

Journal für

# Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie

www.kup.at/  
JNeurolNeurochirPsychiatr

Zeitschrift für Erkrankungen des Nervensystems

## Stereotaktische Radiochirurgie mit dem Linearbeschleuniger

Deinsberger R

*Journal für Neurologie*

*Neurochirurgie und Psychiatrie*

2003; 4 (3), 16-20

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,-

## ÖGSF Online-Fortbildung: **Veranstaltung der ÖGSF Schlaganfall - was sind die Aufgaben für den/die Allgemeinmediziner\*in**

21. Oktober 2021 17.00 bis 18.00 Uhr



**Referent:**  
**Prim. Ass. Prof. Dr. Karl Matz**  
Vorstand Abteilung für Neurologie  
Landeskrankenhaus Baden-Mödling

Jetzt online unter  
<https://bit.ly/2XFdSHK> anmelden

Onlineanmeldung



Die Teilnahme an dieser Fortbildungsveranstaltung ist Angehörigen der Fachkreise gemäß Pharmig VHC Artikel 2.2 vorbehalten und ist nicht übertragbar.

Wissenschaftlicher Fortbildungsanbieter:  
Österreichische Schlaganfall Gesellschaft, 1070 Wien

Mit freundlicher Unterstützung von  **Boehringer  
Ingelheim**

# Change.Pain:

*compact*

PAIN FOR EXPERTS

## Virtuelle Fortbildung

### Themenschwerpunkte:

Schmerzmedizin | Palliativtherapie  
Migräne | Neuropathische Schmerzen

### Wissenschaftliche Leitung:

Prim. Univ.-Prof.  
Dr. Rudolf Likar, MSc

**Jetzt anmelden!**

**Do.,  
28.10.**  
17:00 – 20:00  
Uhr

**Fr.,  
29.10.**  
17:00 – 19:15  
Uhr

# Stereotaktische Radiochirurgie mit dem Linearbeschleuniger

R. Deinsberger

Die stereotaktische Radiochirurgie ist eine einzeitige, hochdosierte, fokussierte Bestrahlung eines stereotaktisch errechneten intrakraniellen Zielvolumens mit hoher mechanischer Genauigkeit. Neben dem Gamma-Knife hat sich die Linearbeschleuniger-Radiochirurgie als gleichwertige Methode in der Neurochirurgie etabliert. Vor allem bei der Behandlung von Gehirnetastasen, Schädelbasismeningeomen und arteriovenösen Gefäßmalformationen ist die Linearbeschleuniger-Radiochirurgie nicht nur eine Alternative, sondern auch eine wertvolle adjuvante Therapiemodalität geworden.

**Schlüsselwörter:** Linearbeschleuniger, Radiochirurgie, Metastasen, Meningeome, Gefäßmalformationen

**Stereotactic Radiosurgery with Linear Accelerator:** Stereotactic radiosurgery is a radiation technique of a high radiation dose focused on a stereotactic intracranial target in a single fraction with high precision. Linear accelerator-radiosurgery is at least as effective as Gamma-knife radiosurgery. It has become a daily tool in neurosurgery and especially in the treatment of brain metastases, skull base meningiomas and arteriovenous malformations it is not only an alternative to open surgery but also a very effective adjuvant treatment modality. *J Neurol Neurochir Psychiatr* 2003; 4 (3): 16–20.

**Key words:** linear accelerator, radiosurgery, brain metastases, meningiomas, arteriovenous malformations

Der Begriff „stereotaktische Radiochirurgie“ beschreibt eine einzeitige, fokussierte, hochdosierte Bestrahlung eines stereotaktisch errechneten intrakraniellen Zielvolumens mit sehr hoher mechanischer Genauigkeit. Das Zielvolumen wird durch dreidimensionale Computersimulationen geplant. Durch die Anordnung verschiedener Strahlenbögen, die auf ein Zentrum fokussiert sind, kommt es zu einer sehr hohen Dosis im Zielvolumen mit einem sehr steilen Dosisabfall am Rand.

Der Begriff „Radiochirurgie“ wurde bereits 1951 von Lars Leksell geprägt, um seine Technik, 200 kW Röntgenstrahlen aus verschiedenen Richtungen auf ein Zielvolumen zu fokussieren, zu beschreiben [1].

