

Recurrencia de la neuralgia del trigémino refractaria en pacientes tratados con radiocirugía estereotáctica

DOI: 10.5377/alerta.v8i1.19201

Laura María Ayala Durán¹, Daniela Reneé Belloso Bichara², Elvira Alejandra Cerna López^{3*}

1-3. Facultad de Ciencias de la Salud Dr. Luis Edmundo Vásquez, Universidad Dr. José Matías Delgado, Antiguo Cuscatlán, El Salvador.

*Correspondencia

✉ alejandra.cerna22@gmail.com

1. ☎ 0009-0009-6360-2328
2. ☎ 0009-0003-7175-7561
3. ☎ 0009-0005-3664-3491

Resumen

La neuralgia del trigémino es un trastorno neuropático craneofacial que sigue una o más de las ramas del nervio craneal V y ocasiona ataques paroxísticos de alta intensidad, produce discapacidad y es más prevalente en el sexo femenino. El tratamiento de primera línea es el farmacológico, con el objetivo de aliviar los síntomas, evitar recidivas y complicaciones. Sin embargo, presenta un alto índice de refractariedad, por lo que se han desarrollado otros procedimientos no invasivos como la radiocirugía estereotáctica. Este tratamiento ofrece un alivio de los síntomas durante un periodo más prolongado que permite al paciente puntuar entre el rango I-III en la escala del Instituto Neurológico Barrow; sin embargo, también puede reaparecer. Con el objetivo de determinar la recurrencia de neuralgia del trigémino refractaria en pacientes tratados con radiocirugía estereotáctica, se realizó una revisión narrativa de artículos originales de revistas científicas en inglés y español, publicados de 2019 a 2024. La recurrencia posterior a la radiocirugía puede estar determinada por características propias de la enfermedad, así como por el plan de tratamiento. A pesar de ello, debido a la seguridad y eficacia que ofrece, es posible realizar múltiples intervenciones sin presentar complicaciones graves y obteniendo baja incidencia de casos de hipoestesia y una escasa prevalencia de aneurismas.

Palabras clave

Neuralgia del trigémino, Radiocirugía, Hipoestesia, Eficacia, Recurrencia.

Abstract

Trigeminal neuralgia is a neuropathic disease with a craniofacial trajectory following one or all the branches of the V cranial nerve. It is characterized by paroxysmal pain of high intensity that may cause disability, with higher prevalence in females. The first line of treatment is pharmacological seeking to alleviate the symptoms, diminishing the odds of recurrence and complications. Nonetheless, this therapy has a high rate of refractoriness. As a result, other non-invasive procedures have been developed such as stereotactic surgery. This treatment offers symptom relief for a longer period allowing the patient to score between I-III range in the Barrow Neurological Institute scale; however, it can also present refractoriness. This paper was written with the objective of determining the recurrence of trigeminal neuralgia in patients that have been treated with stereotactic surgery. The current review was done using original articles from journals in English and Spanish from 2019 to 2024. Post-radiosurgery recurrence may be determined by characteristics of the disease as well as the treatment plan. Despite this, due to the safety and effectiveness, multiple interventions can be performed, with low cases of hypoesthesia and aneurysms.

Keywords

Trigeminal Neuralgia, Radiosurgery, Hypesthesia, Efficacy, Recurrence.

Introducción

La neuralgia del trigémino (NT) es un dolor craneofacial neuropático caracterizado por ataques paroxísticos unilaterales de alta intensidad, en la distribución de las tres ramas del nervio trigémino¹. La prevalencia es me-

nor del 0,1 % con una incidencia anual de cuatro a 13 casos por cada 100 000 personas, aumentando con la edad (> 50 años de edad). Además, se ha observado que afecta más a mujeres que hombres con una razón de 1:1,5 a 1:1,7¹.

 ACCESO ABIERTO

Refractory Trigeminal Neuralgia Recurrence in Patients Treated with Stereotactic Radiosurgery

Citación recomendada:

Ayala Durán LM, Belloso Bichara DR, Cerna López EA. Recurrencia de la Neuralgia del trigémino refractaria en pacientes tratados con radiocirugía estereotáctica. *Alerta*. 2025;8(1): 103-112. DOI: 10.5377/alerta.v8i1.19201

Editor:

Nadia Rodríguez.

Recibido:

23 de Julio de 2024.

Aceptado:

17 de septiembre de 2024.

Publicado:

22 de enero de 2025.

Contribución de autoría:

LMAD, EAEL, DRBB: búsqueda bibliográfica, redacción, revisión y edición, recolección de datos, manejo de datos o software, análisis de los datos LMAD: concepción del estudio EAEL: diseño del manuscrito

Conflicto de intereses:

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.



© 2025 por las autoras. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

El dolor crónico debilita e impacta negativamente la calidad de vida, generando discapacidad en las actividades diarias, tales como beber y comerⁱⁱⁱ. Comúnmente, los casos de neuralgia del trigémino idiopática y aquellos asociados a dolor crónico concomitante se reportan más en mujeres, aumentando la complejidad de su manejo^{iv}. Debido a esto, el desarrollo de trastornos de depresión y ansiedad es mayor, junto a una intolerancia a la farmacoterapia de primera línea^v. Además, los pacientes con NT tienen un riesgo 4,4 veces mayor de desarrollar demencia, volviendo el tratamiento convencional aún más complejo y menos eficaz^{vi}.

En los pacientes en los que el tratamiento farmacológico no fue exitoso, el 40 % presenta desapego al tratamiento debido a las interacciones y efectos adversos de los fármacos de primera línea después de un año^{vii}, por lo que se recomiendan alternativas de tratamiento como la radiocirugía estereotáctica (RC), descompresión microvascular, compresión con balón, entre otros^{viii}, con la realización previa de estudios de imagen como la resonancia magnética. Sin embargo, el 31 % de los pacientes tratados con RC presentan recurrencia de los síntomas en un tiempo medio de ocho meses^{ix}.

El alto grado de recurrencia de la neuralgia del trigémino presenta un reto de innovación en los diferentes tratamientos como los radio-terapéuticosⁱⁱ, con el fin de lograr un éxito en el alivio de los síntomas, así como evitar recaídas. La RC es un método de tratamiento eficaz para beneficio de pacientes que no responden de forma adecuada a los fármacos de primera línea^x.

