

Journal für

Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie

www.kup.at/
JNeurolNeurochirPsychiatr

Zeitschrift für Erkrankungen des Nervensystems

Das Gamma Knife - eine Übersicht

Kitz K

Journal für Neurologie

Neurochirurgie und Psychiatrie

2002; 3 (3), 21-24

Homepage:

www.kup.at/

JNeurolNeurochirPsychiatr

Online-Datenbank
mit Autoren-
und Stichwortsuche

Indexed in
EMBASE/Excerpta Medica/BIOBASE/SCOPUS

Krause & Pachernegg GmbH • Verlag für Medizin und Wirtschaft • A-3003 Gablitz

P.b.b. 02Z031117M,

Verlagsort: 3003 Gablitz, Linzerstraße 177A/21

Preis: EUR 10,-

77. Jahrestagung

Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie



2026
7.–10. Juni
AACHEN

Personalisierte Neurochirurgie – digital, kompetent, vernetzt

dgnc-kongress.de

Joint Meeting with the Belgian Society and the Dutch
Society of Neurosurgery and Neurosurgeons of Luxembourg

*Werfen Sie einen
Blick ins Programm!*



*Registrieren
Sie sich jetzt!*



Das Gamma Knife – eine Übersicht

K. Kitz

Die Radiochirurgie ist eine moderne Behandlungsform, bei der eine stereotaktisch-lokalisierte und scharf gebündelte Hochdosisbestrahlung eingesetzt wird, um kleine intrakranielle Prozesse schonend auszuschalten. Besonders in der Therapie benignen und malignen Hirntumoren hat sich die Radiochirurgie als wertvoll erwiesen und wird zunehmend als wirksame Alternative zur offenen Operation eingesetzt. Die Gamma Knife-Radiochirurgie ist eine sichere, effektive und kostensparende Alternative zur herkömmlichen Chirurgie und gilt weltweit als „goldener Standard“ in der radiochirurgischen Behandlung von Hirntumoren, Gefäßmalformationen und funktionellen Erkrankungen.

Schlüsselwörter: Gamma Knife, Radiochirurgie, Hirntumoren, Gefäßmalformationen, Hirnmetastasen

Radiosurgery is a newly developed treatment modality that employs stereotactic localisation with focused beam ionizing radiation for the non-invasive destruction of small intracranial lesions. It is especially valuable for the eradication of a wide variety of benign and malignant brain tumors and has emerged as an effective alternative to microsurgery. The Gamma Knife radiosurgery is a safe, effective and cost-saving alternative to conventional surgery and has become the golden standard in the radiosurgical treatment of brain tumors, vascular malformations and functional disorders. *J Neurol Neurochir Psychiatr* 2002; 3 (3): 21–24.

Key words: gamma knife, radiosurgery, brain tumors, arteriovenous malformations, brain metastasis

Der Begriff „Radiochirurgie“ (RS) ist als eine einzeitige, unter stereotaktischen Bedingungen durchgeführte Bestrahlung mit einer hohen Einzeldosis definiert [1]. Die Bestrahlung erfolgt mit höchster Präzision auf ein genau festgelegtes Zielvolumen, das mit Hilfe eines stereotaktischen Systems lokalisiert und fixiert wird. Die Dosis wird mit einer dreidimensionalen, computergesteuerten Planung anhand von hochauflösenden MR- und CT-Bildern berechnet. Durch die strenge Ausrichtung des/der Strahlenbündel(s) auf einen Brennpunkt (Isozentrum) und die Fixierung mit dem stereotaktischen Rahmen wird innerhalb des Schädels nur der Tumor von der hohen Dosis erfaßt, wohingegen angrenzende Hirnregionen ausgespart werden [2, 3]. Damit ist es möglich, Prozesse in kritischen Hirnregionen zu behandeln, ohne daß dabei funktionell wichtige Strukturen geschädigt werden.

Gamma Knife

Das Gamma Knife wurde in Schweden von Lars Leksell entwickelt und kam 1968 erstmals beim Menschen bei einer Thalamotomie wegen unstillbarer Schmerzen zum Einsatz.

