

Comparación dosimétrica en radiocirugía intracraneal entre Cyberknife y un bisturí de rayos gamma y su puesta en marcha Centroamérica.

Eduardo Lovo, Alejandro Blanco, Julio Arguello, Tatiana Soto, Fidel Campos, Víctor Caceros, Kaory Barahona, William Reyes, Ricardo Mejías

Centro de Radiocirugía Robótica. Centro Internacional de Cáncer, San José Costa Rica, Centroamérica.

Programa de radiocirugía cerebral con bisturí de rayos gamma rotatorio. Centro Internacional de Cáncer, Hospital de Diagnóstico. San Salvador, El Salvador, Centroamérica.

RESUMEN

Introducción: La dupla Cyberknife y bisturí de rayos gamma (Infini) que se describe es la primera en Latinoamérica. Ambas máquinas han mostrado ser los mejores equipos para radiocirugía intracraneal. Se describe la experiencia inicial de Cyberknife en Centroamérica y su incorporación a un programa existente de bisturí de rayos gamma por vía de análisis comparativos dosimétricos.

Material y método: En el año 2019 se realizaron planes comparativos y se trataron 180 pacientes con radiocirugía intracraneal con ambos sistemas tanto en patología tumoral, como vascular y funcional.

Resultados: En el análisis dosimétrico comparativo en el gradiente de dosis de Infini mostró ser superior a Cyberknife en todos los casos. Para una esfera utilizando el colimador de 4 mm en Infini y de 5 mm en Cyberknife utilizando un plan isocéntrico con el -Trigeminal Path- el gradiente de dosis para Infini fue de 1.5 y para Cyberknife de 1.66. Para los casos de patología el gradiente de dosis media para Infini fue de 3 mm y para Cyberknife de 3.8 mm. Dando un puntaje de gradiente de dosis (Gradient Score Index) si Infini fuese de 100, Cyberknife obtuvo 87.3. Cyberknife mostró mejor conformalidad y cobertura (97% versus 96%) para todos los targets. Entre enero 2019 y enero 2020 se realizaron 180 radiocirugías, 60 con Cyberknife y 120 con Infini, 60 pacientes recibieron 146 sesiones con Cyberknife, radiocirugía fraccionada 39 (65%) y 21 (35%) en sesión única. Las dosis medias en tumores en dosis única fue 15 Gy (12.5 a 25 Gy) y en radiocirugía fraccionada 21 Gy (18 y 35). Ningún paciente ha experimentado toxicidad mayor a grado dos.

Conclusiones: El bisturí de rayos gamma rotatorio reveló superioridad en gradiente de dosis con relación al Cyberknife. En su primer año Cyberknife ha mostrado ser una herramienta segura en el tratamiento de patología intracraneal. Más seguimiento clínico y radiológico es necesario para verificar su efectividad comparativa.

Palabras clave: Cerebro; Metástasis; Tumor Cerebral; Radiocirugía; Neurocirugía; Gamma Knife; Acelerador Lineal; Cyberknife

ABSTRACT

Introduction: The match between Cyberknife and Infini here described in this article is the first in Latin America. Both machines have proven to be the best for intracranial radiosurgery, we describe our initial experience with Cyberknife in Central America and how it was incorporated in an existing gamma ray program by ways of dosimetry comparisons.

Methods: During 2019 comparative plans were made and a total of 180 patients received intracranial radiosurgery with both technologies, patients were treated for tumors, vascular anomalies, and functional pathology.

Results: Basic dosimetry analysis regarding dose gradient the Infini proved superior to Cyberknife in all plans. For a sphere using the 4 mm collimator in Infini and the 5 mm in Cyberknife along with an isocentric plan using the -Trigeminal Path- dose gradient was 1.5 for Infini and 1.66 for Cyberknife. For the pathology cases Infini was 3 mm and for Cyberknife 3.8 mm on mean. Giving a Gradient Score Index (GSI) if Infini would be 100, Cyberknife would be 87.3. Cyberknife showed better conformality and coverage for all pathology targets (97% versus 96%). From January 2019 to January 2020, 180 intracranial radiosurgeries were done, 60 with Cyberknife and 120 with Infini, 60 patients received 146 sessions with Cyberknife, fractionated scheme 39 (65%) and 21 (35%) single dose. The median dose for tumors was 15 Gy (12.5 a 25 Gy) for single session and 21 Gy (18 y 35) for fractionated scheme. No patient experienced a higher toxicity than grade two.

Conclusions: In its first year Cyberknife has shown to be safe in treating intracranial pathology. Infini had a better dose gradient than Cyberknife. Longer clinical and radiological follow-up is needed to verify its comparative effectiveness.

Key words: Brain; Metastases; Brain Tumors; Radiosurgery; Neurosurgery; Gamma Knife; Linear Accelerators; Cyberknife

INTRODUCCIÓN

Según la definición del National Cancer Institute (NCI) radiocirugía en cirugía neurológica es una forma de radioterapia que ocupa equipo especial para posicionar al paciente y entregar una dosis única de radiación a un tumor. Usualmente es utilizada para tumores o alteracio-

nes en el cerebro que no pueden ser tratadas por cirugía regular.

