

Biopsia estereotáctica de lesiones cerebrales



DR. SILVANO DÁVILA DEL SALTO

AUTORES

DRES. SILVANO DÁVILA DEL SALTO,
ERNESTO VARGAS RIVADENEIRA

*Neurocirujanos
Servicio de Neurocirugía del Hospital Quito
No. 1, de la Policía Nacional del Ecuador,
Quito, Ecuador
vargasrwe@gmail.com*

Resumen

Introducción: El auge de la cirugía estereotáctica se debe al hecho de ser un método quirúrgico mínimamente invasivo para llegar a un blanco con gran exactitud. Una de sus aplicaciones es la biopsia estereotáctica .

Material y método: 71 pacientes con lesiones intracraneales, sometidos a biopsia cerebral mediante cirugía estereotáctica guiada por tomografía computada, desde abril de 1991 a diciembre de 2006.

Resultados: En 70 de los 71 casos reportados la biopsia fue diagnóstica; en 49 de estos pacientes se diagnosticó tumor cerebral, 10 presentaron lesiones quísticas (cisticercosis en 6 casos, quiste aracnoideo en 3 y quiste coloideo del tercer ventrículo en 1), en 7 pacientes se diagnosticó absceso cerebral, que fue drenado. La mayor parte de las lesiones se localizó en regiones profundas del encéfalo o a nivel del tallo cerebral, en donde el alto riesgo de morbilidad de la cirugía convencional contraindicaba la resección quirúrgica.

Conclusiones: La biopsia estereotáctica es un procedimiento eficaz y seguro para la determinación histológica de lesiones cerebrales profundas con difícil acceso neuroquirúrgico. Con la biopsia estereotáctica no se presentaron complicaciones importantes.

Palabras clave: biopsia estereotáctica , tumor cerebral, tomografía computada.

Abstract

Introduction: The peak of the stereotactic surgery is due to be a surgical minimal invasive method to arrive to a target with great accuracy. One of its applications is the stereotactic biopsy.

Material and method: 71 patients with intracranial lesions subjected to cerebral biopsy, by means of stereotactic surgery guided by computed tomography.

Results: In 70 of the 71 reported cases, the biopsy was diagnostic; 49 patients had diagnosed of cerebral tumor, 10 patients presented cystic lesions (cysticercus in 6 cases, cyst aracnoideo in 3, and colloidal cyst of the third ventricle in 1), in 7 patients cerebral abscess was diagnosed that was drained. Most of lesions were located in deep regions of the brain or at level of the brainstem, where the high risk of morbimortality of the conventional surgery contraindicates the surgical resection.

Conclusions: The stereotactic biopsy is an effective procedure and insurance for the histological determination of deep cerebral lesions with difficult neurosurgical access. With the stereotactic biopsy important complications were not presented.

Words key: stereotactic biopsy, cerebral tumor, computed tomography.

Introducción

Con el uso frecuente y rutinario de la tomografía computada (TC) y la resonancia magnética nuclear (RMN), cada vez es más frecuente detectar pequeños procesos expansivos como neoplasias, quistes, o abscesos localizados en áreas profundas del encéfalo y tallo cerebral^(1,2,3,4). La historia clínica y los síntomas asociados a los hallazgos en las neuroimágenes nos permiten acercarnos al diagnóstico de estas patologías; pero en la gran mayoría de los casos, esto no puede determinar la naturaleza de la lesión, menos aún de su biología y, en caso de tumores, su grado histológico. La biopsia estereotáctica guiada por TC constituye un método neuroquirúrgico de alta precisión para la determinación de lesiones intraaxiales⁽¹⁾.

Esta técnica es ideal en pacientes en los cuales no se conoce la naturaleza del proceso expansivo intracraneal pero se requiere un diagnóstico preciso para determinar futuras decisiones terapéuticas. Está indicada en pacientes que rehúsan a someterse a una cirugía abierta, en lesiones que sean múltiples, profundas, localizadas en áreas elocuentes, para la evacuación de quistes sintomáticos^(3,5), evacuación de hematomas intracerebrales y en pacientes en mala condición general, en los cuales la cirugía abierta puede agravar su estado de salud y la morbimortalidad es muy elevada.