La RC es un tipo de radioterapia que se caracteriza por el uso de imágenes 3D para enfocar haces de radiación en una zona específica del cerebro. El uso actual demuestra ser una alternativa para pacientes con NT que no responden a otros procedimientos quirúrgicos invasivos o que no son candidatos debido a la edad y otras comorbilidades^{xi}. Se ha observado una tasa en el alivio de dolor inicial del 85 % y 55 % a los siete años posteriores^{xii}. Se considera un método de bajo riesgo a complicaciones, por ser un procedimiento no invasivo, realizado bajo anestesia local y por su seguridad en el uso repetitivo^{xiii}.

Se realizó una búsqueda de información a través de HINARI, en las bases de datos de PubMed, *Web of Science* y LILACS. Se seleccionaron artículos publicados de 2019 a 2024, en español e inglés, en fuentes primarias y secundarias. En la estrategia de búsqueda se utilizaron los operadores booleanos «Neuralgia del Trigémino AND tratamiento OR calidad de vida», «Radiocirugía

Estereotáctica AND Neuralgia del trigémino», «Radiocirugía Estereotáctica AND Neuralgia del Trigémino AND eficacia OR recurrencia», «Radiocirugía Estereotáctica AND Neuralgia del Trigémino AND aneurisma OR hipoestesia» y se seleccionaron artículos según criterios de validez, con el objetivo de describir la recurrencia de neuralgia del trigémino refractaria en pacientes tratados con radiocirugía estereotáctica.

Discusión

La neuralgia del trigémino refractaria y su tratamiento

La NT es una condición caracterizada por dolor crónico que afecta al nervio trigémino, responsable de la sensibilidad facial. Esta enfermedad se divide en NT clásica, también conocida como primaria, que se caracteriza por episodios de dolor unilateral paroxístmicos, recurrentes, que se describen como choques eléctricos o puñaladas, y que también puede presentarse con dolor continuo; la NT secundaria causada por condiciones subyacentes identificables como esclerosis múltiple, tumores o lesiones, y la atípica, que incluye a toda neuralgia que no cumple con las características de NT clásica^{xiv}.

Esta condición médica se asocia comúnmente con una compresión neurovascular o irritación de la raíz del nervio cerca del punto de entrada en la protuberancia. La arteria cerebelosa superior es la causa más común de compresión, pero también se involucran la arteria cerebelosa inferior anterior, la arteria basilar y las venas pontinas. Igualmente, la NT puede ser secundaria a padecimientos como esclerosis múltiple, enfermedades autoinmunes, compresión por tumores o malformaciones vasculares^{xv}.

Se han postulado diversas teorías sobre la fisiopatología de la NT, siendo la más aceptada, la presentada por Fromm *et al*, conocida como «teoría epileptógena», que menciona que la irritación crónica de las terminaciones del nervio trigémino genera un cambio dentro de los sistemas de inhibición en los núcleos sensitivos del nervio, resultando así en un aumento de la actividad de estos mismos, por la aparición de potenciales de acción de estímulos ectópicos. Debido al aumento de esta actividad y a la disminución de la función de los mecanismos de inhibición, se generan descargas paroxísticas de las interneuronas en respuesta a los distintos estímulos que derivan en crisis dolorosas^{xvi}.

Parte de los criterios clínicos utilizados para realizar el diagnóstico son: dolor facial recurrente, paroxístico y unilateral, que si-

que el trayecto de alguna rama del nervio trigémino; puede ser un dolor que dura desde segundos hasta dos minutos, de fuerte intensidad y que provoca una sensación de un choque eléctrico o es punzante. Además, un episodio puede ser desencadenado por estímulos inocuos como masticar o lavarse los dientes, entre otros. Sin embargo, siempre se debe de excluir cualquier otra causa^{xvii}.

El tratamiento convencional busca aliviar el dolor, así como mejorar la calidad de vida del paciente. Existen múltiples opciones, pero el tratamiento de primera línea son los medicamentos como carbamazepinas, gabapentina y pregabalina^{xviii}.

En un estudio realizado por Zhong *et al.*, se observa que el tratamiento de primera línea con fármacos presenta una probabilidad del 15 % de ser refractaria, teniendo que recurrir a los tratamientos de segunda línea. Entre estos tratamientos se encuentran las intervenciones quirúrgicas como la descompresión vascular, procedimientos percutáneos y radiocirugía con Gamma Knife® (GKRS, por sus siglas en inglés). La descompresión microvascular (DMV) es el tratamiento de elección, puesto que genera alivio tras la reubicación del vaso que comprime el nervio o al colocar una barrera entre ambas estructuras^{xix}.

La radiocirugía es un procedimiento menos invasivo, que consiste en irradiar la raíz del nervio y, con esto, se provoca una interrupción entre las señales de dolor que viajan hacia el cerebro^{xx}. Por otro lado, existen tratamientos menos comunes como las inyecciones de glicerol, bloqueo del nervio a través de inyecciones de anestesia o esteroides, inyecciones de bótox en las áreas afectadas y cambios en el estilo de vida^{xxi,xxii}.

Eficacia de la radiocirugía estereotáctica en neuralgia del trigémino

La RC es un tipo de terapia de radiación usada en el tratamiento de enfermedades cerebrales malignas y benignas, como la NT. La RC usa múltiples haces de radiación altamente conformados que convergen en un volumen de tratamiento específico, delimitado radiográficamente, a través de dispositivos de rayos gamma o de aceleradores lineales, generando ablación del tejido. Por su alta precisión, el tejido cerebral normal circundante recibe bajas dosis de radiación debido a la disipación rápida de energía, lo que disminuye su toxicidad^{xxiii}.

El objetivo de la RC en la NT es disminuir la intensidad del dolor según la escala del Instituto Neurológico Barrow (BNI) (Tabla 1) y su refractariedad, sin producir una elevada

toxicidad^{xxiv}. No se ha obtenido un consenso sobre la dosis óptima para obtener un alivio del dolor a largo plazo; sin embargo, se ha observado que, a mayor dosis, hasta 90 Gy, aumenta el control del dolor, sin aumento de hipoestesia^{xxv}. Boling *et al.*, compararon las dosis de 80 Gy frente a 85 Gy y encontraron que en el segundo grupo los pacientes presentaron alivio de dolor por más tiempo sin evidenciar mayores efectos adversos^{xix}.

Entre los equipos utilizados se encuentra el Gamma Knife® (GKRS), que ha demostrado una efectividad de alivio inicial del dolor en el 91,75 % de pacientes, y recurrencias en el 34,4 % de ellos^{xxvi}. Dinh *et al.*, evaluaron su eficacia en la NT primaria refractaria y sus resultados indican que, en tres meses, el 84,4 % de pacientes presentaron alivio del dolor y 78,8 % estaban libres de dolor sin uso de medicamentos. Sin embargo, la tasa de recurrencia fue del 14,3 %^{xxvii}. Datos similares se obtuvieron en un estudio realizado por Bal *et al.*, usando Cyberknife® (CKRS), en el cual el 80 % de los pacientes obtuvo alivio del dolor^{xxviii}.