Desde los orígenes de la radiocirugía, por el neurocirujano Lars Leksell, esta técnica representó una significativa innovación en la especialidad neuroquirúrgica la cual ampliaría y transformaría las indicaciones clásicas y el alcance de los tratamientos en el área oncológica, vascular y funcional. El máximo reto en la expansión de la radiocirugía a nivel mundial hasta la fecha es su accesibilidad y por consecuencia su alto costo.^{1,2}

En la actualidad hay diferentes plataformas para la en-

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Eduardo Lovo

lovoiglesias@gmail.com.

Recibido: Febrero de 2020. Aceptado: Julio de 2020.

trega de radiocirugía, existen sistemas dedicados para radiocirugía cuyos máximos exponentes son el sistema Gamma Knife y el sistema de radiocirugía robótica conocido como Cyberknife. De igual manera, existen sistemas no dedicados por lo cual suele entenderse que son aceleradores lineales (LINAC) que han sido adecuados por vía de colimadores de conos o micromultihojas, elementos de fijación invasivos o de rastreo de movimientos intrafracción para poder entregar dosis radioquirúrgicas con precisión submilimétrica en adición a fraccionamientos convencionales de radiación. En el año 2014, la región centroamericana lanzó su primer programa de radiocirugía dedicada a cerebro con la puesta en marcha del primer bisturí de rayos gamma rotatorio en América conocido comercialmente como Infini, el cual es una alternativa comparable a un Gamma Knife Perfexion.³ La diferencia fundamental entre el Infini y el Perfexion es que en el Infini las fuentes de cobalto emisoras de la energía necesaria para radiocirugía rotan a una revolución por minuto alrededor del isocentro de la cámara interior de tratamiento, en el Perfexion las fuentes son “fijas” aunque efectivamente se desplazan en sentido céfalo-podálico del paciente requiere 192 fuentes en oposición de 30 fuentes en el Infini. El mismo grupo que introdujo el Infini en Centroamérica en el 2014 comenzó tratamientos a inicios del 2019 con el sistema Cyberknife en otro país de la región. Permitiéndole a este grupo estudios dosimétricos comparativos que ayudasen a comprender las bondades y debilidades de cada uno de los sistemas para intentar definir las indicaciones más adecuadas para cada uno de los sistemas.

Este reporte está basado en los resultados dosimétricos comparativos entre el bisturí de rayos gamma rotatorio y el sistema robótico Cyberknife, dichos estudios fueron enfocados en entender el gradiente de dosis de ambas máquinas, su conformalidad y cobertura. Se describe la experiencia inicial y el flujo habitual de pacientes en los tratamientos intra craneales del sistema robótico Cyberknife y se discute su complementariedad con el Infini. Hasta donde es de nuestro conocimiento, es la primera vez que se comparan ambas tecnologías en Latinoamérica.

MATERIALES Y MÉTODOS

En enero del 2019 el sistema de radiocirugía Cyberknife entró en funcionamiento y comisionamiento. Con fines comparativos, cinco planes que fueron ejecutados con Infini para tratar diversas patologías que incluían una malformación arteriovenosa, un tumor de hipófisis, un schwannoma, un craneofaringeoma, y la esfera con el colimador de 4 mm para Infini y de 5 mm para Cyberknife en dichos planes se utilizó las mismas estructuras y GTV

TABLA 1

| | Cyberknife | Infini | Total |
|------------------|------------|--------|-------|
| Tumores benignos | 36 | 36 | 72 |
| Metástasis | 8 | 24 | 32 |
| Funcional | 3 | 22 | 25 |
| Vascular | 6 | 17 | 23 |
| Otros tumores | 7 | 21 | 28 |
| | 60 | 120 | 180 |



Gráfico 1: La totalidad de la serie (180) de pacientes tratados con radiocirugía intracraneal durante enero del 2019 y enero del 2020 por patologías. TOC- Trastorno Obsesivo Compulsivo GBM- Glioblastoma Multiforme MAV- Malformación Arteriovenosa.

al igual que la misma dosis de prescripción, se calculó el gradiente de dosis en todos los planes para entender comparativamente el Índice de Gradiente de Dosis en comparación a Infini, cobertura y conformalidad. De igual manera, en febrero del 2019 Cyberknife inició su uso clínico y entre esa fecha y enero del 2020, entre las dos instituciones en Centroamérica se trataron 210 pacientes con radiocirugía utilizando el Infini™ (Masep Medical Company, Shenzhen, China) y el sistema de radiocirugía robótica Cyberknife™ (Accuray, Sunnyvale, California, USA). De estos pacientes, 180 pacientes fueron tratados de diversas patologías intracraneales, 120 con Infini y 60 con Cyberknife (Tabla 1, graf. 1).