El procedimiento se realiza con anestesia local y sedación superficial en casi todos los pacientes, excepto en niños y en aquellos pacientes que por su estado neurológico no pueden cooperar durante el procedimiento. Requiere de una pequeña incisión, con lo cual se reduce de manera considerable el tiempo de cirugía y las posibilidades de complicaciones relacionadas con la técnica. A continuación presentamos una serie de 71 casos de 79 realizados; lamentablemente no disponemos de la información completa de ocho pacientes que fueron derivados de otros hospitales de la ciudad sólo para efectuarles este procedimiento, por lo que no se les ha incluido en esta serie. Todas las biopsias estereotácticas fueron guiadas por TC y se realizaron en el Hospital Quito, de la Policía Nacional del Ecuador.

Durante los primeros años la tendencia era realizar pocas biopsias debido a que se prefería realizar la extirpación quirúrgica de las lesiones; posteriormente se procedió a sistematizar la selección de los pacientes que requerían la biopsia. Hasta 1998 existía sólo en nuestro hospital la posibilidad de realizar cirugía estereotáctica, por lo que se concentraban en nuestro servicio pacientes de varios hospitales de Quito, Ecuador; a partir de ese año dos hospitales más incorporaron equipos de estereotaxia a sus servicios.

Actualmente, las indicaciones para realizar biopsias en nuestro servicio son: lesiones parenquimatosas profundas, intraventriculares, las localizadas en el tallo cerebral y en áreas elocuentes, menores de 20 mm. de diámetro, múltiples, profundas y pacientes en mal estado general. Se incluyen en nuestro estudio pacientes con lesiones encefálicas localizadas en la fosa posterior (cerebelo y ángulo pontocerebeloso) y en el tálamo; es decir, en pacientes en los cuales, por su localización, la cirugía abierta se convierte en un procedimiento de alto riesgo.

Pacientes y métodos

De abril de 1991 a diciembre del 2006 se realizaron 79 biopsias estereotácticas de lesiones expansivas intracraneales en el Servicio de Neurocirugía del Hospital Quito, de la Policía Nacional, en Quito, Ecuador. El procedimiento se realizó bajo sedación y anestesia local en 71 casos; en ocho casos, debido a la corta edad de los pacientes o a su estado neurológico, se realizó bajo anestesia general; en todos los casos un médico anesthesiólogo participó durante todo el procedimiento.

Se utilizó un equipo de estereotaxia Komai (Komai Mizuho Medical, de fabricación japonesa), guiada por TC con cortes cada 2 mm. (CT Toshiba XvisionEx modelo CXB-2009). La computadora del tomógrafo realizaba los cálculos y determinaba las coordenadas X, Y, Z (Figura 1), luego se trasladaba al paciente a sala de operaciones para realizar la biopsia. Se obtenía mínimo tres muestras.