Seither wurde das Gamma Knife mehrfach modifiziert und verbessert (Abb. 1). Das Gamma Knife ist ein radiochirurgisches Bestrahlungssystem, bei dem die Bündelung der Strahlen durch eine permanente, halbkugelige Anordnung und Ausrichtung von 201 Kobalt-Quellen erreicht wird. Durch ein inneres Kollimatorsystem werden die Photonenstrahlen mit einer Genauigkeit von 0,3 mm auf einen Fokus (Isozentrum) ausgerichtet [3, 4]. Die Bestrahlungsvolumina werden entweder mit einem Kollimator unterschiedlicher Größe (4, 8, 14, 18 mm) oder mit einer Kombination von verschiedenen großen Kollimatoren („multiple shot technique“) erzeugt.

Radiochirurgische Technik

Vor der Anbringung des stereotaktischen Rahmensystems werden die Fixationsstellen an der Kopfhaut mit Lokalanästhesie betäubt. Der stereotaktische Rahmen (LEKSELL®) wird mit Dornen an der Schädelkalotte fixiert

und bleibt bis zum Ende des radiochirurgischen Eingriffes montiert. Nur bei Kindern unter 8 Jahren erfolgt der Eingriff unter Vollnarkose.

Anschließend wird der zu behandelnde Prozeß im Magnetresonanztomographen (MR) oder Computertomographen (CT) unter stereotaktischen Bedingungen dargestellt. D. h., sowohl der Tumor als auch verschiedene stereotaktische Meßpunkte werden erfaßt und gemeinsam abgebildet. Die digitalen Bilddaten werden mit einem computergestützten Dosisplanungssystem (KULA, GAMMAPLAN) eingelesen und die Meßpunkte ausgewertet. Unterschiedliche Bildvergrößerungen werden berücksichtigt, die Tumorgrenzen exakt definiert und mit der berechneten Isodosenlinie umschlossen. Im Gamma Knife werden die Zielbereiche mit der 50 %-Isodosenlinie umhüllt. Damit wird mit hoher Präzision sichergestellt, daß der Tumor im Zentrum 100 % und an seinen Grenzen 50 % der Gesamtdosis erhält und somit der steilste Dosisgradient zur Anwendung kommt [4].

Für die Bestrahlung selbst wird der Kopf des Patienten mit dem stereotaktischen Rahmen an dem inneren Kollimator, der seinerseits mit der Patientencouch fest verbunden ist, fixiert (Abb. 2). Im Gamma Knife wird der Patient mechanisch mit der Liege in den Bestrahlungsfokus gebracht, wo er die berechnete Bestrahlungszeit verbleibt.

Größe der zu bestrahlenden Läsionen

Die Anwendung der Radiochirurgie wird sowohl durch strahlenbiologische Faktoren (Dosis, Volumen und Strahlensensitivität von Tumoren und angrenzenden Hirnstrukturen) als auch durch neuroradiologische Faktoren (klare Tumorgrenzen, Bildverzeichnung etc.) bestimmt. Wenn Prozesse (Melanometastase, Plexuskarzinom etc.) mit hoher Einzeldosis behandelt werden müssen, so ist ein kleines Volumen fern von strahlenempfindlichen Strukturen des Gehirns (Sehnerven, Hirnstamm, Hirnnerven) von Vorteil. Andererseits können mit niedriger Dosis auch ausgedehnte, gutartige Tumore (Meningiome, Akustikusneurinome etc.) erfolgreich behandelt werden.

Aus der Universitätsklinik für Neurochirurgie, Wien.