Flujo de trabajo utilizando Infini

El paciente ingresa para su premedicación, que consiste en administrar por vía endovenosa antieméticos y esteroides cuando es necesario especialmente en caso de metástasis o tumores primarios con edema, posteriormente con sedación ligera (Fentanil-Midazolam) y bajo anestesia local (Bupivacaina y lidocaína en proporción de 50-50%) se coloca el marco estereotáctico y se adquieren imágenes principalmente con resonancia magnética de 1.5 Tesla (Avanto. Siemens, Erlangen Alemania) en secuencias de T1 MPR (Multiplanar reformation or reconstruction)

Gadolinio y T2 CISS (constructive interference in steady state) cuando se es necesario para mejor definición de pares craneales o estructuras anatómicas como la cóclea, el grosor de las imágenes suele ser de 1mm sin espacio entre ellas. Posteriormente, en SuperPlan™ se realiza la planeación utilizando una metodología de -forward planning- típico de los sistemas de radiocirugía tipo Gamma Knife y se configura una dosis de radiación procurando una cobertura de por lo menos el 95% con la dosis de prescripción y una conformalidad superior a 0.8. El plan es aprobado por radioterapia y física y la entrega de radiación se lleva a cabo en el Infini (fig. 1), posteriormente el marco estereotáctico es removido y el paciente dado de alta el mismo día del tratamiento.

Flujo de trabajo utilizando Cyberknife

El paciente atiende al proceso de simulación, el cual consiste en configurar una máscara termoplástica que ayudará a limitar el movimiento de la cabeza durante el tratamiento, se adquiere un TAC sin contraste o con contraste cuando se es necesario de la totalidad de la cabeza incluyendo hasta la segunda o tercera vértebra cervical abarcando la totalidad de la mandíbula. Posteriormente, se adquieren las secuencias necesarias de resonancia magnética 1.5 Tesla (General Electric, Massachusetts, USA) en secuencias de T1 MPR Gadolinio y T2 FIESTA que es

el equivalente al CISS cuando se es necesario, el paciente es dado de alta del centro de imágenes y convocado para tratamiento usualmente en 48 a 72 horas después. Las imágenes son transferidas a la consola de MultiPlan™ (Accuray, Sunnyvale California), y son fusionadas, la lesión o target (GTV Gross Tumor Volume) es contorneado al igual que todas las estructuras en riesgo que involucran cerebro, tronco encefálico, ojos, vía óptica y paladar duro para evitar haces de radiación entrando por la boca. Utilizando la modalidad de 6D Skull para tracking se efectúa el cálculo de dosis de forma inversa -Inverse Planning-.

El día del tratamiento, previo a un control de calidad del plan (Quality Assurance test patient específico), el paciente es acomodado en el Robocouch™ (Mesa robótica con seis grados de movimiento), la máscara termoplástica sirve como inmovilizador y el tratamiento es ejecutado utilizando guía de adquisición de imágenes intrafracción utilizando rayos-x ortogonales en intervalos de 30 a 60 segundos, si la precisión submilimétrica no es alcanzada, el tratamiento se detiene automáticamente. El paciente es dado de alta al terminar su tratamiento o fracción.

Diferencias físicas, mecánicas y de planeación entre Infini y Cyberknife, ver figura 1.

El colimador mínimo en Infini es de 4 mm y en Cyberknife de 5 mm, la distancia superficie a axis (SAD surface to axis) del Infini es de 400 mm y de 650 mm en

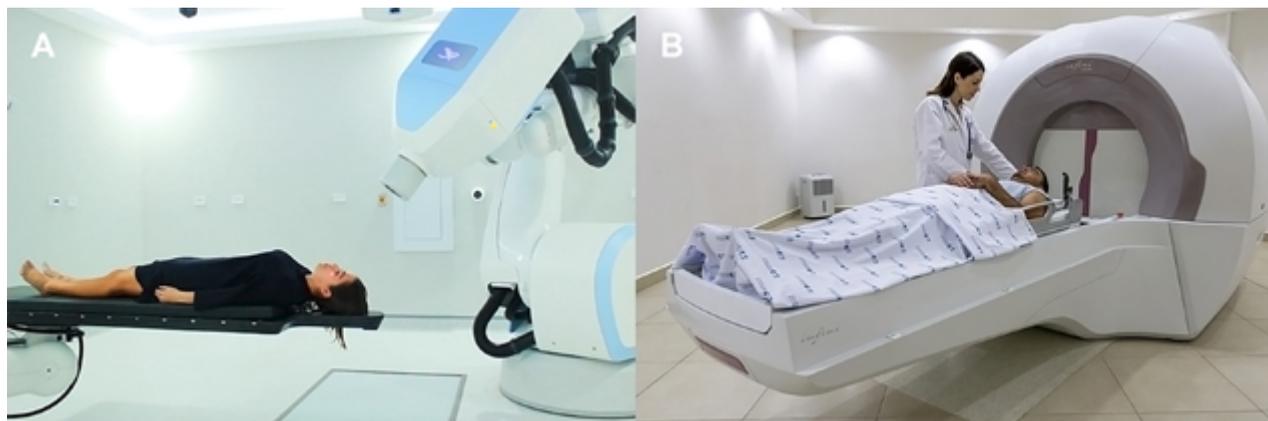


Figura 1: A) Muestra el sistema de radiocirugía robótica Cyberknife B) Bisturí de rayos gamma rotatorio Infini.

