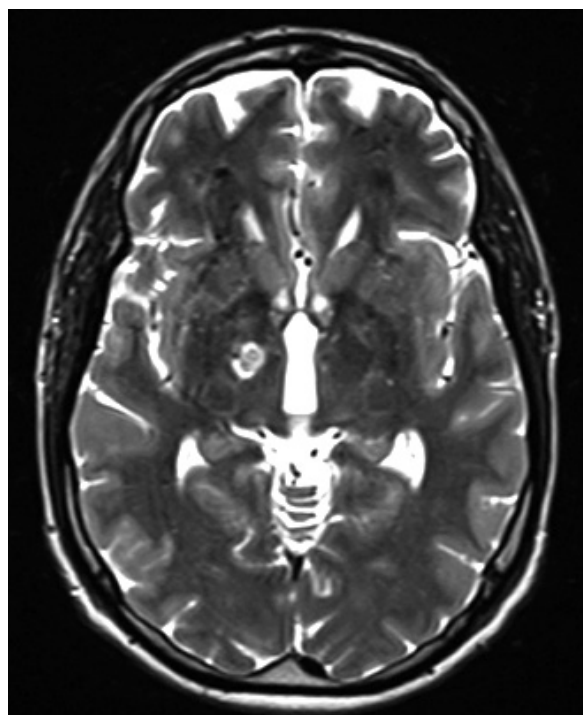


Figura 5. Imagen de RMI postoperatoria. Corte axial que muestra la localización de las lesiones en el NST

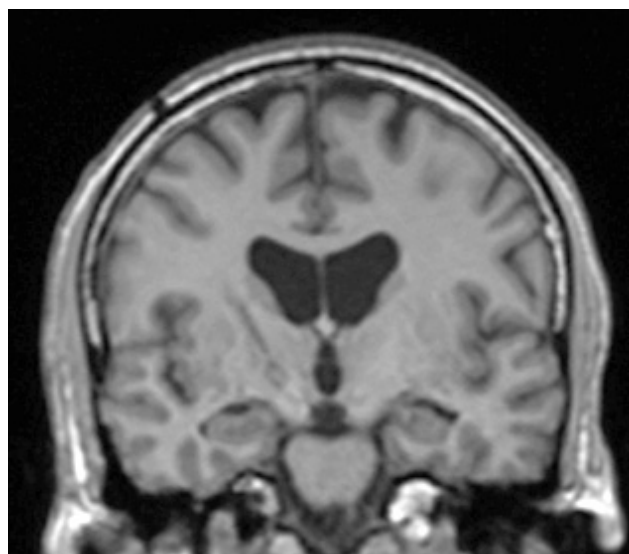


Figura 6. Imagen de RMI postoperatoria. Corte coronal que muestra una parte del trayecto capsular .

DISCUSIÓN

En los pacientes con diagnóstico de EP, a los que se les realizará tratamiento quirúrgico de subtalantomía dorsolateral o ECP del NST, es importante planificar la trayectoria de los electrodos evitando el sistema ventricular, los surcos cerebrales y los vasos sanguíneos,^{15,18,25,31,37} disminuyendo de esta manera las posibles complicaciones derivadas de atravesar estas estructuras, por lo que en aquellos pacientes que presentan dilatación ventricular y atrofia cerebral, es necesario realizar el abordaje del NST con un ángulo parasagital mayor de 15 grados para evitar dichas estructuras.³³

En un estudio publicado por L. Álvarez y colaboradores¹⁷ y otro de López-Flores y colaboradores,¹⁸ necesitaron realizar de 4 a 14 y de 5 a 15 trayectos de registro respectivamente para la identificación del NST con una media en ambos estudios de 7,2 trayectos; en otra publicación del mismo grupo¹⁹ la media de los trayectos de registro fue de 5,6 con un rango de 3 a 14. En nuestra investigación necesitamos de 3 a 10 trayectos de registro con una media de 5,7, por lo que la media de nuestro estudio es inferior a los mencionados; estos trabajos fueron realizados por el grupo de Neurocirugía Funcional del CIREN en años anteriores, por lo que la disminución de la cantidad de trayectos de registros necesarios para la identificación del NST debe estar dado por la mayor experiencia y dominio de la técnica del grupo y no por la modificación de la misma. Lo que es de destacar es que la modificación del ángulo parasagital no incrementó la cantidad de trayectos necesarios.