Korrespondenzadresse: Dr. med. Klaus Kitz, Universitätsklinik für Neurochirurgie, Wien, A-1090 Wien, Währinger Gürtel 18–20; E-Mail: klaus.kitz@univie.ac.at

Komplikationen

Zu strahleninduzierten Veränderungen (Ödembildung, Radionekrosen) nach radiochirurgischen Eingriffen kann es in 3 bis 15 % aller behandelten Fälle kommen [5]. Diese radiologisch im MR und CT faßbaren Veränderungen treten 5 bis 8 Monate nach der Behandlung auf, gehen sehr häufig mit einer kurzfristigen neurologischen Verschlechterung der Patienten einher und müssen dann gegebenenfalls medikamentös behandelt (Kortikoide) bzw. chirurgisch saniert werden.

Indikationen

Die radiochirurgische Behandlung wird als Alternative zu einer offenen Operation oder Strahlentherapie indiziert. Sie wird entweder als alleinige Behandlungsform oder als adjuvante Behandlungsmethode mit einer offenen Operation oder mit einer konventionellen Bestrahlung kombiniert eingesetzt. Die einzeitig durchgeführte Gamma Knife-Behandlung ist speziell für ältere Patienten sowie Patienten mit erhöhtem Operationsrisiko (internistische Erkrankungen, Chemotherapie) eine sehr effektive und wenig belastende Methode.



Abbildung 1: Gamma Knife mit Narkoseeinheit (AKH, Wien)

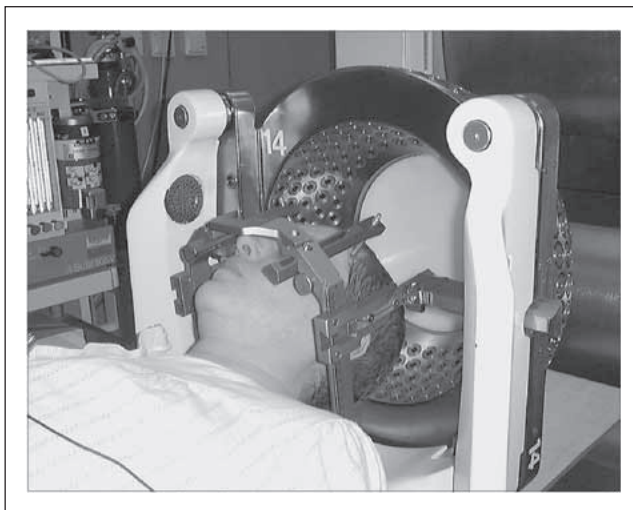


Abbildung 2: Position des Patienten im Innenkollimator

Einen großen Stellenwert hat die Radiochirurgie in der Behandlung von unvollständig entfernten Hirn- und Schädelstumoren oder Gefäßmalformationen, da es durch die präzise, allein auf den Tumor wirkende Bestrahlung möglich ist, diese krankhaften Gewebereste mit einer einzigen Bestrahlung am weiteren Wachstum zu hindern oder aber auch völlig zum Verschwinden zu bringen.

Benigne Tumoren

Meningiome

Meningiome, in der Mehrzahl der Fälle großteils histologisch benigne, sind aufgrund ihrer klaren Darstellung im MR eine wichtige Indikation für die Radiochirurgie. Meningiome an der Schädelbasis (Sinus cavernosus, Clivus, Foramen magnum) zeigen ein gutes Ansprechen mit einer Schrumpfung der Tumormasse in etwa 40 %, Stop des Tumorwachstums in 50 % und eine lokale Rezidivrate von weniger als 10 %. Meningiome an der Schädelkalotte zeigen nach RS in etwa 30 % eine starke peritumorale Ödembildung mit fokaler neurologischer Symptomatik, die nach 4–6 Monaten auftritt und mehrere Wochen anhalten kann [6]. Maligne Meningiome zeigen ein mäßiges Ansprechen auf die RS [7].