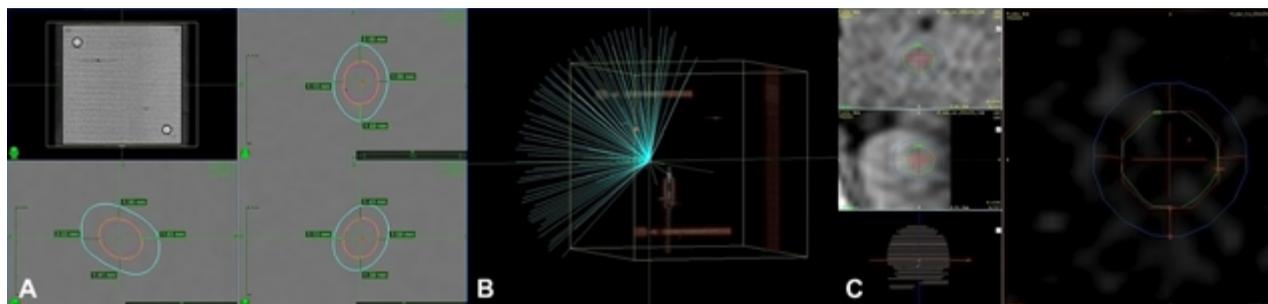


Figura 2: A) muestra los diferentes gradientes de dosis de Cyberknife en una esfera de 4 mm promediando 1.66. B) Muestra una configuración de un plan isocéntrico de Cyberknife. C) Muestra el plan comparativo de Infini utilizando el colimador de 4mm en el cual el gradiente de dosis promedia 1.5 mm.

Cyberknife escogiendo el -Trigeminal Path- que permite al acelerador lineal acercarse más al target simulando un disparo de 4 mm de Infini (fig. 2). El Infini usa 30 fuentes de cobalto 60 que proveen 1.33 MeV que giran alrededor del isocentro y el Cyberknife ocupa un acelerador lineal de 6 MV de 1,000 MU por minuto, el cual típicamente irradia de manera no isocéntrica. El Cyberknife por motivos de seguridad y físicos durante los tratamientos no puede descender más de tres grados de una línea imaginaria trazada en un horizonte del isocentro mecánico de la máquina.

Las diferencias en los métodos de planeación entre ambos sistemas son sustanciales, -Forward planning- del Infini requiere de amplia experiencia en configurar dosis en relación con la aplicación manual e individual de cada uno de los isocentros y diámetros de colimación pudiendo variar características como lo son “peso” de un disparo con relación a otro y bloqueos que en el Infini pueden ser tan pequeños como cinco grados. La calidad del plan se mide en cobertura de la lesión con la dosis de prescripción, conformalidad, gradiente de dosis ya que puede variar según diámetros de colimadores y tamaño de la lesión a tratar y finalmente tiempo. Por otro lado, Cyberknife ocupa -Inverse planning- que consiste en escoger la distribución de dosis u objetivos clínicos en base a la dosis de prescripción al GTV y a los órganos en riesgo y posteriormente por vía computacional se determinan los parámetros necesarios para lograrlo.

RESULTADOS

En el análisis dosimétrico comparativo los gradientes de dosis expresados en milímetros de tejido sano en donde la dosis de prescripción se convierte a la mitad entre Infini y Cyberknife se resumen en la tabla 2. Infini mostró un mejor gradiente de dosis con relación al Cyberknife en todos los casos. Para una esfera utilizando el colimador de 4 mm en Infini y de 5 mm en Cyberknife utilizando un plan isocéntrico con el -Trigeminal Path- el gradiente de dosis para Infini fue de 1.5 y para Cyberknife de 1.66 (fig. 2). Para los casos de patología el gradiente de dosis media para Infini fue de 3 mm y para Cyberknife de 3.8 mm. Dando un puntaje de gradiente de dosis (Gradient Score Index) si Infini fuese de 100 (siendo lo mejor) Cyberknife obtuvo 87.3, ver tabla 2. Cyberknife mostro mejor conformalidad y cobertura (97% versus 96%) para todos los targets de patología y bajo el desgaste actual del cobalto 60 en Infini todos los planes mostraron mayor velocidad de tratamiento para Cyberknife (74 versus 44 minutos).

Durante el periodo comprendido entre enero 2019 y enero 2020 se realizaron 210 radiocirugías, 90 con Cyberknife y 120 con Infini, de ellas 180 correspondieron a