La efectividad en el primer registro es similar al reportado en la literatura revisada;¹⁸ estos autores refieren un 79% de registros intranucleares, resultando en nuestro trabajo de un valor más efectivo, siendo del 90,5%.

Hemos observado al igual que otros autores⁽²⁵⁾ que la longitud del trayecto intranuclear es más largo con trayectos parasagitales mayores de 20°, en dicho artículo se plantea que estos ángulos de trayectoria elegidos afectan las longitudes del NST registrado, favoreciendo trayectorias posterolaterales que tienden a tener NST más largos, mientras que las trayectorias anteromediales tienden a fallar más a menudo en la detección de STN. La dilatación del sistema ventricular parece ser más frecuente en hombres que en mujeres, lo cual es similar en nuestra muestra.

Nuestros resultados coinciden con otros autores que plantean que planificar la trayectoria del electrodo que evite los ventrículos laterales es una precaución simple que mejora la exactitud de blanco anatómico durante la colocación del electrodo para la estimulación cerebral profunda.^{15,31} La evasión de los ventrículos parece reducir la necesidad de trayectos múltiples a través del cerebro para alcanzar el blanco deseado como quedó definido por las observaciones clínicas y fisiológicas, así como otros beneficios que incluyen un menor riesgo de hemorragia (evitando los vasos del epéndimo y disminuyendo el número de pasos por el cerebro), la disminución del tiempo quirúrgico, y potencialmente un mejor resultado clínico.^{31,32} Hemos observado que los trayectos de registros con un ángulo parasagital mayor de 20 grados con mucha frecuencia tienen un trayecto capsular hasta alcanzar el NST, lo cual es reportado por otros autores.²⁵

Aunque las complicaciones quirúrgicas son poco frecuentes, se han informado secuelas neuropsicológicas y conductuales desde el 15 al 21% de los pacientes³⁸⁻⁴⁰. Una trayectoria típica con un punto de entrada pre coronal pasa por la corteza prefrontal, la sustancia blanca subcortical, el brazo anterior de la cápsula interna, y los núcleos de la base. Estas estructuras están todas involucradas en las funciones cognitivas o emocionales y el propio NST se subdivide en una parte motora, una parte límbica y otra asociativa. La relación entre las trayectorias, la ubicación de los electrodos y los cambios neuropsicológicos han recibido poca atención.⁴⁰

Muchos estudios informan un deterioro cognitivo después de la cirugía, especialmente en la fluidez verbal, la inhibición de la respuesta y la memoria. Para explicar este deterioro se han sugerido varias hipótesis, incluido el procedimiento quirúrgico. Una de estas hipótesis se refiere a la trayectoria del electrodo, mostrando un mayor riesgo de deterioro cognitivo al

penetrar el núcleo caudado.^{40,41} Witt y colaboradores⁽⁴⁰⁾ sugieren en un estudio publicado en el 2013, que existe deterioro cognitivo al comprometer al núcleo caudado en la trayectoria del electrodo, por lo que este núcleo debe evitarse en dicha trayectoria y como alternativa, realizar los trayectos más antero-laterales sería cognitivamente más seguro.

Más recientemente un estudio publicado por Isler y colaboradores⁴¹ consideran de importancia los resultados actuales de deterioro cognitivo provocado por los trayectos que atraviesan el núcleo caudado, aunque estos se basen en un diseño retrospectivo y un tamaño de muestra pequeño; además refieren que los datos publicados en la literatura hasta el momento, sugieren que el abordaje quirúrgico debería evitar atravesar el núcleo caudado, pero que en los casos en que esto no sea posible sin una fuerte desviación en el ángulo coronal, se podría permitir que los electrodos pasen a través de la parte lateral del caudado, ya que esta trayectoria afecta la esfera cognitiva solo a corto plazo después de la cirugía.