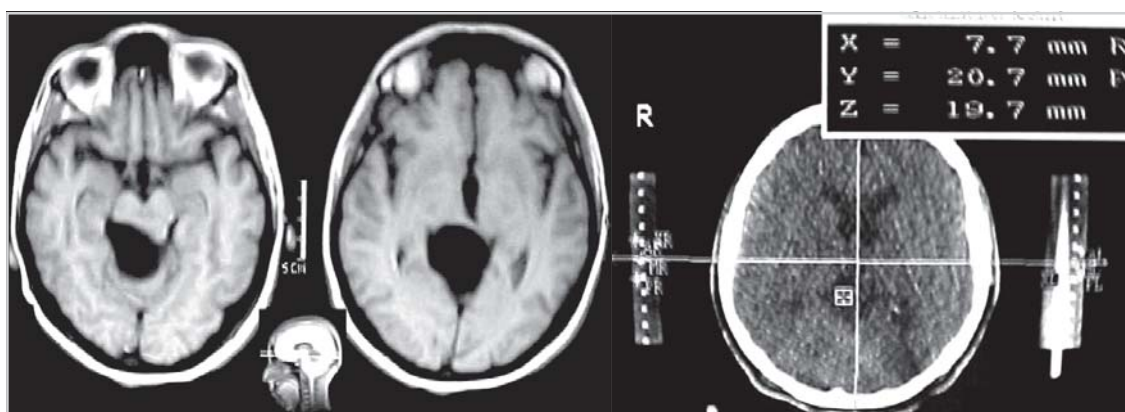


Figura 1. Quiste de la lámina cuadrigémina.

Resultados

Setenta y un pacientes se sometieron a biopsia estereotáctica; en 70 de ellos se llegó a un diagnóstico histopatológico de la lesión. En la Tabla 1 se sintetiza los resultados obtenidos de las biopsias. Cuarenta y nueve correspondieron a procesos tumorales del encéfalo, en diez casos se diagnosticó quistes (seis de cisticercos, tres quistes leptomeníngeos y un quiste colóideo del tercer ventrículo), en siete casos se drenó abscesos durante el procedimiento. En un paciente el resultado histopatológico reportó gliosis reactiva; debido a que el diagnóstico no fue adecuado, se propuso una nueva biopsia pero el paciente se rehusó. En un paciente con diagnóstico de astrocitoma grado III, con recidiva tumoral, se realizó una segunda biopsia dos años después; el diagnóstico fue glioblastoma multiforme.

En relación a la localización (Gráfico 1), cincuenta y tres fueron supratentoriales, cuatro intraventriculares, tres estuvieron en el tallo encefálico (dos en la protuberancia y uno en la unión bulbo protuberancial), cuatro en la fosa posterior (Figura 2) y uno en el ángulo pontocerebeloso. En este último caso, los estudios de TC sugerían que el tumor tenía un importante componente quístico; sin embargo, la biopsia demostró que el tumor era completamente sólido, lo cual se confirmó después durante la resección quirúrgica. Siete lesiones fueron de localización múltiple.

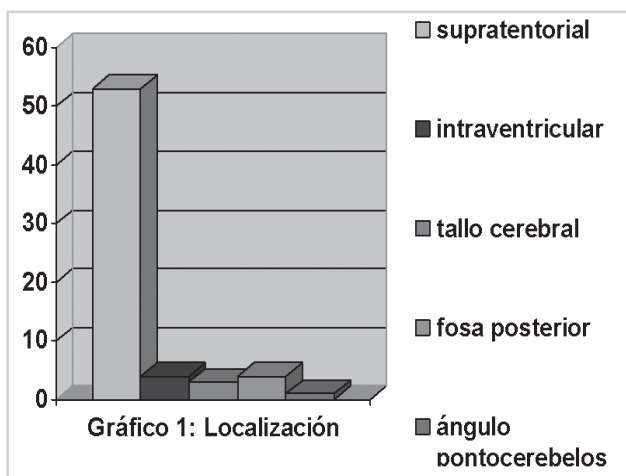
El tumor más frecuente fue el astrocitoma; en 37 casos la localización fue frontotemporal izquierda, en cuatro se observó lesiones talámicas y en un caso hipotálmica; éste se pudo evacuar parcialmente durante el procedimiento inicial de la biopsia debido a su contenido líquido.

En tres pacientes con diagnóstico de neurocisticercosis, quienes habían recibido tratamiento antiparasitario en varias ocasiones sin obtener resultados satisfactorios, la biopsia demostró astrocitoma en dos casos y en uno oligodendroglioma.

Por el contrario, en un paciente con sospecha clínica y por neuroimágenes de metástasis la biopsia demostró la presencia de un granuloma por cisticercosis; en otro caso, el de un paciente con diagnóstico de recidiva tumoral, el resultado histopatológico de la biopsia obtenida de varios cuadrantes de la lesión fue radionecrosis.