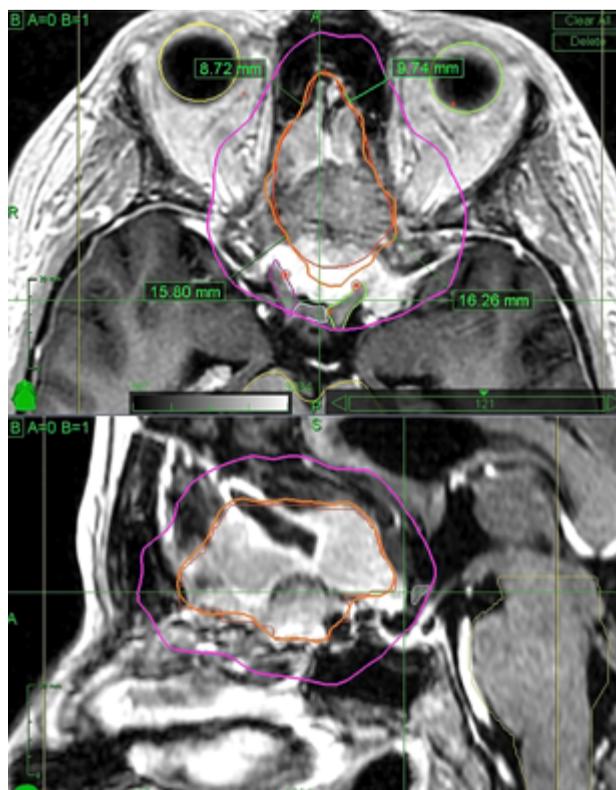


Figura 3: Imagen de Multiplan en Cyberknife en modalidad de radiocirugía fraccionada con la curva anaranjada interna que representa la dosis de prescripción de 18 Gy y la curva más externa en rosado representa la mitad de la dosis de prescripción (9 Gy).

TABLA 2: LA TOTALIDAD DE PACIENTES DE LA SERIE SEPARADOS POR MÁQUINA

| Gradiente de dosis | Infini | Cyberknife |
|--------------------|--------|------------|
| Malformación | 3.9 | 4.5 |
| Hipófisis | 2.5 | 3.2 |
| Schwannomas | 3 | 3.8 |
| Craneofaringioma | 6.5 | 8.2 |
| 4 mm Esfera | 1.5 | 1.66 |
| | 3 | 3.8 |

radiocirugía intracraneal, la mayoría de los pacientes fueron mujeres 109 (60.5%), la edad media de la serie fue de 50 (8-89). En la serie completa de ambas máquinas la patología tumoral representó la mayor indicación de tratamientos siendo los casos de tumores benignos 72 (40%) entre meningiomas, adenomas de hipófisis y schwannomas vestibulares, 33 (18.3%) fueron metástasis a cerebro en la misma proporción que patología funcional 33 (18.3%). La tercera indicación más frecuente después de tumores y funcional fueron las malformaciones arteriovenosas en 22 casos (12.2%), ver gráfico 1 y tabla 1.

De la totalidad de pacientes que recibieron radiocirugía intracraneal, 60 de ellos recibieron 146 sesiones con Cyberknife de las cual la mayoría fueron tratados en moda-

lidad de radiocirugía fraccionada 39 (65%) y 21 (35%) pacientes en sesión única. El Infini por sus características e incapacidad para fraccionar todos los tratamientos fueron en sesiones únicas. Las dosis medias en tumores utilizando dosis única con Cyberknife fueron de 15 Gy (12.5 a 25 Gy) y utilizando radiocirugía fraccionada 21 Gy (18 y 35). El Cyberknife trató 36 (60%) tumores benignos entre meningiomas y schwannomas seguidos de adenomas de hipófisis (47.2%, 38% y 13.8% respectivamente) la segunda indicación más frecuente fue metástasis a cerebro 8 (13.3%), 6 (10%) lesiones vasculares entre malformaciones arteriovenosas y cavernomas y 3 (5%) de neuralgia del trigémino, el resto adolecían otro tipo de lesiones y tumores primarios. Ningún paciente ha experimentado toxicidad mayor a grado 2 en escalas de RTOG (Radiation Therapy Oncology Group).

DISCUSIÓN

Los estudios comparativos entre Gamma Knife y Cyberknife son extensos en la literatura, la mayoría de ellos respaldan nuestros hallazgos en el cual Gamma Knife posee un mejor gradiente de dosis que Cyberknife^{4,7} y las razones son netamente físicas las cuales tienen que ver con el SAD, diámetro de colimador y tipo de energía. El Infini y Gamma Knife Perfexion son dosimétricamente iguales, la diferencia consiste en que Infini es un bisturí de rayos gamma rotatorio que utiliza 30 fuentes de cobalto 60 versus el Gamma Knife Perfexion que utiliza 192, a diferencia de Cyberknife o la nueva versión de Gamma Knife el Icon, Infini no puede dar tratamientos fraccionados sin marco ya que carece de elementos que monitorean movimiento intrafracción, por lo cual la dupla Cyberknife e Infini representa una mejora importante en la calidad de tratamientos radioquirúrgicos en Centroamérica. Hasta donde es de nuestro conocimiento, este es el primer reporte en la experiencia de trabajar con ambos sistemas en Latinoamérica y el primero en comparar un bisturí de rayos gamma rotatorios con Cyberknife. Más allá de los tratamientos intracraneales, que fueron el motivo del presente estudio, las capacidades de Cyberknife para tratar otras partes del cuerpo con radiocirugía (Stereotactic Body Radiation Therapy SBRT) agrega posibilidades para diferentes patologías en columna vertebral lo cual es muy relevante en neurocirugía.