Se ha observado que el alivio del dolor que produce la RC se mantiene a largo plazo con un BNI-I a BNI-III^{xxix}. En la primera serie realizada en América Latina, Constanzo *et al.*, reportaron que los pacientes que tuvieron mejoría del dolor, alcanzaron un BNI I-IIIa en un promedio de 3,86 meses y lo mantuvieron por un promedio de 14,4 meses^{xxx}. Además, también se ha observado alivio de dolor a corto plazo. Pérez *et al.*, reportaron que pacientes tratados con CKRS obtuvieron un alivio temprano del dolor, en un periodo de siete días postratamiento, obteniendo el máximo alivio después de 30 días^{xxxi}.

Sin embargo, el alivio del dolor disminuye progresivamente, presentando recurrencias (Tabla 2). Estas se definen como un BNI de IV/V en pacientes que tuvieron un alivio inicial del dolor con BNI de I-III^{xxxi}. Se ha encontrado que a pesar de tener un alivio inicial en el 83 % de los pacientes, el 40 % de ellos presenta recurrencia^{xxxi}. Por tal motivo, se ha intentado dilucidar factores asociados a recurrencia, entre ellos están las características propias de la enfermedad y del tratamiento (Tabla 3).

Barzaghi *et al.*, evaluaron los factores que afectan la duración del efecto de la RC en 112 pacientes con NT clásica. Encontraron que una dosis de radiación menor a 80 Gy, una tasa de dosis calibrada menor a 2,5 Gy/min y una distancia entre el isocentro y la emergencia del nervio trigémino mayor a 8 mm estaban relacionados con una menor duración del alivio del dolor^{xxxi}.

También se han reportado recurrencias en pacientes con NT secundaria.

Tabla 1. Escala de intensidad de dolor del Instituto Neurológico Barrow para neuralgia del trigémino

Grados**	Descripción
I	No dolor trigeminal, no medicación
II	Dolor ocasional, no requiere medicación
III	Dolor presente, adecuado control con medicación
IIIa	No dolor, requiere medicación constante
IIIb	Algo de dolor, controlado con medicación
IV	Dolor presente, no adecuado control con medicación
V	Dolor muy importante, no periodos de descanso

**Se considera buena evolución los valores BNI I-III y mala evolución BNI IV-V.

Fuente: Cordero Tous N, Cruz Sabido J de la, Román Cutillas AM, Saura Rojas EJ, Jorques Infante AM, Olivares Granados G. Outcome of radiosurgery treatment with a linear accelerator in patients with trigeminal neuralgia. *Neurologia*. 2017;32(3):166-174. DOI: 10.1016/j.nrl.2015.10.003

Tabla 2. Efectividad de radiocirugía en neuralgia del trigémino según BNI y su recurrencia

Autor	BNI pre-RC*	Dosis	BNI post-tx**	Tiempo para alivio	Recurrencia
Rogers C, et al ^{xxiv} .	IV	35-40 Gy ⁺	BNI de I en 19 (35 %), II en 3 (6 %), III en 26 (48 %), and IV en 4 (7 %), V en 2 (4 %)	15 días, 31 % en ≤ 24 h)	36 % en 2,5 años
Régis J, et al ^{xxvi} .	V	70-90	BNI de I= 85,5 %, BNI de II=12,3 %, BNI de III=1,6 % y BNI de IV=0,3 %	10 días (1-180)	34,4 % en 24 meses
Dinh HK, et al ^{xxvii} .	IV-V	50-84	BNI de I-III=84,8 %	6 meses	14,3 %
Shrivastava A, et al ^{xxviii} .	IV-V	80	BNI de I= 38/78, BNI de II=4/78, BNI de III=36/78	15 días	28 pacientes en 17 meses
Ali S, et al ^{xxix} .	IV-V	70-90	BNI de I-III=83 %	3 meses	40 % en 2-3 años

BNI= Escala de intensidad de dolor del Barrow Neurological Institute, Gy+= Grays.

BNI pre-tx* Escala de intensidad de dolor del Barrow Neurological Institute previo a tratamiento.

BNI post-tx** Escala de intensidad de dolor del Barrow Neurological Institute posterior a tratamiento.

Tabla 3. Factores asociados a la recurrencia de la neuralgia del trigémino posterior a radiocirugía

Autor	Dosis	Objetivo	Distancia entre isocentro y raíz del nervio del tronco encefálico	Volumen de nervio dentro del 50 % de isodosis	Tamaño de disparo	BNI post-RC*	Resultados
Barzaghi LR, et al ^{xxiv}	70-90	RGZ**	8,1 ± 0,2 mm	22,5 ± 1,1 mm ³	-	BNI de I-IIIb= 89,3 % en 35,3 ± 5,2 días	Menor alivio del dolor a largo plazo se asoció a una distancia entre isocentro-REZ ≤ 8 mm (p= < 0,001), dosis < 80 Gy (p= 0,038), tasa de calibración de dosis < 2,5 Gy/min (p = 0,018)
Wolf A, et al ^{xxix}	80-90	DREZ++	4.9 mm	<35 % o > 35 %	4 mm	BNI de I-IIIb= 89,1 % en 1,9 meses	La presencia de EM+ se asoció con peores resultados, solo 61 % mantuvo el alivio por 1 año
Conti A, et al ^f	70-75	DREZ	-	23,8-29 mm ³	5-6 mm	BNI de I-III= 96,8 % en 6 meses	Una isodosis baja (< 1,4 mJ) y nervio con volumen < 30 está asociado a mayor recurrencia, al igual que presentar EM
Ortholan C, et al ^{xi}	90	DREZ	-	-	5-6 mm	BNI de I-IIIa= 91,5 % en 3,3 meses	Tasa de recurrencia a los 12 meses fue mayor en pacientes con disparo de 5mm con Dmax al tronco encefálico < 25 Gy (26,4 %)

Autor	Dosis	Objetivo	Distancia entre isocentro y raíz del nervio del tronco encefálico	Volumen de nervio dentro del 50 % de isodosis	Tamaño de disparo	BNI post-RC*	Resultados
Park H, <i>et al.</i> ^{xliii}	80-85	DREZ y RGZ	-	2,7± 0,8 (isodosis 50 %) x10 ² cm ³	-	BNI de I-IIIb= 92,8 % en un mes y medio	Duración de enfermedad > 3 años e insuficiente inclusión de sitios de compresión del nervio en el objetivo están correlacionados a peores resultados a largo plazo
Lovo E, <i>et al.</i> ^{xliii}	80-96	RGZ y DREZ	DREZ= <4 mm/ RGZ => 8 mm	RGZ=32,7/ DREZ= 30,6 mm ³	4 mm	BNI de I-IIIb= 65,6 % (distal) y 52,9 % (proximal)	Recurrencia del 21,9 % en 120 días en grupo distal y 60 días en grupo proximal

BNI post-RC*: Escala de intensidad de dolor del Instituto Neurológico Barrow posterior a radiocirugía.