1968 wurde – ebenfalls von Lars Leksell – das Gamma-Knife erstmals beim Menschen eingesetzt [2]. Heute stehen uns neben dem Gamma-Knife, welches radioaktives Kobalt 60 als Energiequelle nutzt, der Linearbeschleuniger und das Cyclotron für die Radiochirurgie zur Verfügung. Während die Protonenstrahlung des Cyclotrons auf dem Bragg-Effekt beruht, ist die Strahlung des Gamma-Knifes und des Linearbeschleunigers eine Photonenstrahlung.

## Linearbeschleuniger

Linearbeschleuniger wurden Anfang der 1950er Jahre in den USA und Großbritannien entwickelt. Elektronen werden auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt, fokussiert und an einer Wolframplatte abgebremst. Dadurch entsteht die Röntgenstrahlung – Photonen mit sehr hoher Energie. Durch Kollimatoren wird der Röntgenstrahl fokussiert, wobei für die Radiochirurgie Kollimatoren im Durchmesser von 5–40 mm zur Verfügung stehen.

Der Linearbeschleuniger wurde in der Folge zum meistbenutzten Gerät der Radioonkologie.

Anfang der 1980er Jahre wurde der Linearbeschleuniger als Energiequelle für die Radiochirurgie und als Alternative zum Gamma-Knife entdeckt. Colombo, Betti und Derechinsky sowie Sturm begannen, selbstadaptierte Linearbeschleuniger für die Radiochirurgie zu nutzen [3–5]. 1988 entwickelten Winston und Lutz in Boston einen Floorstand, um den Stereotaxie-Ring des Patienten zu befestigen und dadurch die mechanische Ungenauigkeit

des Linearbeschleunigers auszugleichen [6]. 1989 publizierten Friedman und Bova ein fahrbares stereotaktisches Subsystem für den Linearbeschleuniger, um sowohl von der Mechanik der Gantry als auch des Tisches bei Bewegungen unabhängig zu werden [7]. Dieses System besteht aus 2 Hochpräzisionshebearmen. Ein Hebearm führt den Kollimator und ist kardanisch, minimal frei beweglich mit der Gantry des Linearbeschleunigers verbunden. Der zweite Hebearm trägt den Stereotaxie-Ring des Patienten und kontrolliert die Drehbewegung beim Einstellen neuer Tischwinkel. Diese 2 Hebearme sind mechanisch gekoppelt und werden vor Beginn jeder Radiochirurgie am Linearbeschleuniger adaptiert; dadurch erzielt man eine mechanische Isozentrumsgenauigkeit, welche der des Gamma-Knifes entspricht (Abb. 1).

## Prinzip der Radiochirurgie mit dem Linearbeschleuniger

Das Prinzip der Radiochirurgie mit dem Linearbeschleuniger beruht auf multiplen, nichtkoplanaren Bestrahlungsfeldern mit Fokussierung auf ein stereotaktisch errechnetes Zielvolumen. Dies ergibt eine sehr hohe Dosis am Zielvolumen mit einem sehr steilen Dosisabfall am Rand.



Abbildung 1: Linearbeschleuniger mit stereotaktischem Subsystem

Aus der Neurochirurgischen Abteilung des LKH Klagenfurt

**Korrespondenzadresse:** Dr. med. Robert Deinsberger, Neurochirurgische Abteilung, LKH Klagenfurt, A-9026 Klagenfurt, St. Veiter Straße 47; E-Mail: robert.deinsberger@lkh-klu.at

## Radiochirurgische Technik

Nach Infiltration eines Lokalanästhetikums wird der Stereotaxie-Ring mit 4 Schrauben am Kopf des Patienten befestigt. Nach Konnektieren eines stereotaktischen Lokalisierendes wird eine Computertomographie mit Kontrastmittel und 1 mm Schichtdicke durchgeführt. Die Daten werden in unser dreidimensionales Planungsprogramm eingelesen, anschließend wird eine Bildfusionierung mit MRT-Bildern vom Vortag durchgeführt. Die strahlensensiblen Strukturen, wie z. B. Chiasma opticum, Nervus opticus, Augenlinsen und Hirnstamm, sowie das Zielvolumen werden zusätzlich markiert und dreidimensional in verschiedenen Farben dargestellt (Abb. 2). Anschließend erfolgt gemeinsam mit dem Radioonkologen die Bestrahlungsplanung.