Máquinas dedicadas a radiocirugía como Gamma Knife y Cyberknife han sido comparadas contra otras plataformas radioquirúrgicas contra las cuales también se ha demostrado superioridad en la calidad de plan y entrega de radiación.⁸⁻¹¹ Recientemente, en el Reino Unido se llevó a cabo un estudio para establecer un punto de referencia que involucró todos los centros que administraban

tratamientos radioquirúrgicos intracraneales, se compararon planes en tumores benignos y metástasis, en ambos casos las máquinas dedicadas a radiocirugía tales como Gamma Knife y Cyberknife mostraron menor variabilidad y mejor preservación de tejido sano que otras plataformas.^{12,13} Lo valioso a rescatar de la experiencia en el Reino Unido para Latinoamérica en una era en donde la radiocirugía se está volviendo cada vez más accesible con multiplataformas es la rigurosidad que debe acarrear la disciplina de radiocirugía intracraneal en un auditoría externa de -principio a fin- de un tratamiento que garantiza los elementos fundamentales en radiocirugía: Garantizar precisión submilimétrica en todo momento, ya sea utilizando un marco estereotáctico o sistemas modernos de monitorización de movimiento intrafracción. El mejor gradiente de dosis, es decir la menor cantidad de radiación posible en el tejido sano y finalmente la mejor planeación posible, todos estos elementos requieren tener la capacidad tecnológica al igual que un amplio autoconocimiento del desempeño dosimétrico de la máquina y de desarrollada experiencia en radiocirugía. Al igual que en neurocirugía, exigimos la mejor técnica para obtener el mejor resultado, de igual manera hemos de acostumbrarnos a requerir lo mismo de los programas de radiocirugía intracraneal.

Nuestra práctica de tratamiento cambió en base a la llegada de Cyberknife y en acorde a estos resultados. Por un lado, reforzó nuestro programa de funcional con el bisturí de rayos gamma especialmente en todos aquellos tratamientos diferentes a neuralgia del trigémino en donde Cyberknife ha mostrado excelentes resultados comparables a Gamma Knife.¹³ Dichos tratamientos funcionales que requieren de capsulotomías, talamotomías para dolor o temblor y callosotomías radioquirúrgicas preferimos el Infini sobre el Cyberknife. En lesiones benignas, en contacto con estructuras sensibles como el nervio óptico, preferimos tratamientos fraccionados con Cyberknife sobre Infini ya que este último requería en ocasiones subdosificar el tumor en orden de cumplir las restricciones de los órganos en riesgo, potencialmente entregando tratamientos subóptimos en comparación a los que actualmente podemos entregar con Cyberknife. Con relación a el tratamiento de metástasis sintomáticas y otros tipos de tumores primarios respondedores a radiación utilizando radiocirugía en modalidad de dos sesiones,^{15,16} ya están andando estudios entre ambos centros para ayudar a mejorar los tratamientos y entender si existe superioridad entre radiocirugía con plataformas basadas en LINAC como Cyberknife versus bisturís de rayos gamma.

La experiencia desarrollada con Cyberknife y su complemento a un programa existente de radiocirugía con bisturí de rayos gamma en Centroamérica ha sido útil

para acrecentar la calidad de tratamientos radioquirúrgicos en neurocirugía y aumentar de manera importante el conocimiento de esta disciplina.

CONCLUSIÓN

En su primer año de operaciones Cyberknife ha mostrado ser una herramienta segura en el tratamiento de patología intracraneal tanto en modalidad de fracción única o múl-

tiples fracciones en radiocirugía.