EM+ = Esclerosis múltiple,

BNI= Escala de intensidad de dolor del Instituto Neurológico Barrow,

RGZ**: zona retrograseriana,

DREZ+= zona de entrada de la raíz dorsal.

Leduc *et al.*, compararon la eficacia de la radiocirugía en NT secundaria a esclerosis múltiple versus la clásica/idiopática, encontrando que el alivio del dolor dura menos en el primer grupo. En pacientes que tuvieron una respuesta inicial con BNI de IIIa o menos, el 78 % con NT secundaria recurrieron en un periodo de 29 meses, en comparación al 52 % del grupo control que tuvieron recurrencia en 75 meses^{xxxv}.

En cuanto a la eficacia de la RC en la NT secundaria a tumores, se ha evaluado irradiar diferentes objetivos. Franzini *et al.*, trataron solo el nervio trigémino con GKRS y obtuvieron que los seis pacientes alcanzaron un BNI menor o igual a IIIb en un periodo promedio de 3,4 meses y solo uno presentó recurrencia a los 64 meses. Además, concluyeron que aún deben realizarse estudios prospectivos con una muestra mayor para evidenciar el tiempo de eficacia y recurrencia^{xxxvi}.

No obstante, irradiar solo el tumor no presenta un alivio del dolor completo y se observan recurrencias con BNI-V^{xxxvii}. Hall *et al.*, calcularon el índice de cambio de BNI en el tiempo (Δ BNI). Encontraron que dependiendo del objetivo irradiado cambia la proporción de pacientes con recurrencia de dolor, mostrando mayor recurrencia al irradiar únicamente al tumor. Por otro lado, el alivio del dolor mejora al irradiar ambos objetivos, el nervio del trigémino y el tumor^{xxxviii}.

Además del tipo de neuralgia, también se han observado diferencias en recurrencia según el plan de tratamiento, incluyendo dosis, objetivo y tamaño del volumen irradiado^{xxxix}. Conti *et al.*, analizaron estas características al irradiar el diámetro completo del nervio, a 5-6 mm de la porción cisternal del

nervio, con una dosis de 60Gy prescrita a 80 % de isodosis. Sus resultados indican que tratar un pequeño volumen de nervio (< 30 mm³), una dosis integral baja (< 1,4 mJ), y la presencia de esclerosis múltiple son indicadores de recurrencia^{xi}.

De acuerdo con estos resultados, Ortholan *et al.*, realizaron un estudio prospectivo en el que compararon diferentes tamaños del disparo. Los pacientes recibieron 5 mm de D_{max} < 25 Gy (grupo 1), de 6 mm D_{max} < 25 Gy (grupo 2) o de 6 mm con D_{max} > 25 Gy (grupo 3), y obtuvieron tasas de recurrencia del 26,4 %, 16,5 % y 5 %, respectivamente. Estos resultados indican que al irradiar mayor volumen de nervio con una mayor dosis disminuye la recurrencia^{xi}.

Con respecto al objetivo, se ha investigado qué parte del nervio responde mejor a RC, ya sea proximal o distal a la emergencia de la raíz del nervio del tronco encefálico (REZ)^{xli}. En la REZ, la mielina periférica transita a mielina central, siendo más sensible a compresión crónica por los vasos sanguíneos circundantes, lo que resulta en desmielinización axonal. Park *et al.*, analizaron la relación entre la zona de compresión vascular del nervio y el objetivo de RC, y encontraron que usando como objetivo la zona de compresión real mejora los resultados de la RC^{xlii}.

Resultados similares obtuvieron Hopkins *et al.*, quienes encontraron que el objetivo distal está asociado a mayores tasas de alivio de dolor^{xli}. Así mismo, Lovo *et al.*, observaron que usar como objetivo la zona retrograseriana es más efectivo en cuanto al alivio del dolor. El grupo distal presentó recurrencias en el 21,9 % de los pacientes, contra el 29,4 % en el proximal, en un tiempo de 120 días y 60 días respectivamente^{xliii}.

Se ha evaluado la reintervención con RC en pacientes que presentan recurrencias después de la primera radiocirugía, específicamente en aquellos que tuvieron inicialmente buena respuesta^{xiv}. Guillemete *et al.*, observaron que la eficacia y seguridad de una segunda intervención con Cyberknife® es similar al primer tratamiento. Posterior a la segunda intervención, se obtuvo un alivio adecuado de dolor inicial en un 87,9 %, y a largo plazo de 92,1 %, 74,0 %, 58,2 %, y 58,2 % a los 6, 12, 24, y 36 meses respectivamente. Además, analizaron los posibles factores predictores de eficacia del segundo tratamiento y encontraron que la presencia de hipoestesia o su agravamiento tras la primera RC es un factor predictivo de un mejor resultado para el segundo tratamiento^{xiv}.

Se ha comparado la realización de DMV contra RC en pacientes con recurrencia post RC con neuralgia trigémina primaria. Raygor *et al.*, encontraron que los pacientes que presentaron alteraciones sensoriales obtuvieron alivio del dolor por mayor tiempo, igual que en la primera RC. Sin embargo, reportaron que la DMV tuvo mejores resultados, con un porcentaje de alivio de dolor del 86 % y 75 % en el primer y quinto año de seguimiento comparado con 73 % y 27 % respectivamente en el grupo intervenido con RC. Por otro lado, dos pacientes tratados con DMV presentaron complicaciones: uno de ellos presentó salida de líquido cefalorraquídeo y requirió una nueva intervención, e mientras que el otro presentó hiperacusia postoperatoria^{xvi}.

Hipoestesia y aneurisma en pacientes con neuralgia del trigémino posradiocirugía estereotáctica

Entre las complicaciones más frecuentes asociadas al uso de la RC en NT se encuentra la hipoestesia. Romanelli *et al.* demostraron que, de un total de 343 pacientes, se presentó adormecimiento en 6,1 %, luego de 36 meses posintervención que resultaba molesto o incapacitante; otros 48 pacientes presentaron diferentes afectaciones sensoriales no incapacitantes^{xvii}.