Akustikusneurinome

Schwannome des Kleinhirnbrückenwinkels gehören zur ältesten Indikationsgruppe des Gamma Knifes. Im CT und im MRI stellen sie sich als scharf begrenzte, anatomisch klar lokalisierbare Tumoren dar. Langzeitbeobach-

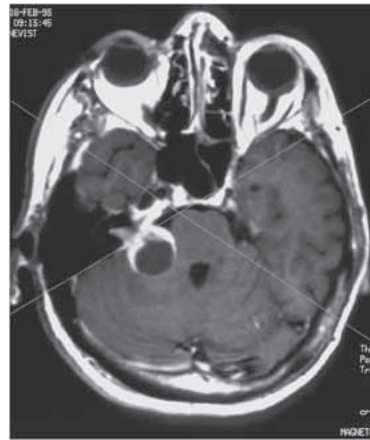


Abbildung 3a: Zystisches Akustikusneurinom re, Gamma Knife Planungs-MRT (T1 mit KM, 3 mm)

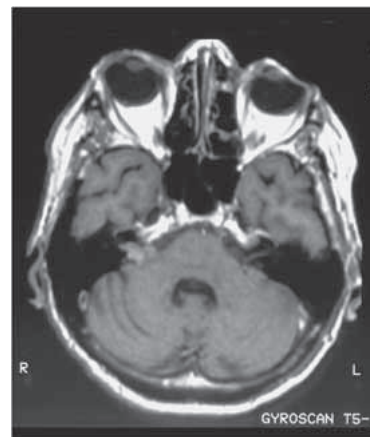


Abbildung 3b: Kontroll-MRT nach 48 Monaten, signifikante Tumorregression

tungen zeigen einen sehr guten Effekt hinsichtlich der Tumorkontrolle und eine Schrumpfung der Tumormasse in etwa 30 % (Abb. 3a, 3b). Fazialisparesen und Sensibilitätsstörungen im Gesicht nach RS sind durch die moderne Bildgebung (MR) und durch die Reduzierung der Dosis seltener geworden und liegen etwa bei 4–6 % [4]. Die Gehörerhaltung nach Radiochirurgie wird mit 30 % nach 3 Jahren angegeben.

Primäre Hirntumoren/Benigne Gliome

Reste von pilozytischen Astrozytomen nach chirurgischen Eingriffen werden wegen ihrer klaren, scharf begrenzten Anfärbung im MR häufig radiochirurgisch behandelt. Die Tumorkontrollrate liegt bei mehr als 60 %, wobei bei dieser Tumorgruppe keine langen Beobachtungszeiträume vorliegen.

Die Ergebnisse von radiochirurgischen Eingriffen bei diffusen Astrozytomen, Oligodendrogliomen und Ependyomen sind meist Einzelbeschreibungen und daher noch wenig aussagekräftig.

Hypophysenadenome

Hormonell aktive (GH, ACTH, PRL) sowie inaktive Mikroadenome und Makroadenome werden oft nach fehlgeschlagenen Tumorresektionen radiochirurgisch behandelt. Die GH- und ACTH-produzierenden Adenome zeigen in vielen Fällen eine rasche Senkung der Hormonwerte nach erfolgter RS [8]. Die Nähe des Tumors zum optischen System limitiert jedoch eine breitere Anwendung.

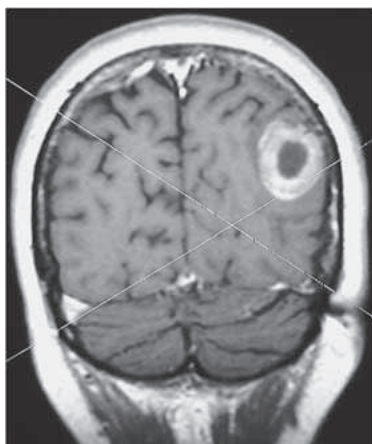


Abbildung 4a: Hirnmetastase (multipel) bei Adeno-Ca der Lunge, Planungs-MRT (T1 mit KM, 3 mm)

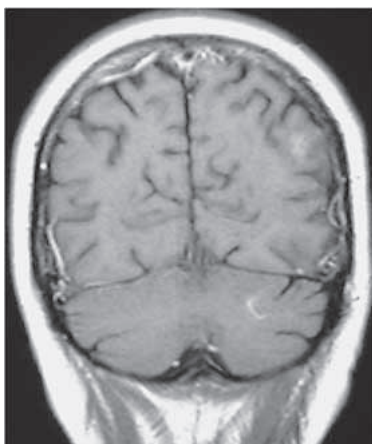


Abbildung 4b: Kontroll-MRT (T1 mit KM) 7 Monate nach Gamma Knife und Ganzhirnbestrahlung