Der Tumor wird mit der 80%igen Isodosenlinie umschlossen, bei 100 % der Dosis im Isozentrum; somit wird mit einer sehr homogenen Dosisverteilung geplant.

Nach dem Adaptieren des Linearbeschleunigers wird eine Qualitätskontrolle mit einer Filmdosimetrie nach Lutz in extremen Tisch- und Gantrywinkeln durchgeführt. Der Patient wird nun am Linearbeschleunigertisch gelagert und der Stereotaxie-Ring am Subsystem fixiert. Anschließend werden die verschiedenen Bestrahlungsbögen in den errechneten Tischpositionen durchgeführt. Nach Beendigung der Bestrahlung wird der stereotaktische Ring entfernt, und der Patient kann noch am selben Tag oder spätestens am Morgen des nächsten Tages aus der Klinik entlassen werden.

## Indikationen

Das Indikationsspektrum der Radiochirurgie hat sich in den letzten Jahren zunehmend erweitert und einen festen Platz in der onkologischen, vaskulären und funktionellen Neurochirurgie eingenommen. Die Radiochirurgie ist nicht nur eine Alternative zur offenen Operation, sondern wird zunehmend auch als adjuvante Therapie eingesetzt.

### Gehirnmetastasen

Das Behandlungsziel zerebraler Metastasen ist das Erhalten und Verbessern der Lebensqualität durch lokale Tumorkontrolle. Metastasen sind aufgrund ihrer radiologischen und biologischen Charakteristika ideale Indikationen für die Radiochirurgie. Sie sind oft kugelig, klein, minimal invasiv, wachsen verdrängend und nicht infiltrierend und sind radiologisch im MR sehr gut begrenzt. Bis heute sind bereits mehr als 3000 Patienten mit radiochirurgisch behandelten zerebralen Metastasen in der Literatur beschrieben. Ein Überblick zeigt lokale Kontrollraten zwischen 80 und 96 %, wobei die mittleren Überlebenszeiten zwischen einem halben Jahr und einem Jahr liegen [8–11]. Retrospektive Studien, welche die Radiochirurgie mit Operation und Ganzhirnbestrahlung vergleichen, zeigen eine höhere lokale Kontrollrate und Überlebenszeit nach Radiochirurgie [12, 13].

Die Vorteile der Radiochirurgie sind vor allem ihre minimale Invasivität, es können Metastasen in allen Regionen behandelt werden, ebenso multiple Metastasen in einer Sitzung, der Krankenhausaufenthalt beschränkt sich auf maximal 48 Stunden bei sehr geringer Morbidität und keiner Mortalität. Aufgrund der sehr raschen Rückbildung des perifokalen Ödems und Tumorverkleinerung kommt es innerhalb von 2–3 Wochen zu einer deutlichen Verbesserung der neurologischen Symptomatik (Abb. 3 und 4).

Die Nachteile sind die fehlende histologische Diagnostik, die Limitierung beim Tumordurchmesser sowie die

fehlende akute Besserung der neurologischen Symptomatik.

Die Vorteile der Chirurgie liegen in einer raschen Verbesserung der neurologischen Beschwerden durch Dekompression und Reduktion des intrakraniellen Drucks, Öffnen des Liquorabflusses, vor allem bei Metastasen der hinteren Schädelgrube und Kompression des 4. Ventrikels, einer Histologiegewinnung sowie einer hohen Effektivität bei großen, raumfordernden Tumoren.

Die Nachteile der chirurgischen Behandlung sind die Invasivität, ein längerer Krankenhausaufenthalt, die Morbidität, vor allem bei Metastasen eloquenter Regionen, sowie die Mortalität.

An der Neurochirurgie Klagenfurt haben wir 132 Metastasen bei 93 Patienten radiochirurgisch behandelt, wobei 60 Patienten (64,5 %) eine singuläre und 33 Patienten (35,5 %) multiple Metastasen hatten.

Pulmonale Metastasen standen mit 47,8 % (63 von 132) im Vordergrund, und hier wiederum vor allem Adenokarzinome. Bei 21,2 % (28 von 132) war ein malignes Melanom der Primärtumor.