La presencia de hipoestesia en pacientes posterior a la radiocirugía se asocia con las múltiples reintervenciones, Helis *et al.*, demostraron que 19 casos de 77 participantes presentaron hipoestesia facial tras la primera intervención; dentro de estos casos, tres pacientes referían como molesta la sensación de adormecimiento. En el mismo estudio, con una muestra de 34 pacientes sometidos a una segunda radiocirugía, 26

desarrollaron hipoestesia, solo un paciente describió como molesta esta sensación^{xlviii}.

Otro estudio realizado por Helis *et al.*, demostraron que, luego de la tercera radiocirugía, la complicación más frecuente era la hipoestesia, además, diez pacientes presentaron alteración facial de un total de 22 personas. De igual forma, 18 pacientes refirieron mejoría clínica asociada a la NT durante una media de tiempo de 3,8 años después de la última intervención. No se lograron detectar factores predictores para recurrencia después de una tercera intervención debido al bajo número de participantes en el estudio^{xlix}.

Guillemette *et al.*, obtuvieron en sus resultados que la recurrencia de la neuralgia posttratamiento con RC fue en 53 de los casos, dentro de ellos, 24 se asociaron a neuralgia por esclerosis múltiple y 27 de causa idiopática. De igual forma, el estudio presentó un adecuado alivio al dolor de 77 % en un año, 62 % a los tres años y 50 % a los cinco años^l.

El número de intervenciones para NT refractaria muestra una prolongación en alivio del dolor entre procedimientos quirúrgicos. Una tercera intervención con RC disminuye la sintomatología de la NT en un 93 %. Sin embargo, se comparó el tiempo de recurrencia entre las tres intervenciones con RC y no se obtuvieron factores predictores para recurrencia del dolor en un año postcirugía ($p=0,84$)^{li}. Asimismo, Tempel *et al.* no encontraron evidencia estadísticamente significativa entre el tiempo de las tres intervenciones con la recurrencia de los episodios de neuralgia^{lii}.

Múltiples intervenciones de RC indican que las complicaciones más comunes son las disfunciones sensitivas faciales luego de cada procedimiento. Tempel *et al.*, también indicaron que el 17,6 % de los pacientes presentaron hipoestesia luego de la primera intervención, el 11 %, luego de la segunda RC y el 0 % reportó complicaciones sensoriales después de la tercera RC^{lii}.

La presencia de parestesia en los pacientes postcirugía suele estar asociada a la ubicación exacta del nervio donde se realiza la radiación. Lovo *et al.*, demuestran que se presenta una mayor incidencia de parestesia si el objetivo de la terapia se localiza en la emergencia de la raíz dorsal del nervio en comparación con el ganglio de Gasser^{xliii}. Gorgulho *et al.*, mencionan que las altas dosis de radiación en la entrada del nervio trigémino pueden presentar esta misma complicación^{liii}.

La presencia de un aneurisma se observa como una complicación tras el uso de la GKRS, de la cual se desconoce su etiología. Sin embargo, se sospecha que la lesión en-

dotelial activa la cascada de coagulación y deposición de fibrina, además de inducir estrés oxidativo. Las arterias cercanas al nervio trigémino, como la arteria cerebelosa superior que discurre adyacente al nervio, y la arteria cerebelosa anteroinferior que reciben radiación importante, son las mayormente afectadas^{liv}.

La formación de aneurisma a causa del uso de la GKRS no está únicamente asociada a terapia de NT, sino a malformaciones vasculares o tumores^{liv}.

La formación de aneurismas asociados a la NT está levemente reportada, sin embargo, se considera de importancia por ser una complicación letal para los pacientes si no es detectada oportunamente. Se reportan 11 casos de aneurisma post RC con GK, de los cuales, dos casos fueron intervenidos una vez debido a NT y presentaron ruptura del aneurisma a los nueve y 13 años respectivamente post GKRS^{liv}.

El uso de RC para NT continúa siendo la opción quirúrgica más segura para pacientes refractarios y que no son aptos para DMV u otras intervenciones, por ende, Chung *et al.*, concluyen que es pertinente el seguimiento a diez años de los pacientes luego de una intervención con RC. De igual forma, es pertinente una intervención temprana para evitar una ruptura^{liv}.

Conclusión

La radiocirugía estereotáctica genera alivio de síntomas posterior al tratamiento por un mayor plazo de tiempo, con bajo riesgo de efectos adversos. De igual forma, se considera una alternativa para mejorar la recurrencia en pacientes mayores con comorbilidades que no pueden ser sometidos a tratamientos invasivos.

Con relación a la seguridad de la RC y su recurrencia, la cantidad de intervenciones realizadas influye positivamente en la sintomatología de la NT, aumentando el tiempo en que se presenta la reincidencia. El efecto adverso más común es la hipoestesia, que está asociada con un mayor número de intervenciones, aunque no se ha descrito como incapacitante. Por otra parte, el desarrollo de aneurismas es de muy baja incidencia dentro de los primeros nueve años.

La literatura recomienda que para disminuir la recurrencia en la NT se deben utilizar dosis adecuadas, irradiar un mayor volumen del nervio y usar como objetivo la zona retrogasseriana. Sin embargo, se requieren más estudios prospectivos, con mayor número de pacientes, para verificar la seguridad y la eficacia.

Agradecimientos

Al departamento de salud comunitaria de la Universidad Dr. José Matías Delgado, Facultad de Ciencias de la Salud Dr. "Luis Edmundo Vásquez", por su orientación en el desarrollo de la investigación.

Financiamiento

Esta investigación no recibió fondos de ningún tipo para su realización.