El bisturí de rayos gamma rotatorio mostró superioridad en gradiente de dosis en relación con el Cyberknife, el presente estudio ha sido útil para que nuestro grupo pueda hacer un mejor escoge de pacientes basados en la mejor tecnología disponible para su caso en particular. Mayor seguimiento clínico y radiológico es necesario para establecer una efectividad comparativa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cho D, Tsao M, Lee W, Chang C. Socioeconomic Costs of Open Surgery and Gamma Knife Radiosurgery for Benign Cranial Base Tumors. *Neurosurgery* 2006;58:866-73.
2. Griffiths A, Marinovich L, Michael B, Lord S. Cost Analysis of Gamma Knife Stereotactic Radiosurgery. *Int J Technol Assess Health Care* 2007;23:488-94.
3. Lovo E, Campos F, Caceros V, Minervini M, Reyes W. Dosimetry and Treatment Descriptions Using the First Completely Automated Stereotactic Intracranial Radiosurgery Rotating Gamma Ray Unit in America *Cureus* 2018;27:e2542.
4. Descovich M, Sneed P, Barbaro N, McDermott M, Chuang C, Barani I, et al. A Dosimetric Comparison Between Gamma Knife and CyberKnife Treatment Plans for Trigeminal Neuralgia. *J Neurosurg*, 2010;113:199-206.
5. Han E, Wang E, Luo D, Li J, Wang X. Dosimetric Comparison of Fractionated Radiosurgery Plans Using Frameless Gamma Knife ICON and CyberKnife Systems with Linear Accelerator-Based Radiosurgery Plans for Multiple Large Brain Metastases. *J Neurosurg*, 2019;5:1-7.
6. Gamma Knife, Single-Isocenter VMAT, CyberKnife, and TomoTherapy Stereotactic Radiosurgery *Pract Radiat Oncol* 2017;7:183-189.
7. Petti P, Chuang C, Smith V, Larson D. Peripheral Doses in CyberKnife Radiosurgery. *Med Phys* 2006;33:1770-9.
8. Kaul D, Badakhshi H, Gevaert T, Pasemann D, Budach V, Tuleasca C et al. Dosimetric Comparison of Different Treatment Modalities for Stereotactic Radiosurgery of Meningioma. *Acta Neurochir* 2015;157:559-63.
9. Gevaert T, Levivier M, Lacomberie T, Verellen D, Engels B, Reynaert N, et al. Dosimetric Comparison of Different Treatment Modalities for Stereotactic Radiosurgery of Arteriovenous Malformations and Acoustic Neuromas. *Radiother Oncol* 2013;106:192-7.
10. McDonald D, Schuler J, Takacs I, Peng J, Jenrette J, Vanek K. Comparison of Radiation Dose Spillage from the Gamma Knife Perfexion with that from Volumetric Modulated Arc Radiosurgery During Treatment of Multiple Brain Metastases in a Single Fraction. *J Neurosurg* 2014;121:51-9.
11. Potrebko P, Keller A, All S, Sejjal S, Pepe J, Saigal K, et al. Gamma Knife Versus VMAT Radiosurgery Plan Quality for Many Brain Metastases. *J Appl Clin Med Phys* 2018;19:159-165.
12. Eaton D, Lee J, Paddick I. Stereotactic Radiosurgery for Multiple Brain Metastases: Results of Multicenter Benchmark Planning Studies. *Pract Radiat Oncol* 2018;8:e212-e220.
13. Eaton D, Lee J, Patel R, Millin A, Paddick I, Walker C. Stereotactic Radiosurgery for Benign Brain Tumors: Results of Multicenter Benchmark Planning Studies. *Pract Radiat Oncol* 2018;8:e295-e304.
14. Romanelli P, Conti A, Redaelli I, Martinotti A, Bergantin A, Bianchi L, et al. Cyberknife Radiosurgery for Trigeminal Neuralgia *Cureus* 2019;11:e6014.
15. Lovo E, Torres L, Campos F, Caceros V, Barahona K, Minervini M, et al. Two-session Radiosurgery as Initial Treatment for Newly Diagnosed Large, Symptomatic Brain Metastases From Breast and Lung Histology. *Cureus* 2019;11:e5472.
16. Lovo EE, Barahona KC, Campos F, Caceros V, Tobar C, Reyes WA. Two-Session Radiosurgery for Large Primary Tumors Affecting the Brain. *Cureus*. 2020;27;12(4):e7850.

COMENTARIO

Este trabajo muestra el esfuerzo de un grupo de tratamiento radiante de mostrar la incorporación de tecnología de alta calidad en los más variados trastornos neurológicos/neuroquirúrgicos y psiquiátricos.

Justamente, por la incorporación de tan variada patología en el tratamiento de estas enfermedades, es que muestra una limitante grave para sacar conclusión alguna en términos de respuesta a los tratamientos radiantes implementados. Así lo reconocen los autores en sus precarias conclusiones "Mayor seguimiento clínico y radiológico es necesario para establecer una efectividad comparativa."

No se entiende por qué los autores optan por el Infini para los tratamientos funcionales, si se debe garantizar precisión submilimétrica en todo momento, ya sea utilizando un marco estereotáctico o sistemas modernos de monitorización de movimiento intrafracción; los autores así lo expresan "...Infini no puede dar tratamientos fraccionados sin marco ya que carece de elementos que monitoricen movimiento intrafracción...".

La totalidad de tumores gliales de bajo grado es despreciable.

En los glioblastomas irradiados (< 5) no se mencionan el gesto quirúrgico (Criterios de RANO) previo a la radioterapia, como así la respuesta obtenida.

Los meningiomas (especialmente si son grado I) y schwannomas son neoplasias primarias de seguimiento por años para objetivar la respuesta que se espera del tratamiento radiante, especialmente si hubo seguimiento por neuroimáge-

nes previas semestrales que permitieron objetivar el crecimiento de las lesiones.

Presentan haber tratado pacientes (cifra discordante entre el texto -33- y la tabla 1 -32-) con metástasis intracraneales sin otros datos importantes como origen por primario, topografía intraaxial o extraaxial, supratentorial o infratentorial, número de las mismas en el mismo paciente, etc. No explican por qué la mayoría recibió el tratamiento con Infini.

Los autores se apresuran al presentar solamente los métodos disponibles, sin el correspondiente seguimiento de los pacientes a mediano y largo plazo, con las respuestas obtenidas al tratamiento radiante implementado en cada caso y con cada método aplicado. Así no se fundamenta su otra conclusión "..., el presente estudio ha sido útil para que nuestro grupo pueda hacer un mejor escoge de pacientes basados en la mejor tecnología disponible para su caso en particular".

Impresiona que hubo un sesgo en la distribución de casos a favor del Infini.

La radioterapia es un pilar en el tratamiento de las enfermedades neurológicas/ neuroquirúrgicas. En el caso particular de Neurooncología, un diagnóstico precoz y aproximación diagnóstica por neuroimágenes, planificación de resección o eventual biopsia, el estudio completo del tejido obtenido con las técnicas inmunohistopatológicas y moleculares, permiten la implementación del mejor tratamiento, sea éste quimioterápico concomitante o no con el radiante, adecuado a cada caso en particular. El seguimiento (en muchos casos de años) será fundamental para ir modificando o implementado otros tratamientos, y siempre acompañando al paciente. En definitiva, mejorar la calidad de vida y la supervivencia de nuestros pacientes.