Abbildung 2: Dreidimensionales Planungssystem

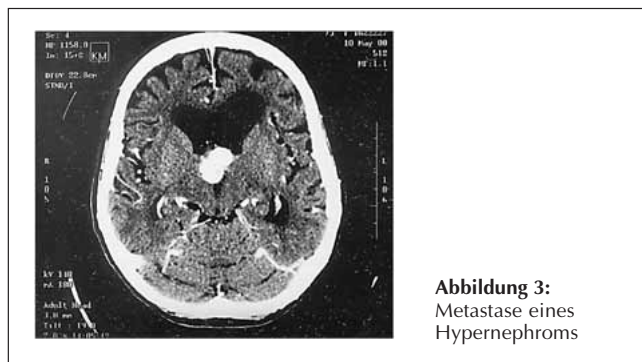


Abbildung 3: Metastase eines Hypernephroms

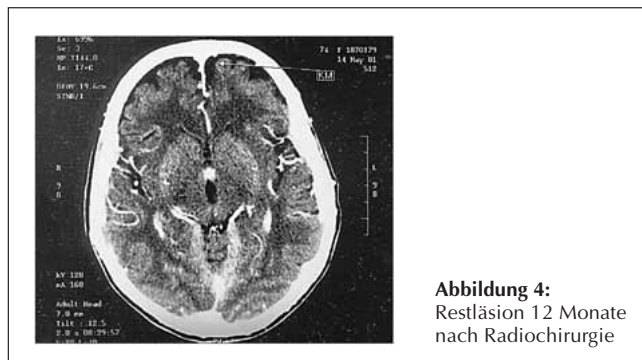


Abbildung 4: Restläsion 12 Monate nach Radiochirurgie

56 Metastasen (42,6 %) waren im motorischen Kortex, 16 (12,2 %) in den Stammganglien und 9 (6,7 %) im Sprachkortex lokalisiert. Die 24 (18,1 %) infratentoriellen Metastasen wiesen weder eine direkte Kompression des 4. Ventrikels auf, noch bestand ein Hydrocephalus occlusus; ebenso benötigte keiner dieser Patienten nach der radiochirurgischen Behandlung eine Shunt-Operation aufgrund eines Hydrocephalus occlusus. Insgesamt waren somit 68,2 % (90 von 132) Metastasen in eloquenten Gehirnregionen lokalisiert.

30 Patienten (32,5 %) erhielten aufgrund einer Multiplizität zusätzlich eine fraktionierte Radiotherapie. Das durchschnittliche Volumen der radiochirurgisch versorgten Metastasen betrug 3,1 ml (0,3–15 ml), die durchschnittliche Oberflächendosis betrug 18,3 Gy, wobei die 80%ige Isodose tumorhüllend war. Das Follow-up unserer Patienten beträgt zwischen 6 und 60 Monate. 14 der 132 radiochirurgisch versorgten Metastasen zeigten ein lokales Tumorzidiv, somit beträgt die lokale Tumorkontrollrate 89,4 %. Die Einjahresüberlebensrate betrug 54,9 %.

Bei 6 Patienten (6,5 %) kam es zu multiplen Fernrezidiven, welche mittels Ganzhirnbestrahlung therapiert wurden. 3 radiochirurgisch versorgte Metastasen (2,3 %) entwickelten nach einem Intervall von 6–8 Monaten eine Radionekrose, welche mittels PET diagnostiziert wurde und bei einem Patienten aufgrund eines ausgeprägten raumfordernden Effektes operativ versorgt werden mußte.

### **Radiotherapie**

Die Indikation der Radiotherapie bei Gehirnmetastasen wird zunehmend kontrovers beurteilt. Eine retrospektive Studie von Flickinger zeigt eine deutlich signifikant niedrigere Rezidivrate bei zusätzlicher Radiotherapie, jedoch sank der Karnofsky-Score durch akute und chronische Nebenwirkungen der Radiotherapie signifikant [14]. Eine retrospektive Studie von Sneed zeigt den Einfluß der Radiotherapie auf das Auftreten von Fernrezidiven; die Überlebenszeit und die lokale Tumorkontrollrate änderten sich jedoch nicht signifikant. Nur 20–30 % der Langzeitüberlebenden benötigten eine Radiotherapie aufgrund multipler Rezidive [15].