Con nuestra propuesta de un ángulo parasagital igual o mayor de 20 grados y un ángulo antero-posterior de 60° a 65° se puede evitar atravesar el núcleo caudado, impidiendo con ello el deterioro cognitivo que esto provoca; aunque consideramos que esta afirmación necesita de un estudio prospectivo que evidencie mejor estos resultados.

CONCLUSIONES

El método de localización anatómica y electrofisiológica utilizado, siguiendo un ángulo parasagital igual o mayor de 20 grados, resulta efectivo y quirúrgicamente seguro para identificar el núcleo subtalámico y realizar la lesión del mismo en los pacientes con enfermedad de Parkinson, evitando así el sistema ventricular, los vasos sanguíneos y los surcos cerebrales, así como las complicaciones que pudieran derivarse del compromiso de estas estructuras.

Este estudio debe ser completado con un análisis de correlación entre la localización y dimensiones de las lesiones en imágenes postoperatorias de resonancia magnética y resultados clínicos a largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bejjani BP, Dormont D, Pidoux B, Yelnik J, Damier P, Arnulf I, et al. Bilateral subthalamic stimulation for Parkinson's disease by using three-dimensional stereotactic magnetic resonance imaging and electrophysiological guidance. *Journal of neurosurgery*. 2000;92(4):615-25.
2. Burchiel KJ, Anderson VC, Favre J, Hammerstad JP. Comparison of pallidal and subthalamic nucleus deep brain stimulation for advanced Parkinson's disease: results of a randomized, blinded pilot study. *Neurosurgery*. 1999;45(6):1375-82; discussion 82-4.