Referencias bibliográficas

- i. Cruccu G, Finnerup NB, Jensen TS, Scholz J, Sindou M, Svensson P, *et al.* Trigeminal neuralgia: New classification and diagnostic grading for practice and research. *Neurology*. 2016;87(2):220-228. DOI: [10.1212/WNL.0000000000002840](https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000002840)
- ii. Paz VN, Freire RJB, Amaral JN, Ramos APQ, Cavalcanti HPF, Lucena VAFDS, *et al.* NEURALGIA DO TRIGÉMEO: AVALIAÇÃO ACERCA DA SUA EPIDEMIOLOGIA E FISIOPATOLOGIA. *Rev. Contemp*. 2024;4(5):e4236. DOI: [10.56083/RCV4N5-247](https://doi.org/10.56083/RCV4N5-247)
- iii. Zakrzewska JM, Wu J, Mon-Williams M, Phillips N, Pavitt SH. Evaluating the impact of trigeminal neuralgia. *Pain*. 2017;158(6):1166-1174. DOI: [10.1097/j.pain.0000000000000853](https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000853)
- iv. Maarbjerg S, Gozalov A, Olesen J, Bendtsen L. Concomitant Persistent Pain in Classical Trigeminal Neuralgia – Evidence for Different Subtypes. *Headache*. 2014;54(7):1173-1183. DOI: [10.1111/head.12384](https://doi.org/10.1111/head.12384)
- v. De Stefano G, Litewczuk D, Mollica C, Di Pietro G, Galosi E, Leone C, *et al.* Sex differences in trigeminal neuralgia: a focus on radiological and clinical characteristics. *Neurol Sci*. 2023;44(12):4465-4472. DOI: [10.1007/s10072-023-06923-5](https://doi.org/10.1007/s10072-023-06923-5)
- vi. Cheng Y-H, Wu C-H, Wang W-T, Lu Y-Y, Wu M-K. Trigeminal Neuralgia Is a Dementia Risk Factor: A Retrospective Cohort Study. *IJERPH*. 2022;19(10):6073. DOI: [10.3390/ijerph19106073](https://doi.org/10.3390/ijerph19106073)
- vii. Lambro G, Zakrzewska J, Matharu M. Trigeminal neuralgia: a practical guide. *Pract Neurol*. 2021;21(5):392-402. DOI: [10.1136/practneurol-2020-002782](https://doi.org/10.1136/practneurol-2020-002782)
- viii. Latorre G, González N, García J, González C, Porta J, Molina F, *et al.* Diagnóstico y tratamiento de la neuralgia del trigémino: documento de consenso del Grupo de Estudio de Cefaleas de la Sociedad Española de Neurología. *Neurología*. 2023;38:S37-S52. DOI: [10.1016/j.nrl.2021.09.015](https://doi.org/10.1016/j.nrl.2021.09.015)
- ix. Stergioula A, Moutsatsos A, Pantelis E. Exploring long-term outcomes following CyberKnife robotic radiosurgery for

- trigeminal neuralgia. *Clinical and Translational Radiation Oncology*. 2024;48:100821. DOI: [10.1016/j.ctro.2024.100821](https://doi.org/10.1016/j.ctro.2024.100821)
- x. Buckcanan A, Mata M, Fonseca K. Neuralgia del Trigémimo. *Medicina Legal de Costa Rica*. 2020;37(1):130-137. Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1409-00152020000100130&lng=en&nrm=iso&tling=es.
 - xi. Conti A, Acker G, Pontoriero A, Hardt J, Kluge A, Cacciola A, *et al*. Factors affecting outcome in frameless non-isocentric stereotactic radiosurgery for trigeminal neuralgia: a multicentric cohort study. *Radiat Oncol*. 2020;15(1):115. DOI: [10.1186/s13014-020-01535-1](https://doi.org/10.1186/s13014-020-01535-1)
 - xii. Ozturk G, Samanci Y, Peker S. Long-term efficacy of gamma knife radiosurgery on pain control in trigeminal neuralgia. *Turkish Neurosurgery*. 2022. DOI: [10.5137/1019-5149.JTN.41542-22.2](https://doi.org/10.5137/1019-5149.JTN.41542-22.2)
 - xiii. Radoš I. Treatment Options for Trigeminal Neuralgia. *ACC*. 2022. 61(Suppl 2):96-102. DOI: [10.20471/acc.2022.61.s2.12](https://doi.org/10.20471/acc.2022.61.s2.12)
 - xiv. Gambeta E, Chichorro JG, Zamponi GW. Trigeminal neuralgia: An overview from pathophysiology to pharmacological treatments. *Mol Pain*. 2020;16:174480692090189. DOI: [10.1177/1744806920901890](https://doi.org/10.1177/1744806920901890)
 - xv. Araya EI, Claudino RF, Piovesan EJ, Chichorro JG. Trigeminal Neuralgia: Basic and Clinical Aspects. *CN*. 2020;18(2):109-119. DOI: [10.2174/1570159X17666191010094350](https://doi.org/10.2174/1570159X17666191010094350)
 - xvi. Lahera Fernández EL, González Falcón M, Díaz López OB. Neuralgia del trigémimo, fisiopatología. Consideraciones en su etiología. *Acta Médica del Centro*. 2023;17(2):363-373.
 - xvii. Headache Classification Committee of the International Headache Society (IHS) The International Classification of Headache Disorders, 3rd edition. *Cephalalgia*. 2018;38(1):1-211. DOI: [10.1177/0333102417738202](https://doi.org/10.1177/0333102417738202)
 - xviii. Bendtsen L, Zakrzewska JM, Abbott J, Braschinsky M, Di Stefano G, Donnet A, *et al*. European Academy of Neurology guideline on trigeminal neuralgia. *Euro J of Neurology*. 2019;26(6):831-849. DOI: [10.1111/ene.13950](https://doi.org/10.1111/ene.13950)
 - xix. Shi J, Qian Y, Han W, Dong B, Mao Y, Cao J, *et al*. Risk Factors for Outcomes After Microvascular Decompression for Trigeminal Neuralgia. *World Neurosurgery*. 2020;136:e559-e566. DOI: [10.1016/j.wneu.2020.01.082](https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.01.082)
 - xx. Boling W, Song M, Shih W, Karlsson B. Gamma Knife Radiosurgery for Trigeminal Neuralgia: A Comparison of Dose Protocols. *Brain Sciences*. 2019;9(6):134. DOI: [10.3390/brainsci9060134](https://doi.org/10.3390/brainsci9060134)
 - xxi. Balta S. Clinical effectiveness of peripheral nerve blocks with lidocaine and corticosteroid in patients with trigeminal neuralgia. *Agri*. 2021. DOI: [10.14744/agri.2021.26032](https://doi.org/10.14744/agri.2021.26032)
 - xxii. Wu S, Lian Y, Zhang H, Chen Y, Wu C, Li S, *et al*. Botulinum Toxin Type A for refractory trigeminal neuralgia in older patients: a better therapeutic effect. *JPR*. 2019;Volume 12:2177-2186. DOI: [10.2147/JPR.S205467](https://doi.org/10.2147/JPR.S205467)
 - xxiii. Hynes PR, Das JM. Stereotactic Radiosurgery (SRS) and Stereotactic Body Radiotherapy (SBRT). In: *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK542166/>
 - xxiv. Rogers CL, Shetter AG, Fiedler JA, Smith KA, Han PP, Speiser BL. Gamma knife radiosurgery for trigeminal neuralgia: the initial experience of the Barrow Neurological Institute. *International Journal of Radiation Oncology*Biophysics*. 2000;47(4):1013-1019. DOI: [10.1016/S0360-3016\(00\)00513-7](https://doi.org/10.1016/S0360-3016(00)00513-7)
 - xxv. Wilson TA, Karlsson B, Huang L, Ramanathan D, Oyoyo U, Boling W. Optimizing Radiosurgery for Trigeminal Neuralgia: Impact of Radiation Dose and Anatomic Target on Patient Outcomes. *World Neurosurgery*. 2020;143:e482-e491. DOI: [10.1016/j.wneu.2020.07.206](https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.07.206)
 - xxvi. Régis J, Tuleasca C, Resseguier N, Carron R, Donnet A, Gaudart J, *et al*. Long-term safety and efficacy of Gamma Knife surgery in classical trigeminal neuralgia: a 497-patient historical cohort study. *JNS*. 2016;124(4):1079-1087. DOI: [10.3171/2015.2.JNS.142144](https://doi.org/10.3171/2015.2.JNS.142144)
 - xxvii. Dinh H, Minh T, Le Van T, Trong K, Quang H, Quang T, *et al*. Outcomes of gamma knife radiosurgery for drug-resistant primary trigeminal neuralgia. *Ann Indian Acad Neurol*. 2023;26(2):137. DOI: [10.4103/aian.aian_987_21](https://doi.org/10.4103/aian.aian_987_21)
 - xxviii. Bal W, Łabuz- Roszak B, Tarnawski R, Lasek-Bal A. Effectiveness and safety of CyberKnife radiosurgery in treatment of trigeminalgia — experiences of Polish neurological and oncological centres. *Neurol Neurochir Pol*. 2020;54(1):28-32. DOI: [10.5603/PJNNS.a2020.0009](https://doi.org/10.5603/PJNNS.a2020.0009)
 - xxix. Tavakol S, Jackanich A, Strickland BA, Marietta M, Ravina K, Yu C, *et al*. Effectiveness of Gamma Knife Radiosurgery in the Treatment of Refractory Trigeminal Neuralgia: A Case Series. *Operative Surg*. 2020;18(6):571-576. DOI: [10.1093/ons/ops311](https://doi.org/10.1093/ons/ops311)
 - xxx. Constanzo F, Silva RSD, De Almeida DB, Ferragut MA, Coelho Neto M, Toledo HV, *et al*. Gamma knife radiosurgery for trigeminal neuralgia: first case series from Latin America. *Arq. Neuro-Psiquiatr*. 2019;77(4):232-238. DOI: [10.1590/0004-282x20190027](https://doi.org/10.1590/0004-282x20190027)
 - xxxi. Pérez A, Aquino RE, Niño De Guzmán C, Mancebo L, Mera M, Solarte H. Evaluation of the Short-Term Response in Refractory Trigeminal Neuralgia Treated With