Glomus jugulare-Tumoren

RS von Glomustumoren wurden in kleinen Serien durchgeführt. Bei den durchwegs älteren Patienten zeigte sich nach der Gamma Knife-Bestrahlung in der Mehrzahl eine Besserung der neurologischen Symptome. Die lokale Tumorkontrolle war in allen Fällen gegeben, eine Schrumpfung des Tumors war lediglich bei wenigen Patienten faßbar [9].

Maligne Tumoren

Metastasen

Sekundärblastomatöse Absiedelungen im Gehirn haben sich zur raschest wachsenden radiochirurgischen Indikation bei malignen Tumoren entwickelt. Die kugelige Form, die klare Darstellung im MR und das meist kleine Volumen machen diese Tumoren zum idealen radiochirurgischen Behandlungsobjekt. Im Vergleich zur offenen Operation, die häufig mit einer externen Ganzhirnbestrahlung kombiniert wird, zeigt die Radiochirurgie bei einer wesentlich geringeren Belastung des Patienten eine deutlich höhere lokale Rezidivfreiheit. Ein rasches radiologisches Ansprechen geht mit einer neurologischen Verbesserung innerhalb von Tagen einher (Abb. 4a, 4b). Mit einer Kombination aus Radiochirurgie und externer Ganzhirnbestrahlung können auch Fälle mit größeren oder multiplen Hirnmetastasen erfolgreich behandelt werden. Die ideale Größe für eine radiochirurgische Behandlung beträgt etwa 2 cm Durchmesser. Bei multiplen Läsionen liegt die Grenze bei 3 im MR festgestellten intrazerebralen Metastasen [10].

Maligne Gliome

Astrozytome III, Oligodendrogliome III, Ependymome III und Glioblastome werden weltweit mit unterschiedlichem Erfolg radiochirurgisch behandelt. Die histologische Dia-

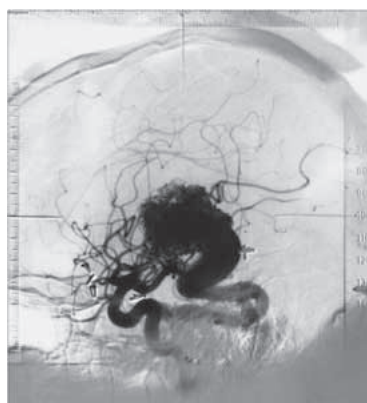


Abbildung 5a: AVM im Thalamus re, St. p. Blutung, St. p. Teil-exstirpation, Gamma Knife-Planungsangiographie (A. carotis interna re)

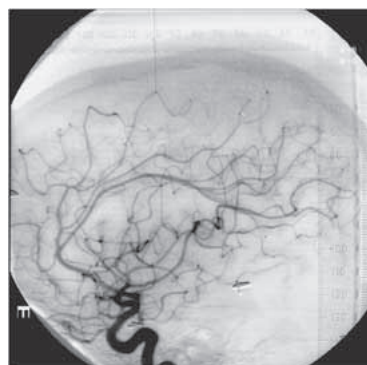


Abbildung 5b: Kontrollangiographie (A. carotis interna re.) nach 36 Monaten, komplette Obliteration der AV-Malformation

gnosestellung erfolgt vor RS zumeist über eine offene Operation oder mit einer stereotaktischen Biopsie. In Kombination mit einer externen Herdbestrahlung durchgeführt, kann mit der radiochirurgischen Technik im Tumorzentrum gezielt eine fokale Dosiserhöhung („boost“) erreicht werden. Diese Technik wird bei kleineren Tumoren erfolgreich eingesetzt.