Tabla 1. Resultados histopatológicos de 71 biopsias estereotácticas

DIAGNÓSTICO HISTOPATOLÓGICO	Nº DE CASOS
TUMORES	
Astrocitoma pilocítico	2
Astrocitoma grado I	3
Astrocitoma grado II	9
Astrocitoma grado III	12
Astrocitoma grado IV	5
Glioblastoma multiforme	6
Metástasis	2
Oligodendroglioma	3
Germinomas	2
Meduloblastoma	2
Craneofaringioma	2
Neurinoma del acústico	1
QUISTES	
Cisticercosis	6
Quiste colóideo del III ventrículo	1
Quiste aracnoideo	3
ABSCEOS PIÓGENOS	
	7
OTROS	
	4
GLIOSIS REACTIVA	
	1



Respecto a la mortalidad inherente al procedimiento, se reportó sólo un caso (1.25%); se trataba de una paciente con un tumor hipotalámico en quien se demostró hemorragia intracerebral en el posoperatorio inmediato. En relación a las complicaciones no fatales, en seis pacientes (7.6%) se observó incremento transitorio del déficit neurológico en relación al estado preoperatorio, los cuales fueron tratados con corticoides, diuréticos osmóticos y fisioterapia; todos estos pacientes recuperaron su estado neurológico inicial. En dos pacientes (2.5%) se observó deterioro grave del estado neurológico inicial, con recuperación parcial y secuelas en relación al sangrado después de la biopsia.

En todos los casos en que fue necesario efectuar una cirugía a cielo abierto se confirmó el diagnóstico histopatológico inicial obtenido mediante la biopsia estereotáctica.

Discusión

La introducción de la cirugía estereotáctica cerebral se debe a Horsley y Clarke en 1908; posteriormente, fue popularizada por Spiegel y Wycis en 1947⁽⁶⁾. En Ecuador, la cirugía estereotáctica se inició en 1950 cuando el Dr. René Franco con un equipo de Cooper realizó las primeras intervenciones; lamentablemente no contamos con los datos de tales pacientes. El procedimiento se reinició en 1991 en el Hospital Quito, de la Policía Nacional del Ecuador, cuando el Dr. Silvano Dávila realizó las primeras biopsias por estereotaxia, y a partir del 2003 la neurocirugía funcional, para tratamiento del Parkinson y el temblor esencial^(7,8,9). Las indicaciones de esta técnica se han ampliado mucho a partir de esta fecha e incluyen: diagnóstico histológico de lesiones cerebrales profundas de difícil acceso quirúrgico, estimulación o lesión de núcleos específicos para tratamiento de movimientos anormales y la epilepsia, alivio del dolor y de desórdenes psiquiátricos, evacuación de hematomas^(1,3,4,10,11), drenaje de abscesos, resección y evacuación de quistes parasitarios, estenosis del acueducto de Silvio⁽¹²⁾, etc.

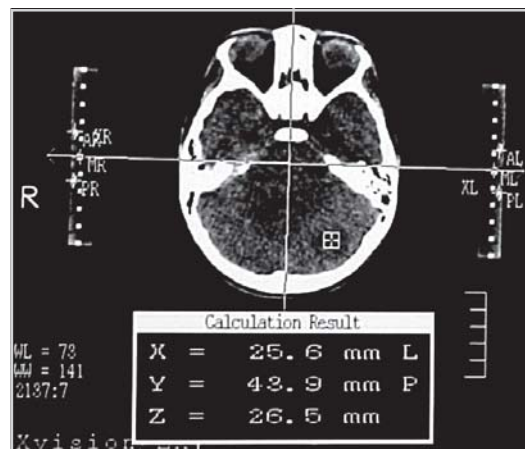


Figura 2. Astrocitoma pilocítico de fosa posterior.