- CyberKnife. *Cureus*. 2023. DOI: [10.7759/cureus.48401](https://doi.org/10.7759/cureus.48401)
- xxxii. Shrivastava A, Mohammed N, Hung Y-C, Xu Z, Schlesinger D, Heinrichs T, *et al*. Impact of Integral Dose on the Maintenance of Pain Relief in Patients with Idiopathic Trigeminal Neuralgia Treated with Upfront Gamma Knife Radiosurgery. *World Neurosurgery*. 2019;129:e375-e380. DOI: [10.1016/j.wneu.2019.05.155](https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.05.155)
- xxxiii. Ali S, Shafique M, Mustafa M, Jafri S, Khalil S, Fatima H, Rangwala H. Effectiveness of gamma knife radiosurgery in the management of trigeminal neuralgia associated with multiple sclerosis: a systematic review and meta-analysis. *Neurosurg Rev*. 2023;47(1):12. DOI: [10.1007/s10143-023-02246-3](https://doi.org/10.1007/s10143-023-02246-3)
- xxxiv. Barzaghi LR, Albano L, Scudieri C, Gigliotti CR, Del Vecchio A, Mortini P. Factors affecting long-lasting pain relief after Gamma Knife radiosurgery for trigeminal neuralgia: a single institutional analysis and literature review. *Neurosurg Rev*. 2021;44(5):2797-2808. DOI: [10.1007/s10143-021-01474-9](https://doi.org/10.1007/s10143-021-01474-9)
- xxxv. Leduc W, Mathieu D, Adam E, Ferreira R, Iorio-Morin C. Gamma Knife Stereotactic Radiosurgery for Trigeminal Neuralgia Secondary to Multiple Sclerosis: A Case-Control Study. *Neurosurgery*. 2023;93(2):453-461. DOI: [10.1227/neu.0000000000002440](https://doi.org/10.1227/neu.0000000000002440)
- xxxvi. Franzini A, Picozzi P, Farinaro G, Bono B, Navarria P, Pessina F. Gamma Knife Radiosurgery Targeting the Trigeminal Nerve for Tumor-Related Trigeminal Neuralgia: A Case Series. *World Neurosurgery*. 2023;175:e413-e420. DOI: [10.1016/j.wneu.2023.03.113](https://doi.org/10.1016/j.wneu.2023.03.113)
- xxxvii. Muhsen BA, Ali AM, Jain A, Ibrahim B, Nagera E, Borghei-Razavi H, *et al*. Microsurgical resection of petroclival meningiomas treated with stereotactic radiosurgery to address persistent post-treatment trigeminal pain. *Clinical Neurology and Neurosurgery*. 2021;202:106533. DOI: [10.1016/j.clineuro.2021.106533](https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2021.106533)
- xxxviii. Hall JC, Ung TH, McCleary TL, Chuang CF, Gibbs IC, Soltys SG, *et al*. Stereotactic Radiosurgery for Trigeminal Neuralgia Secondary to Tumor: A Single Institutional Retrospective Series. *International Journal of Radiation Oncology*Biological*Physics*. 2022;114(3):e83. DOI: [10.1016/j.ijrobp.2022.07.856](https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2022.07.856)
- xxxix. Wolf A, Tyburczy A, Ye JC, Fatterpekar G, Silverman JS, Kondziolka D. The relationship of dose to nerve volume in predicting pain recurrence after stereotactic radiosurgery in trigeminal neuralgia. *Journal of Neurosurgery*. 2018;128(3):891-896. DOI: [10.3171/2016.12.JNS161862](https://doi.org/10.3171/2016.12.JNS161862)
- xl. Ortholan C, Colin P, Serrano B, Bouet T, Garnier N, Le Guyader M, *et al*. Radiosurgery for classical trigeminal neuralgia: impact of the shot size on clinical outcome. *J Headache Pain*. 2023;24(1):51. DOI: [10.1186/s10194-023-01583-4](https://doi.org/10.1186/s10194-023-01583-4)
- xli. Hopkins B, Qian DC, Deibert C, Boulis N, Jiang X, Kahn ST, *et al*. Stereotactic Radiosurgery for Trigeminal Neuralgia: A Comparison of Proximal and Distal Isocenter Outcomes. *International Journal of Radiation Oncology*Biological*Physics*. 2023;117(2):e180. DOI: [10.1016/j.ijrobp.2023.06.1032](https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2023.06.1032)
- xliv. Park H, Jeong SS, Chung H-T, Lee EJ. Treatment Planning Factors Associated with Long-Term Outcomes of Gamma Knife Surgery in Patients with Trigeminal Neuralgia. *World Neurosurgery*. 2021;151:e899-e910. DOI: [10.1016/j.wneu.2021.05.008](https://doi.org/10.1016/j.wneu.2021.05.008)
- xlvi. Lovo EE, Moreira A, Barahona KC, Torres B, Blanco A, Caceros V, *et al*. Gamma Ray Radiosurgery for Trigeminal Neuralgia: Targeting Proximal or Distal to the Dorsal Root Entry Zone. *Cureus*. 2021 May 23. DOI: [10.7759/cureus.15194](https://doi.org/10.7759/cureus.15194)
- xlvi. Ramanathan S, Loving B, Fontanesi J, Grills IS, Michael DB, Chen P, *et al*. 838 Gamma Knife Stereotactic Radiosurgery Retreatment of Trigeminal Neuralgia: Prognostic Factors and Clinical Outcomes. *Neurosurgery*. 2023;69(Supplement_1):44-44. DOI: [10.1227/neu.0000000000002375_838](https://doi.org/10.1227/neu.0000000000002375_838)
- xlvi. Guillemette A, Roberge D, Heymann S, Ménard C, Bahary J-P, Fournier-Gosselin M-P. Repeat CyberKnife Radiosurgery for Trigeminal Neuralgia: Outcomes and Complications. *Can. J. Neurol. Sci*. 2024;51(2):272-277. DOI: [10.1017/cjn.2023.52](https://doi.org/10.1017/cjn.2023.52)
- xlvi. Raygor KP, Wang DD, Ward MM, Barbaro NM, Chang EF. Long-term pain outcomes for recurrent idiopathic trigeminal neuralgia after stereotactic radiosurgery: a prospective comparison of first-time microvascular decompression and repeat stereotactic radiosurgery. *Journal of Neurosurgery*. 2019;131(4):1207-1215. DOI: [10.3171/2018.5.JNS172243](https://doi.org/10.3171/2018.5.JNS172243)
- xlvi. Romanelli P, Conti A, Redaelli I, Martinotti AS, Bergantin A, Bianchi LC, *et al*. Cyberknife Radiosurgery for Trigeminal Neuralgia. *Cureus*. 2019 Oct 28. DOI: [10.7759/cureus.6014](https://doi.org/10.7759/cureus.6014)
- xlvi. Helis CA, McTyre E, Munley MT, Bourland JD, Lucas JT, Cramer CK, *et al*. Gamma Knife Radiosurgery for Multiple Sclerosis-Associated Trigeminal Neuralgia. *Neurosurg*. 2019;85(5):E933-E939. DOI: [10.1093/neuros/nyz182](https://doi.org/10.1093/neuros/nyz182)
- xlvi. Helis CA, Hughes RT, Munley MT, Bourland JD, Jacobson T, Lucas JT, *et al*. Results of a third Gamma Knife radiosurgery for trigeminal neuralgia. *Journal of Neurosurgery*. 2021;134(4):1237-1243. DOI: [10.3171/2020.2.JNS192876](https://doi.org/10.3171/2020.2.JNS192876)
- l. Guillemette A, Heymann S, Roberge D, Ménard C, Fournier-Gosselin M-P.