Wir behandeln Patienten mit bis zu 3 Metastasen und 3 cm Durchmesser rein radiochirurgisch, eine zusätzliche Radiotherapie setzen wir nur bei multiplen zerebralen Metastasen und beim Auftreten von multiplen Fernrezidiven ein. Ein bis drei Fernrezidive können ebenfalls radiochirurgisch versorgt werden. Ein exaktes Follow-up dieser Patienten ist unbedingt erforderlich, um Rezidive so früh wie möglich zu erkennen.

### **Gliome**

Maligne Gliome haben trotz aggressiver Operation, Radiotherapie und Chemotherapie eine sehr ungünstige Prognose. Betrachtet man die Prinzipien der Radiochirurgie, so stellen maligne Gliome mit ihrem infiltrativen Charakter und unscharfen Grenzen keine Indikation für die Radiochirurgie dar. Ebenso stimmt das kontrastmittelaufnehmende Volumen mit dem tatsächlichen Tumolvolumen nicht überein. Seit im Jahre 1979 die Dosis-Wirkungs-Beziehung nachgewiesen wurde, wurde immer wieder eine Dosisescalation im Tumolvolumen versucht, sei es durch Hyperfraktionierung, Brachytherapie oder Radiochirurgie [16].

Aus diesem Grund wurde in den letzten Jahren die stereotaktische Radiotherapie zunehmend bei der Behandlung maligner Gliome eingesetzt, einerseits in der Behandlung klein umschriebener Lokalrezidive, andererseits als Boost-Bestrahlung in der Primärbehandlung [17–19].

In der Primärbehandlung kann die Radiochirurgie nach Beendigung der fraktionierten Radiation bis auf 50–55 Gy als radiochirurgische Boost-Behandlung des Tumorbettes durchgeführt werden. Bei unseren Patienten haben wir mit dieser Behandlung eine Einjahresüberlebensrate von 66,7 %. Derzeit scheinen jedoch von der adjuvanten Radiochirurgie in der Primärbehandlung maligner Gliome vor allem jüngere Patienten mit einer RTOG-Klassifikation von 3–5 zu profitieren. Eine weitere Indikation für die Radiochirurgie bei malignen Gliomen stellen kleine, radiologisch gut begrenzte Lokalrezidive dar. Die Überlebenszeit wird dadurch verlängert, und der Eingriff ist für den Patienten sehr schonend.

### **Meningeome**

Bei den Meningeomen stellen vor allem die Schädelbasismeningeome eine Indikation für die Radiochirurgie dar. Die Schädelbasis stellt aufgrund ihrer Anatomie und der Vielzahl von vitalen und strahlensensiblen Strukturen sowohl für die Mikrochirurgie als auch für die Radiochirurgie eine große Herausforderung dar. Eine Radikalität kann oft aufgrund der Beziehung zu den großen Gefäßen, Hirnnerven und den Hirnstamm nicht oder nur mit hoher Morbidität erreicht werden, und man muß sich oft mit einer Resektion begnügen. Die akute Raumforderung ist zwar beseitigt, jedoch liegt die Rezidivhäufigkeit der inkomplett resezierten Schädelbasismeningeome nach 5 Jahren bei über 20 % [20]. In den letzten Jahren hat die radiochirurgische Behandlung bei Schädelbasismeningeomen zunehmend an Bedeutung gewonnen. Schädelbasismeningeome sind meist sehr gut begrenzt, eingekapselt, wachsen nicht invasiv, sind oft klein, und die Gefäßversorgung befindet sich in der Tumorkapsel und kann in die hohe Strahlendosis miteinbezogen werden, was zu einer Obliteration der tumorversorgenden Gefäße und damit zur Nekrose des Tumors führt.

Wir haben insgesamt 32 Schädelbasismeningeome radiochirurgisch therapiert, das durchschnittliche Volumen betrug 4,8 ml (0,2–22 ml), wobei wir auf die 80%-Isodose therapiert haben. Wurden 2 oder mehr Isozentren verwendet, war die 70%-Isodose tumorhüllend. Vor allem aufgrund der irregulären Form der Schädelbasismeningeome sind hier auch meist mehrere Isozentren zu wählen. Die durchschnittliche Dosis betrug 14 Gy an der Tumoroberfläche. Bei 30 % unserer Patienten kam es zu einer signifikanten Verkleinerung des Tumors, bei weiteren 30 % zeigte sich nach 12 Monaten eine signifikant verringerte Kontrastmittelaufnahme mit zentralen Nekrosen, und bei weiteren 35 % kam es zu einem Stopp des Tumorzwachstums. Bei 5 % der Patienten ist mit einem Tumorzwachstum in den ersten 5 Jahren zu rechnen [21, 22].