Barnett et al.⁽⁵⁾ reportaron que ocho (3.7%) de 218 pacientes las biopsias estereotácticas fueron no diagnósticas; cinco de ellas (2.4%) fueron obtenidas de 208 lesiones supratentoriales y tres de 10 lesiones infratentoriales (30%). Los resultados no diagnósticos pueden ser debido a errores en la técnica, falla instrumental o ser resultado inherente al proceso^(1,4,5,8,13-16). Los errores diagnósticos de una biopsia estereotáctica se observan generalmente cuando existen lesiones que incluyen tejido inflamatorio, por lo que no sólo debe ser atribuido a errores de instrumentación sino también a fallas en la determinación del punto blanco, heterogeneidad del tumor, migración de la masa a biopsiarse por el desplazamiento producido por la cánula de biopsia, por ejemplo cuando se trata de quistes parasitarios o tumores sólidos, y fallas en el procesamiento de la muestra^(7,13,16-19). Cuando una biopsia estereotáctica en un paciente con sospecha de proceso expansivo tumoral es negativa, se debe proponer al paciente una nueva biopsia mediante cirugía abierta para confirmar el diagnóstico. Si el paciente no acepta la intervención, la radioterapia puede ser una alternativa. No se recomienda una segunda biopsia estereotáctica si la primera no fue diagnóstica^(13,16). Los nuevos métodos en la determinación del blanco a biopsiarse, en particular la resonancia magnética nuclear, hacen que cada vez las biopsias no diagnósticas sean menos frecuentes^(2,5,15). Hall et al. en una serie de 344 biopsias, con la utilización de resonancia magnética, obtuvieron un diagnóstico en el 100% de los casos y la morbilidad sólo llegó al 3%⁽¹⁾. Con la biopsia estereotáctica la posibilidad de diagnóstico histopatológico de las lesiones cerebrales profundas menores de 20 mm. de diámetro es del 96%^(1,8) y en las lesiones de tallo cerebral el grado de malignidad puede estudiarse entre el 63 y 73% de los casos^(4,5); datos similares se observan en nuestra serie.

En términos generales, el riesgo de complicaciones de la biopsia estereotáctica es bajo; la mortalidad y morbilidad grave relacionadas con este procedimiento varían entre 0.6 y 5.5% y la morbilidad leve, reportada en diferentes series publicadas, entre 3.3 y 8%^(10,7,8,17,18,13,1,20,3,5,21,14).

Las complicaciones determinan deterioro inmediato del paciente, la gran mayoría debido a hemorragia, y producen mortalidad hasta en el 2% de los casos⁽¹⁴⁾. Bernstein y Parent⁽¹³⁾ realizaron una revisión de más de 5000 biopsias publicadas en la literatura mundial y encontraron una tasa de complicaciones del 5%. Hall et al.⁽¹⁾ revisaron 17 series publicadas que incluyen 7500 pacientes en los cuales el diagnóstico se obtuvo en el 91% de los casos con una morbilidad del 3.5% y una mortalidad del 0.7%. El riesgo está en relación con la histología del tumor, su localización y la presencia de hipertensión intracraneal. Las lesiones malignas con neovascularización o aumento de vasos anómalos, como los gliomas malignos, linfomas y las metástasis, son muy propensos a producir sangrado o a producir cuadros de aumento de la presión intracraneal luego de la biopsia; en todos estos casos, las complicaciones por el procedimiento quirúrgico ocurren en aproximadamente el 6% de las biopsias^(10,17,15,13,22,20,4).

Las complicaciones más frecuentes están en relación al sangrado en el lecho o trayecto de la biopsia, la mayor parte de las cuales permanece asintomática; sin embargo, son causa de mortalidad en el 3.8% de los casos y de déficit permanente en el 3.7%^(1,5). El sangrado intraoperatorio se observa entre el 3.8 y 9.2% de los casos. Generalmente, se observa complicaciones durante las primeras 6 horas después de la biopsia y el lapso varía entre las 8 y 48 horas. La presencia de déficit neurológico posoperatorio es un alto indicador de hemorragia intracraneal en el 66.7 a 95% de los casos; inversamente, la ausencia de déficit posoperatorio a las 6 horas predice la ausencia de hemorragia en un 99.2%^(23,14,21). La mayoría de los pacientes con sangrado posoperatorio permanece asintomática y no es diagnosticada, por lo que se sugiere la utilización de la TC de manera rutinaria en el posoperatorio inmediato^(14,21).