- CyberKnife radiosurgery for trigeminal neuralgia: a retrospective review of 168 cases. *Neurosurgical Focus*. 2022;53(5):E4. DOI: [10.3171/2022.8.FOCUS22370](https://doi.org/10.3171/2022.8.FOCUS22370)
- li. Gupta M, Sagi V, Mittal A, Yekula A, Hawkins D, Shimizu J, *et al*. Results of three or more Gamma Knife radiosurgery procedures for recurrent trigeminal neuralgia. *Journal of Neurosurgery*. 2021;135(6):1789-1798. DOI: [10.3171/2020.10.JNS202323](https://doi.org/10.3171/2020.10.JNS202323)
- lii. Tempel ZJ, Chivukula S, Monaco EA, Bowden G, Kano H, Niranjan A, *et al*. The results of a third Gamma Knife procedure for recurrent trigeminal neuralgia. *JNS*. 2015;122(1):169-179. DOI: [10.3171/2014.9.JNS132779](https://doi.org/10.3171/2014.9.JNS132779)
- liii. Gorgulho A, Agazaryan N, Selch M, Santos BFDO, De Salles A. Immediate Pain Relief Elicited After Radiosurgery for Classical and Symptomatic Trigeminal Neuralgia. *Cureus*. 2019 May 30. DOI: [10.7759/cureus.4777](https://doi.org/10.7759/cureus.4777)
- liv. Chung MH, Wang P-W, Wu Y-C, Yang Y-J, Hong K-T, *et al*. Unusual Cerebral Aneurysm after Stereotactic Radiosurgery to Treat Trigeminal Neuralgia. *Stereotact Funct Neurosurg*. 2021;99(2):135-139. DOI: [10.1159/000510882](https://doi.org/10.1159/000510882)
- lv. Inoue H, Kawano T, Ohmori Y, Amadatsu T, Yamamoto H, Nishi T, *et al*. Internal carotid artery aneurysms diagnosed after stereotactic radiosurgery for a growth hormone-secreting pituitary adenoma: a case report and literature review. *Acta Neurochir*. 2019;161(6):1191-1195. DOI: [10.1007/s00701-019-03840-5](https://doi.org/10.1007/s00701-019-03840-5)
- lvi. Dominguez L, Saway B, Benko MJ, Williams E, Marvin EA, Entwistle JJ. Ruptured Distal Superior Cerebellar Artery Aneurysm After Gamma Knife Radiosurgery for Trigeminal Neuralgia: A Case Report and Review of the Literature. *World Neurosurgery*. 2020;135:2-6. DOI: [10.1016/j.wneu.2019.10.136](https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.10.136)