Die Vorteile der Radiochirurgie bei der Behandlung von Schädelbasismeningeomen sind vor allem die hohe Tumorkontrollrate, eine geringe Morbidität, ein kurzer stationärer Krankenhausaufenthalt, eine raschere Integration in das soziale und berufliche Leben. Bei Schädelbasismeningeomen wird die Radiochirurgie vor allem auch als adjuvante Behandlung nach inkompletter operativer Resektion durchgeführt. Hierdurch sinken sowohl die Rezidivrate nach inkompletter Resektion als auch die postoperative Morbidität, da die Operation weniger aggressiv durchgeführt wird; somit verkürzen sich auch die postoperative Phase und Rehabilitation. Die Morbidität nach Radiochirurgie bei Schädelbasismeningeomen beträgt 2–9 %. Die Morbidität der zusätzlich aufgetretenen Störung motorischer Hirnnerven ist durch die dreidimensionale Planung und eine Reduktion der verwendeten Dosis deutlich zurückgegangen und sollte unter 10 % liegen.

Bezüglich der Sensibilität des Chiasma opticum hat Leber deutlich gezeigt, daß eine Belastung von 10 Gy risikofrei ist. Bei 10–15 Gy kam es bei 26,7 % und bei Dosen über 15 Gy bei 77,8 % zu Sehstörungen [23].

Die Indikation zur primären radiochirurgischen Versorgung bei Schädelbasismeningeomen sollte vor allem bei Patienten mit internistischen Begleiterkrankungen, höherem Alter, kleinen, jedoch aufgrund ihrer Lokalisation nur unter sehr hoher Morbidität erreichbaren Meningeomen und bei Operationsablehnung des Patienten durchgeführt werden.

Bei Konvexitätsmeningeomen ist die operative Exstirpation die Therapie der Wahl. Die lokale Tumorkontrollrate entspricht den Kontrollraten der Schädelbasismeningeome, jedoch zeigt sich bei ca. 30 % der Patienten eine starke peritumorale Ödembildung mit fokaler neurologischer Symptomatik, weshalb hier der offenen Operation sicher der Vorzug zu geben ist.

### **Akustikusneurinome**

Akustikusneurinome stellen eine der ältesten Indikationen der Radiochirurgie dar. Sie sind meist glatt begrenzt und auch radiologisch sehr gut darstellbar. Das Ziel der Radiochirurgie bei der Behandlung von Akustikusneurinomen ist eine lokale Tumorkontrolle, welche in einem Beobachtungszeitraum von über 5 Jahren bei 90 % liegt. In den letzten Jahren ist es durch eine Dosisreduktion und Bestrahlungsplanung mit MRT zu einer deutlichen Senkung der Nebenwirkungsrate gekommen. Fazialispareesen und Störungen des N. trigeminus sollten unter 5 % liegen. In ca. 70 % der Fälle kann das Gehör erhalten werden [24–26]. Akustikusneurinome über 2,5 cm Durchmesser sollten, sofern eine Operation nicht möglich ist, stereotaktisch fraktioniert behandelt werden, dadurch sinkt das Risiko einer Fazialisparese bei gleichbleibender Tumorkontrollrate [27].

### **Hypophysenadenome**

Erfahrungen der radiochirurgischen Behandlung von Hypophysenadenomen gehen auf die 1950er Jahre zurück [28]. Trotz dieser langjährigen Erfahrung zählt die fraktionierte Strahlentherapie bei inoperablen Hypophysenadenomen zur Therapie der Wahl. Es werden hier Tumorkontrollraten von 80 % berichtet, jedoch kommt es nur in ca. 50 % der Fälle zu einer Reduktion der Hormonwerte. Es ist zwar das Risiko bezüglich einer optischen Neuropathie gering, jedoch das Risiko eines Hypopituitarismus sehr hoch [29–31]. Die radiochirurgischen Erfahrungswerte bei Hypophysenadenomen zeigen eine sehr gute Tumorkontrollrate; bei Akromegalieklienten und hormoninaktiven Tumoren liegt die lokale Tumorkontrollrate bei über 75 %. ACTH (Adrenokortikotropes Hormon)-produzierende Hypophysenprolaktinome benötigen eine höhere Dosis, wodurch man aber durch die Nähe zum optischen Apparat eingeschränkt ist. Größere Studien zeigen eine Normalisierung von ACTH bei 52 % und von STH (Somatotropes Hormon) bei 75 % [32–35]. Bei größeren Hypophysenadenomen, welche operativ nicht zugänglich sind, wird in Zukunft sicher die stereotaktische fraktionierte Radiotherapie gute Ergebnisse bringen.