El riesgo de hemorragia aumenta cuando la presión arterial media es alta; pero cuando el anestesiólogo mantiene la presión arterial media cercana o bajo la curva de autorregulación el riesgo disminuye⁽²⁴⁾. Diversos factores favorecerían la formación de hemorragia posoperatoria: El uso de anticoagulantes o antiagregantes, la hipertensión arterial, el número de biopsias realizadas, la edad del paciente y la localización de la lesión⁽²¹⁾. Kulkarni et al.⁽¹⁴⁾ realizaron TC posbiopsia en 102 casos; en el 59.8% se demostró hemorragia intracerebral, pero sólo en el 4% hubo deterioro neurológico posoperatorio y el 53% permaneció asintomático.

De igual manera, las lesiones localizadas en el tallo cerebral o en áreas cerebrales profundas pueden ser propensas a producir deterioro neurológico por incremento del edema perilesional luego de la biopsia, llegando en varias series publicadas en la literatura mundial hasta el 24% de los casos^(17,13,19,4,12). Los pacientes que al momento de la biopsia presentaron un importante aumento de la presión in-

tracraneal y disminución de la complacencia intracraneal tienen menor capacidad para tolerar incrementos de volumen; en estos casos, pequeños aumentos del edema perilesional o hemorragias pueden producir herniación transtentorial pudiendo desencadenar deterioro neurológico e incluso la muerte del paciente^(17,13,16,20,4).

Existen varios factores descritos en la literatura mundial en relación a la incidencia de complicaciones: La variabilidad del criterio quirúrgico, la experiencia y habilidad del neurocirujano, la selección de los pacientes, la determinación del blanco de la biopsia y la trayectoria de entrada de la cánula^(7,8,17,18,16,1,19,25,3,4). La precisión quirúrgica reduce el riesgo de complicaciones y aumenta la posibilidad diagnóstica de las lesiones^(2,5).

Existen centros neuroquirúrgicos donde se realizan biopsias con la técnica de "mano libre" o "alzada", con reportes de buenos resultados. Sin embargo, a pesar de las complicaciones mencionadas, la biopsia estereotáctica ofrece ventajas sobre la cirugía o biopsia "a mano libre" entre las que destacan la reducción del riesgo de edema y hemorragia perilesional. Goldstein et al.⁽²⁶⁾ al realizar un estudio comparativo de los dos procedimientos encontraron diferencias significativas en relación a la mortalidad de los pacientes y en la obtención de resultados histopatológicos. En la biopsia con la técnica de "mano libre" es indispensable el control tomográfico posoperatorio, por la alta posibilidad de sangrado en el área de la biopsia, y principalmente está indicado si los tumores superficiales tienen más de 20 mm. de diámetro.

En el estudio de Goldstein et al.⁽²⁶⁾ cuatro de los pacientes sometidos a biopsia "a mano libre" desarrollaron importantes hematomas en el lecho quirúrgico que debieron ser evacuados quirúrgicamente en el posoperatorio inmediato, a diferencia de un solo hematoma en el lecho operatorio en el grupo de pacientes sometidos a biopsia estereotáctica, el cual se resolvió de manera espontánea sin necesidad de intervención quirúrgica. Por otra parte, la mortalidad de la biopsia estereotáctica es del orden del 0.3%, mientras que en la biopsia "a mano libre" es del 5 al 27%. La morbilidad en la biopsia a "mano libre" o "alzada" es del 4 al 40%^(26,27,28,4). Bernays et al.⁽²⁹⁾ concluyen: "En la biopsia a mano alzada, pequeños movimientos o angulación del paciente o del cirujano durante la biopsia pueden resultar en considerables movimientos traslacionales en el área blanco incrementando el riesgo de lesión".