Ignacio Casas Parera

Instituto de Oncología "Ángel Roffo". Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

COMENTARIO

Los autores reportan su experiencia en tecnologías de vanguardia en radiocirugía y como el conocimiento, la investigación y el desarrollo de protocolos de trabajo optimizan la correcta selección de pacientes para cada modalidad terapéutica en particular. El principal obstáculo que debe estar presente en la mente del lector joven al momento de ofrecer estos tratamientos es la dificultad para su acceso basado principalmente en el alto costo, razón por la cual el paciente tiene que estar correctamente seleccionado. Es de notable interés seguir el trabajo de futuras publicaciones que ofrezcan el relevamiento de la respuesta efectiva del método en los casos reportados y como impactaron en la mejoría clínica (en los casos seleccionados de patología funcional), la tasa de curación de la patología vascular o la sobrevida de los casos con enfermedad oncológica.

Tomás Funes

Sanatorio Anchorena. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina

COMENTARIO

Los autores reportan su experiencia comparando la técnica de radiocirugía intracraneal entre dos equipos con diferente tecnología, un Cyberknife y un bisturí de rayos gamma Infini. En el mismo se realizó un comparativo general de los equipos y los planificadores de tratamientos enfocándose en el índice de gradiente como indicador principal.

Se describe muy detalladamente y de manera concisa las características técnicas de ambos equipos y especifica como sortearon la dificultad comparativa del tamaño de los colimadores utilizados (4 mm para Infini y 5 mm para Cyberknife). No se especifican las opciones de colimación disponibles en el Cyberknife para diferentes modelos y el motivo de la elección del utilizado en el trabajo.

En los materiales y métodos no se describe como se obtiene o calcula el indicador de índice de gradiente, el cual sería de utilidad para la interpretación de los lectores de diversas disciplinas, así como los otros índices mencionados en los resultados.^{1,2}

En el mismo apartado se mencionan las diferencias que poseen los sistemas de planificación de cada tecnología con una breve descripción de sus ventajas y desventajas, los cuales pueden ser iguales o más importante que las características técnicas de los equipos de tratamientos.

En los resultados se presentan una comparativa del gradiente utilizando ambas tecnologías, para planificar los mismos tratamientos en diversas patologías y como una esfera perfecta, siendo esta última una comparativa más descriptora de las características intrínsecas del sistema, pero mostrando la performance en la planificación de patologías reales.

Esta modalidad de presentación es muy útil, práctica y ejemplificadora.

La discusión y las conclusiones muestran un muy buen análisis del enfoque global del uso de este tipo de tecnología alrededor del mundo basándose en artículos de renombre y con un alcance de comprensión general muy amplio. Las referencias y relaciones mencionadas con el Cyberknife están basadas principalmente en el equipo Gamma Knife y se correlaciona su similitud con el Infini.

Creo que sería de sumo interés una expansión o continuidad del tema de este artículo por parte de los autores comparando el equipo Infini con un Icon o Gamma Knife y sobre todo incorporando al análisis, sistemas de radiocirugía basados en LINACs de cabezal giratorio de alta performance como Versa de Elekta y TrueBeam de Varian con sus correspondientes planificadores. Asimismo, sería ideal como otro tema a proponer, una comparativa de ambos equipos, pero basada en la planificación de los tratamientos en un solo planificador.

Ricardo M. Ruggeri
Leben Salud. Neuquén, Argentina.

BIBLIOGRAFÍA

1. Sung K, Choi YE (2018) Dose gradient curve: A new tool for evaluating dose gradient. PLoS ONE 13(4): e0196664. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196664>
2. Int J Radiation Oncol Biol Phys, Vol. 106, No. 3, pp. 604e611, 2020 0360-3016/\$ - see front matter _ 2019 Elsevier Inc. All rights reserved. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2019.11.408>

COMENTARIO

Los autores presentan, de una manera interesante, su experiencia en la utilización de dos metodologías de radiocirugía, el Cyberknife y el bisturí de rayos Gamma (Infini). Se realizó una comparación de ambos recursos, obteniéndose una superioridad en el gradiente dosis a favor del bisturí de rayos gamma. Debido al alto costo de la aparatología, y a veces también, de los tratamientos administrados, considero muy útil el conocer las indicaciones precisas y la eficiencia de las diferentes metodologías a la hora de decidir el tipo de tratamiento radioquirúrgico a realizar. Por ejemplo, para tratamientos funcionales (dolor, temblor, etc.), este grupo recomienda la utilización del bisturí de rayos gamma sobre el Cyberknife. Para irradiación de lesiones adyacentes a estructuras anatómicas sensibles, se recomienda el Cyberknife. La toxicidad de ambos métodos también fue analizada, no superando el grado dos en los casos en que se presentó. Esta experiencia de los autores colabora con el constante avance en el conocimiento y la aplicación de metodologías alternativas y/o complementarias a la neurocirugía convencional.

Federico Sánchez González
Hospital de Clínicas "José de San Martín" U.B.A. C.A.B.A. Argentina.