### **Arteriovenöse Malformationen**

Arteriovenöse Malformationen kommen bei ca. 0,5–1 % der Bevölkerung vor und sind seit vielen Jahren Hauptindikationsgebiet der Radiochirurgie, wodurch auch bereits sehr gute Langzeitergebnisse vorliegen. Das Blutungsrisiko von arteriovenösen Malformationen beträgt 2–4 % pro Jahr [36]. Weitere Symptome sind epileptische Anfälle,

fokale neurologische Symptome und Cephalaea. Das Ziel in der Behandlung von arteriovenösen Malformationen ist die vollständige Ausschaltung des Gefäßnidus. Es stehen uns heute mit der Chirurgie, der endovaskulären Versorgung und der Radiochirurgie drei Therapiemodalitäten zur Verfügung. Diese Therapiemodalitäten können auch kombiniert eingesetzt werden. Mit der offenen Chirurgie ist nach der chirurgischen Exstirpation kein Blutungsrisiko mehr gegeben, doch geht die operative Versorgung vor allem bei tief liegenden Angiomen mit einer erhöhten Morbidität einher.

Ziel der endovaskulären Versorgung ist, das Angiom von innen her zur Gänze zu verschließen. Dies gelingt jedoch nur bei einem Teil der Angiome. In den meisten Fällen ist durch die Komplexität der Angiomarchitektur nur ein inkompletter Verschluss möglich. Der Restnidus kann wiederum operativ oder radiochirurgisch versorgt werden.

Mit der Radiochirurgie können auch Gefäßmalformationen in eloquenten Gehirnregionen versorgt werden. Durch die stereotaktische Radiochirurgie kommt es zur Gefäßobliteration und zum vollständigen Verschluss des Angiomnidus. Langzeitergebnisse zeigen Okklusionsraten von über 80 % nach 2 Jahren. Kleinere Angiome haben eine deutlich höhere Okklusionsrate als größere [37, 38]. Je größer die Läsion, um so geringer ist die Dosis im Gefäßnidus. Friedman berichtet über eine vollständige Okklusionsrate von 79 % bei Angiomen von unter 10 ml und von 47 % bei Angiomen über 10 ml [39]. Ein inkompletter Verschluss des Gefäßnidus führt zu keiner Verringerung des Blutungsrisikos, worin der eigentliche Hauptnachteil der radiochirurgischen Versorgung besteht. Sollte nach 2 Jahren noch ein Restnidus vorhanden sein, so kann wiederum eine offene Exstirpation, Embolisation oder eine neuerliche radiochirurgische Versorgung durchgeführt werden. Bei neuerlicher radiochirurgischer Versorgung des Restnidus kommt es bei 60–70 % der Patienten nach 2 Jahren zu einer vollständigen Obliteration des Restnidus [40].

### **Kavernome**

Kavernöse Malformationen sind gut umschriebene Läsionen, und zwar mit Blut gefüllte Hohlräume, wobei innerhalb des Kavernoms kein Gehirnparenchym vorhanden ist. Sie stellen sich in der Angiographie nicht dar, weshalb sie auch als angiographisch okkulte arteriovenöse Malformationen bezeichnet werden.

Der Einsatz der stereotaktischen Radiochirurgie bei Kavernomen wird sehr kontrovers beurteilt. Dies liegt auch daran, daß sie sich in den Kontrollen radiologisch nicht verändern und man auf den klinischen Verlauf angewiesen ist.

Eine vor kurzem erschienene Analyse von 68 Patienten zeigt nach der Radiochirurgie eine signifikante Verminderung der symptomatischen Blutungsrate nach 2 Jahren [41]. Zum derzeitigen Zeitpunkt ist die chirurgische Exstirpation bei Kavernomen, welche operativ zugänglich sind, die Therapie der Wahl. Chirurgisch nicht zugängliche Kavernome, welche bereits zweimal geblutet haben, stellen eine Indikation zur radiochirurgischen Versorgung dar. Die Morbidität nach radiochirurgischer Versorgung von Kavernomen wird jedoch mit 20 % angegeben, weshalb die Indikation diesbezüglich sehr streng gestellt werden sollte [42, 43].