Rezidive nach Strahlen- und Chemotherapie

Früh erkannte kleine Rezidive ausbehandelter maligner Tumoren können bei günstiger Lage radiochirurgisch lokal über lange Zeit erfolgreich unter Kontrolle gebracht werden. Der steile Dosisabfall erlaubt es, auch bei vorbestrahlten Patienten kleinere Rezidive mit einer hohen „boost“-Dosis nachzubestrahlen.

Gefäßmalformationen

Arteriovenöse Malformationen – durale AV-Fisteln

Das Blutungsrisiko bei AV-Malformationen beträgt 4 % pro Jahr. Eine Heilung ist erst nach einem völligen Verschluss der Gefäßmißbildung gegeben. Eine sofortige Ausschaltung kann entweder durch eine chirurgische Exstirpation (60 %) oder durch eine endovaskuläre Embolisation (20 %) mit geringem Risiko durchgeführt werden. AV-Malformationen in tiefen Hirnregionen oder funktionellen Hirnarealen sind hingegen nicht ohne ein weit höheres Morbiditätsrisiko zu verschließen. Mit dem Gamma Knife können auch Gefäßmalformationen in kritischen Hirngebieten mit geringem Risiko erfolgreich behandelt werden.

Bei kleinen AV-Malformationen (< 3 cm³) beträgt die Verschlussrate zwei Jahre nach Radiochirurgie 90 %, bei mittelgroßen (4–10 cm³) 70 % und bei großen (> 10 cm³) lediglich 30 % (Abb. 5a, 5b). Ein kombiniertes therapeutisches Vorgehen von Radiochirurgie mit vorhergehender Embolisation, oder Radiochirurgie mit nachfolgender chirurgischer Exstirpation kann die Obliterationsrate bei größeren Malformationen erhöhen.

Funktionelle Radiochirurgie

Obwohl das erste Gamma Knife speziell für funktionelle Eingriffe am Gehirn entwickelt wurde, hat die Bedeutung des Gamma Knifes bei der Behandlung von funktionellen Erkrankungen, wie M. Parkinson oder Trigeminusneuralgie, mit der Einführung neuer operativer Techniken und neuen Medikamenten abgenommen.

Trigeminusneuralgie

Die radiochirurgische Behandlung der Trigeminusneuralgie hat als radiochirurgische Indikation im Gamma Knife bis heute die größte Akzeptanz erreicht. Die Applikation

eines 4-mm-Isozentrums auf die Eintrittszone des Nervus trigeminus mit einer Einzeldosis von 70–90 Gy im Zentrum (Abb. 6) bewirkt eine Verbesserung der Schmerzen bei 70 % der Patienten, wovon etwa 20 % völlig schmerzfrei werden. Schmerzrezidive werden bei 30 % der Patienten beobachtet [11].

Morbus Parkinson

Die Gamma Knife-Thalamotomie hat sich als eine sichere Methode für Patienten mit Tremor, die für chirurgische Eingriffe nicht geeignet waren, erwiesen [12].

Epilepsie

Die Anwendung der Radiochirurgie in der Behandlung von Epilepsie ist weltweit auf wenige Zentren beschränkt und wird im Rahmen von Studien durchgeführt.

Konklusion

Der radiochirurgische Eingriff im Gamma Knife ist eine sichere, den Patienten wenig belastende Alternative zur offenen Schädeloperation. Eine sorgfältige Indikationsstellung in enger Zusammenarbeit mit Neurochirurgen, Strahlentherapeuten, Onkologen und Radiologen sowie eine exakte Durchführung der radiochirurgischen Technik sind die Grundvoraussetzungen für eine optimale Gamma Knife-Behandlung.

Das Gamma Knife hat sich mit nunmehr über 180.000 behandelten Patienten und mehr als 160 in Betrieb stehenden Gamma Knife-Einheiten als goldener Standard in der radiochirurgischen Behandlung von Hirntumoren, intrakraniellen Gefäßmalformationen und spezifischen neurologischen Erkrankungen weltweit etabliert.