Conclusiones

La elevada confiabilidad diagnóstica y la baja morbimortalidad del procedimiento hacen que la biopsia estereotáctica sea la alternativa de elección en pacientes con procesos expansivos intracraneales

en los cuales, por su estado neurológico, localización y tamaño, el acceso quirúrgico es de alto riesgo, de manera especial en pacientes con lesiones pequeñas, múltiples, localizadas en el tallo cerebral y en pacientes que rehúsan la intervención quirúrgica abierta; precisamente, es en pacientes con lesiones cerebrales localizadas en áreas profundas en los cuales la biopsia por estereotaxia es más útil que la cirugía abierta o que la biopsia con la técnica de "mano libre" para obtener mejores resultados diagnósticos, que a su vez permiten una mejor planificación terapéutica definitiva^(8,18,30,13).

La baja morbilidad de la biopsia estereotáctica guiada por TC o RMN garantiza la aplicación de esta técnica en pacientes que antes fueron catalogados como inoperables^(18,30,1,2). El mayor logro de esta técnica es el desarrollo de protocolos más efectivos de tratamiento. A pesar de que los tumores malignos continúan siendo un problema insoluble, consideramos que sólo el diagnóstico correcto determinará el tratamiento adecuado, tanto para el uso de radioterapia como de quimioterapia y otros procedimientos antitumorales. A la presente fecha, el tratamiento empírico de las lesiones cerebrales rara vez se justifica.