3. Kumar R, Lozano AM, Montgomery E, Lang AE. Pallidotomy and deep brain stimulation of the pallidum and subthalamic nucleus in advanced Parkinson's disease. *Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society*. 1998;13 Suppl 1:73-82.
4. Limousin P, Greene J, Pollak P, Rothwell J, Benabid AL, Frackowiak R. Changes in cerebral activity pattern due to subthalamic nucleus or internal pallidum stimulation in Parkinson's disease. *Annals of neurology*. 1997;42(3):283-91.
5. Limousin P, Pollak P, Benazzouz A, Hoffmann D, Le Bas JF, Broussolle E, et al. Effect of parkinsonian signs and symptoms of bilateral subthalamic nucleus stimulation. *Lancet (London, England)*. 1995;345(8942):91-5.
6. Limousin P, Pollak P, Hoffmann D, Benazzouz A, Perret JE, Benabid AL. Abnormal involuntary movements induced by subthalamic nucleus stimulation in parkinsonian patients. *Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society*. 1996;11(3):231-5.
7. Molinuevo JL, Valldeoriola F, Valls-Sole J. Usefulness of neurophysiologic techniques in stereotactic subthalamic nucleus stimulation for advanced Parkinson's disease. *Clinical neurophysiology:official journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*. 2003;114(10):1793-9.
8. Pollak P, Benabid AL, Limousin P, Benazzouz A. Chronic intracerebral stimulation in Parkinson's disease. *Advances in neurology*. 1997;74:213-20.
9. Starr PA, Vitek JL, DeLong M, Bakay RA. Magnetic resonance imaging-based stereotactic localization of the globus pallidus and subthalamic nucleus. *Neurosurgery*. 1999;44(2):303-13; discussion 13-4.
10. Yokoyama T, Sugiyama K, Nishizawa S, Yokota N, Ohta S, Uemura K. Subthalamic nucleus stimulation for gait disturbance in Parkinson's disease. *Neurosurgery*. 1999;45(1):41-7; discussion 7-9.
11. Hamani C, Florence G, Heinsen H, Plantinga BR, Temel Y, Uludag K, et al. Subthalamic Nucleus Deep Brain Stimulation: Basic Concepts and Novel Perspectives. *eNeuro*. 2017;4(5).
12. Guridi J, Rodríguez-Rojas R, Carmona-Abellan M, Parras O, Becerra V, Lanciego JL. History and future challenges of the subthalamic nucleus as surgical target: Review article. *Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society*. 2018;33(10):1540-50.
13. Bari AA, Fasano A, Munhoz RP, Lozano AM. Improving outcomes of subthalamic nucleus deep brain stimulation in Parkinson's disease. *Expert review of neurotherapeutics*. 2015;15(10):1151-60.
14. Steigerwald F, Muller L, Johannes S, Matthies C, Volkmann J. Directional deep brain stimulation of the subthalamic nucleus: A pilot study using a novel neurostimulation device. *Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society*. 2016;31(8):1240-3.
15. Singh M, Shabari Girishan KV, Bajaj J, Garg K. Deep brain stimulation for movement disorders: Surgical nuances. *Neurology India*. 2018;66(Supplement):S122-s30.
16. Starr PA, Vitek JL, Bakay RA. Ablative surgery and deep brain stimulation for Parkinson's disease. *Neurosurgery*. 1998;43(5):989-1013; discussion -5.
17. Alvarez L, Macías R, López G, Alvarez E, Pavón N, Rodríguez-Oroz MC, et al. Bilateral subthalamic nucleus stimulation in Parkinson's disease: initial and long-term response. *Brain : a journal of neurology*. 2005;128(Pt 3):570-83.
18. López-Flores G, Miguel-Morales J, Teijeiro-Amador J, Vitek J, Pérez-Parra S, Fernández-Melo R, et al. Anatomic and neurophysiological methods for the targeting and lesioning of the subthalamic nucleus: Cuban experience and review. *Neurosurgery*. 2003;52(4):817-30; discussion 31.
19. Alvarez L, Macías R, Pavón N, Lopez G, Rodríguez-Oroz MC, Rodríguez R, et al. Therapeutic efficacy of unilateral subthalamic nucleus deep brain stimulation in Parkinson's disease: results in 89 patients followed for up to 36 months. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*. 2009;80(9):979-85.
20. Martínez-Fernández R, Rodríguez-Rojas R, Del Alamo M, Hernández-Fernández F, Pineda-Pardo JA, Dileone M, et al. Focused ultrasound subthalamotomy in patients with asymmetric Parkinson's disease: a pilot study. *The Lancet Neurology*. 2018;17(1):54-63.
21. Volkmann J. Subthalamotomy for Parkinson's disease: back to the future? *The Lancet Neurology*. 2018;17(1):23-4.