Literatur:

1. Leksell L. The stereotactic method and radiosurgery of the brain. *Acta Chir Scand* 1951; 102: 316–9.
2. Lunsford LD, Flickinger JC, Lindner G, Maitz A. Stereotactic Radiosurgery of the brain using the first United States 201 Cobalt-60 source Gamma Knife. *Neurosurgery* 1989; 24: 151–9.
3. Leksell L. Stereotactic Radiosurgery. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1983; 46: 797–803.
4. Yamamoto M. Gamma Knife Radiosurgery. In: Mayberg M, Winn H (eds). *Neurosurgery Clinics of North America*. W. B. Saunders, Philadelphia, 1999; 10: 181–202.
5. Lunsford LD, Kondziolka D, Flickinger JC, Bissonette DJ, Jungreis CA, Maitz AH, Horton JA, Coffey RJ. Stereotactic radiosurgery for arteriovenous malformations of the brain. *J Neurosurg* 1991; 75: 512.
6. Nakamura S, Hiyama H, Arai K, Nakaya K, Sato H, Hayashi M, Kawamata T, Izawa M, Takakura K. Gamma Knife radiosurgery for meningiomas: Four cases of radiation-induced edema. *Stereotact Funct Neurosurg* 1996; 66 (Suppl 1): 142.
7. Ojemann SG, Sneed PK, Larson DA, Gutin PH, Berger MS, Verhey L, Smith V, Petti P, Wara W, Park E, McDermott MW. Radiosurgery for malignant meningioma: results in 22 patients. *J Neurosurg* 2000; 93 (Suppl 3): 62–7.
8. Ikeda H, Jokura H, Yoshimoto T. Gamma knife radiosurgery for pituitary adenomas: Usefulness of combined transphenoidal and gamma knife radiosurgery for adenomas invading the cavernous sinus. *Radiation Oncology Investigations* 1998; 6: 26.
9. Saringer W, Khayal H, Ertl A, Schoeggel A, Kitz K. Efficiency of gamma knife radiosurgery in the treatment of glomus jugulare tumors. *Minim Invasive Neurosurg* 2001; 44: 141–6.
10. Boyd TS, Mehta MP. A comprehensive review of the role of radiosurgery in patients with intra-cranial metastases. In: Kondziolka D (ed). *Radiosurgery* 1997. Karger, Basel, 1998; 2: 31–8.
11. Kondziolka D, Lunsford LD, Flickinger JC, Young RF, Vermeulen S, Duma CM, Jacques DB, Rand RW, Regis J, Peragut JC, Manera L, Epstein MH, Lindquist C. Stereotactic radiosurgery for trigeminal neuralgia: A multiinstitutional study using the Gamma Knife. *J Neurosurg* 1996; 84: 940–6.
12. Duma CM, Jacques DB, Kopyov OV, Mark RJ, Copcutt B, Farokhi HK. Gamma knife radiosurgery for thalamotomy in parkinsonian tremor: a five-year experience. *J Neurosurg* 1998; 88: 1044–9.

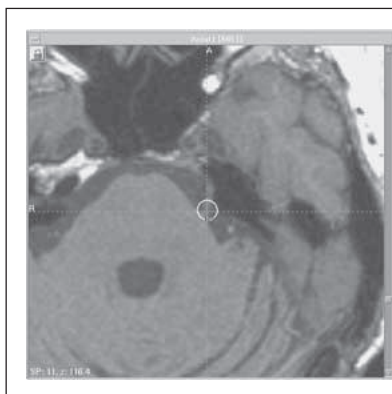


Abbildung 6: Dosisplan bei Trigeminusneuralgie li (2. Ast), Isodosenlinie auf dem N. trigeminus I im Bereich der Eintrittszone (70 Gy Zen-trumsdosis), komplette Schmerzfremheit nach 2 Monaten

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere zeitschriftenübergreifende Datenbank

☒ [Bilddatenbank](#)

☒ [Artikeldatenbank](#)

☒ [Fallberichte](#)

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

☒ [Bestellung e-Journal-Abo](#)

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

[Impressum](#)

[Disclaimers & Copyright](#)

[Datenschutzerklärung](#)