Bibliografía

- Hall WA, Liu H, Martin AJ, Maxwell RE, Truwit CL. Brain biopsy sampling by using prospective stereotaxis and a trajectory guide. *J Neurosurg* 2001;94(1):67-71.
- Golfinos JG, Fitzpatrick BC, Smith LR, Spetzler RF. Clinical use of a frameless stereotactic arm: results of 325 cases. *J Neurosurg* 1995;83(2):197-205.
- Kollias SS, Bernays RL. Interactive magnetic resonance imaging-guided management of intracranial cystic lesions by using an open magnetic resonance imaging system. *J Neurosurg* 2001;95(1):15-23.
- Massager N, David P, Goldman S, Pirotte B, Wikler D, Salmon I, Nagy N, Brotchi J, Levivier M. Combined magnetic resonance imaging- and positron emission tomography-guided stereotactic biopsy in brainstem mass lesions: diagnostic yield in a series of 30 patients. *J Neurosurg* 2000;93(6):951-7.
- Barnett GH, Miller DW, Weisenberger J. Frameless stereotaxy with scalp-applied fiducial markers for brain biopsy procedures: experience in 218 cases. *J Neurosurg* 1999;91(4):569-76.
- Iskandar BJ, Nashold BS. History of Functional Neurosurgery. In: *Neurosurg Clin N Am* 1995;6(1):1-25.
- Dávila S, Mármol L. Aplicaciones de la cirugía estereotáctica. *Integr Médica* 1993;5:85-9.
- Dávila S, Madera A, Aguirre F, et al. Biopsia estereotáctica de lesiones cerebrales. Reporte de 29 casos. *Rev Ecuat Neurol* 1996;5:8-11.
- Dávila S, Orbea, E. Estereotaxia. Biopsia de tumores. *Rev Med HQPN* 1996;9:2-13.
- Bosch DA, Beute GN. Successful stereotaxic evacuation of an acute pontomedullary hematoma. Case report. *J Neurosurg* 1985;62(1):153-6.
- Fujitsu K, Muramoto M, Ikeda Y, Inada Y, Kim I, Kuwabara T. Indications for surgical treatment of putaminal hemorrhage. Comparative study based on serial CT and time-course analysis. *J Neurosurg* 1990;73(4):518-25.
- Kelly PJ. Stereotactic third ventriculostomy in patients with nontumoral adolescent/adult onset aqueductal stenosis and symptomatic hydrocephalus. *J Neurosurg* 1991;75(6):865-73.
- Bernstein M, Parrent AG. Complications of CT-guided stereotactic biopsy of intra-axial brain lesions. *J Neurosurg* 1994;81(2):165-8.
- Kulkarni AV, Guha A, Lozano A, Bernstein M. Incidence of silent hemorrhage and delayed deterioration after stereotactic brain biopsy. *J Neurosurg* 1998;89(1):31-5.
- Pirotte B, Goldman S, Massager N, David P, Wikler D, Lipszyc M, Salmon I, Brotchi J, Levivier M. Combined use of 18F-fluorodeoxyglucose and 11C-methionine in 45 positron emission tomography-guided stereotactic brain biopsies. *J Neurosurg* 2004;101(3):476-83.
- Ranjan A, Rajshekhar V, Joseph T, Chandy MJ, Chandi SM. Nondiagnostic CT-guided stereotactic biopsies in a series of 407 cases: influence of CT morphology and operator experience. *J Neurosurg* 1993;79(6):839-44.
- Abernathy CD, Camacho A, Kelly PJ. Stereotaxic suboccipital transcerebellar biopsy of pontine mass lesions. *J Neurosurg* 1989;70(2):195-200.
- Hood TW, Gebarski SS, McKeever PE, Venes JL. Stereotaxic biopsy of intrinsic lesions of the brain stem. *J Neurosurg* 1986;65(2):172-6.
- Ostertag CB, Mennel HD, Kiessling M. Stereotactic biopsy of brain tumors. *Surg Neurol* 1980;14(4):275-83.
- Chimowitz MI, Barnett GH, Palmer J. Treatment of intractable arterial hemorrhage during stereotactic brain biopsy with thrombin. Report of three patients. *J Neurosurg* 1991;74(2):301-3.
- Field M, Witham TF, Flickinger JC, Kondziolka D, Lunsford LD. Comprehensive assessment of hemorrhage risks and outcomes after stereotactic brain biopsy. *J Neurosurg* 2001;94(4):545-51.
- Mathisen JR, Giunta F, Marini G, Backlund EO. Transcerebellar biopsy in the posterior fossa: 12 years experience. *Surg Neurol* 1987;28(2):100-4.
- Kaakaji W, Barnett GH, Bernhard D, Warbel A, Valaitis K, Stamp S. Clinical and economic consequences of early discharge of patients following supratentorial stereotactic brain biopsy. *J Neurosurg* 2001;94(6):892-8.
- Benveniste H, Kim KR, Hedlund LW, Kim JW, Friedman AH. Cerebral hemorrhage and edema following brain biopsy in rats: significance of mean arterial blood pressure. *J Neurosurg* 2000;92(1):100-7.
- Lunsford LD, Martinez AJ, Latchaw RE. Stereotaxic surgery with a magnetic resonance- and computerized tomography-compatible system. *J Neurosurg* 1986;64(6):872-8.
- Goldstein S, Gumerlock MK, Neuwelt EA. Comparison of CT-guided and stereotaxic cranial diagnostic needle biopsies. *J Neurosurg* 1987;67(3):341-8.
- Hardy TL. A method for calculation of rotational angulation in stereotactic surgery. *Surg Neurol* 1980;13(6):437-9.
- Kelly PJ, Goerss SJ, Kall BA. Evolution of contemporary instrumentation for computer-assisted stereotactic surgery. *Surg Neurol* 1988;30(3):204-15.
- Bernays RL, Kollias SS, Khan N, Brandner S, Meier S, Yonekawa Y. Histological yield, complications, and technological considerations in 114 consecutive frameless stereotactic biopsy procedures aided by open intraoperative magnetic resonance imaging. *J Neurosurg* 2002;97(2):354-62.
- Spiegelmann R, Friedman WA. Stereotactic suboccipital transcerebellar biopsy under local anesthesia using the Cosman-Roberts-Wells frame. Technical note. *J Neurosurg* 1991;75(3):486-8.