22. Rodríguez-Rojas R, Carballo-Barreda M, Alvarez L, Guridi J, Pavón N, García-Maeso I, et al. Subthalamotomy for Parkinson's disease: clinical outcome and topography of lesions. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*. 2018;89(6):572-8.
23. Yoon MS, Munz M. Placement of deep brain stimulators into the subthalamic nucleus. *Stereotactic and functional neurosurgery*. 1999;72(2-4):145-9.
24. Guridi J, Obeso JA. The role of the subthalamic nucleus in the origin of hemiballism and parkinsonism: new surgical perspectives. *Advances in neurology*. 1997;74:235-47.
25. Tamir I, Marmor-Levin O, Eitan R, Bergman H, Israel Z. Posterolateral Trajectories Favor a Longer Motor Domain in Subthalamic Nucleus Deep Brain Stimulation for Parkinson Disease. *World neurosurgery*. 2017;106:450-61.
26. Alvarez L, Macías R, Guridi J, Lopez G, Alvarez E, Maragoto C, et al. Dorsal subthalamotomy for Parkinson's disease. *Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society*. 2001;16(1):72-8.
27. Pedrosa Ibáñez I ÁGL, Macías R, López Flores G, Rodríguez-Rojas R, Teijeiro Amador J, Álvarez González E, Maragoto C, Padrón A, Díaz de la Fé A. Cirugía lesional como alternativa de tratamiento quirúrgico en la enfermedad de Parkinson (EP). Experiencia del CIREN a largo plazo. *Rev Mex Neuroci*. 2006;7(6):562-72.
28. Teijeiro J, Macías RJ, Maragoto C, García I, Alvarez M, Quintanal NE. [Deep brain recording and length of surgery in stereotactic and functional neurosurgery for movement disorders]. *Neurocirugía (Asturias, Spain)*. 2014;25(3):116-27.
29. Gill SS, Heywood P. Bilateral dorsolateral subthalamotomy for advanced Parkinson's disease. *Lancet (London, England)*. 1997;350(9086):1224.
30. Su PC, Tseng HM, Liu HM, Yen RF, Liou HH. Subthalamotomy for advanced Parkinson disease. *Journal of neurosurgery*. 2002;97(3):598-606.
31. Zrinzo L, van Hulzen AL, Gorgulho AA, Limousin P, Staal MJ, De Salles AA, et al. Avoiding the ventricle: a simple step to improve accuracy of anatomical targeting during deep brain stimulation. *Journal of neurosurgery*. 2009;110(6):1283-90.
32. Zrinzo L, Foltynie T, Limousin P, Hariz MI. Reducing hemorrhagic complications in functional neurosurgery: a large case series and systematic literature review. *Journal of neurosurgery*. 2012;116(1):84-94.
33. Quintanal NE, Rodríguez Rojas R. Safe approach to the subthalamic nucleus. 17th Quadrennial Meeting of the World Society for Stereotactic and Functional Neurosurgery. Berlin, Germany, June 26-29, 2017: Abstracts. *Stereotactic and functional neurosurgery*. 2017;95 Suppl 1:1-460.
34. Ríos AS, García JFP, Zaldivar LAO, Flores GL, Glez JLF, Figueredo EG, et al. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EXPLOTACIÓN DE UN SISTEMA ESTEREOTÁXICO.
35. Carballo M, Rodríguez R, López G, Torres A. Sistema tridimensional de planeamiento quirúrgico para PC. *Ingeniería Electrónica, Automática y comunicaciones*. 2005;26:19-23.
36. Teijeiro Amador J, Macías González R. Sistema computarizado de registro cerebral profundo como guía neuroquirúrgica en trastorno del movimiento. *Rev Mex Neuroci*. 2005;6(5):393-8.
37. Mazzone P, Stefani A, Viselli F, Scarnati E. Frameless Stereotaxis for Subthalamic Nucleus Deep Brain Stimulation: An Innovative

- Method for the Direct Visualization of Electrode Implantation by Intraoperative X-ray Control. *Brain sciences*. 2018;8(5).
38. Parsons TD, Rogers SA, Braaten AJ, Woods SP, Troster AI. Cognitive sequelae of subthalamic nucleus deep brain stimulation in Parkinson's disease: a meta-analysis. *The Lancet Neurology*. 2006;5(7):578-88.
39. Volkmann J, Daniels C, Witt K. Neuropsychiatric effects of subthalamic neurostimulation in Parkinson disease. *Nature reviews Neurology*. 2010;6(9):487-98.
40. Witt K, Granert O, Daniels C, Volkmann J, Falk D, van Eimeren T, et al. Relation of lead trajectory and electrode position to neuropsychological outcomes of subthalamic neurostimulation in Parkinson's disease: results from a randomized trial. *Brain: a journal of neurology*. 2013;136(Pt 7):2109-19.
41. sler C, Albi A, Schaper FL, Temel Y, Duits A. Neuropsychological Outcome in Subthalamic Nucleus Stimulation Surgeries with Electrodes Passing through the Caudate Nucleus. *Stereotactic and functional neurosurgery*. 2016;94(6):413-20.