### **Funktionelle Radiochirurgie**

Die Radiochirurgie wurde in ihren Anfängen vor allem in der funktionellen Neurochirurgie eingesetzt. Durch das Aufkommen von effizienten Medikamenten ist die Radiochirurgie in den Hintergrund getreten. Die Linear-

beschleuniger-Radiochirurgie wird in der funktionellen Neurochirurgie vor allem in der Behandlung der Trigeminusneuralgie eingesetzt. Hierbei wird mit einem kleinen Kollimator (5 mm Durchmesser) eine Einzeldosis von 70–80 Gy auf das Zentrum der Eintrittszone des N. trigeminus appliziert. Bei ca. 70 % der behandelten Patienten kam es zu einer deutlichen Besserung der Schmerzsymptomatik, wobei die Rezidivrate bei 30 % liegt [44]. Bezüglich der Behandlung der Trigeminusneuralgie stehen uns mit der mikrovaskulären Dekompression des N. trigeminus nach Jannetta und der Thermokoagulation des Ganglion Gasserii auch weitere exzellente operative Behandlungsmethoden neben der medikamentösen Therapie zur Verfügung.

### Zusammenfassung

Die stereotaktische Radiochirurgie mit dem Linearbeschleuniger hat sich in nahezu allen Gebieten der Neurochirurgie fest etabliert. Sie ist nicht nur zu einer Alternative zur offenen Operation, sondern vor allem zu einer wertvollen Erweiterung der neurochirurgischen Behandlungsmethoden geworden.

Wichtig in der radiochirurgischen Behandlung mit dem Linearbeschleuniger ist eine enge, gut funktionierende Zusammenarbeit zwischen dem Neurochirurgen und dem Strahlentherapeuten. Mit dem Vorhandensein mehrerer Therapiemodalitäten muß gemeinsam mit dem Onkologen, Radioonkologen und Neurochirurgen für den Patienten ein für ihn ideales Therapiekonzept erstellt werden.

In den letzten Jahren hat sich die Linearbeschleuniger-Radiochirurgie als gleichwertige Methode zum Gamma-Knife in der Radiochirurgie weltweit etabliert.

### Literatur

- Leksell L. The stereotactic method and radiosurgery of the brain. *Acta Chir Scand* 1951; 102: 316–9.
- Leksell L. Cerebral radiosurgery. I. Gammathalamotomy in two cases of intractable pain. *Acta Chir Scand* 1968; 134: 585–95.
- Colombo F, Benedetti A, Pozza F, Avanzo RC, Marchetti C, Chierogo A, Zanardo A. Stereotactic radiosurgery utilizing a linear accelerator. *Neurosurgery* 1985; 48: 133–45.
- Betti OO, Derechinsky VE. Hyperselective encephalic irradiation with linear accelerator. *Acta Neurochir Suppl* 1984; 33: 385–90.
- Hartmann GH, Schlegel W, Sturm V, Kober B, Pasty O, Lorenz WJ. Cerebral radiation surgery using moving field irradiation at a linear accelerator facility. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1985; 11: 1185–9.
- Lutz W, Winston KR, Maleki N. A system for stereotactic radiosurgery with a linear accelerator. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1988; 14: 373–81.
- Friedman WA, Bova FJ. The University of Florida radiosurgery system. *Surg Neurol* 1989; 32: 334–42.
- Boyd TS, Mehta MP. Stereotactic radiosurgery for brain metastases. *Oncology* 1999; 13: 1397–409.
- Alexander E III, Loeffler JS. The case for radiosurgery. *Clin Neurosurg* 1999; 45: 32–40.
- Deinsberger R, Tidstrand J, Lanner G. Linac Radiochirurgie bei zerebralen Metastasen. *Acta Chir Austriaca* 1998; 141: 58–9.
- Deinsberger R, Lanner G, Tidstrand J, Sabitzer H. The role of linac radiosurgery in patients with cerebral metastases. In: 11<sup>th</sup> European Congress of Neurosurgery. Monduzzi, 1999; 549–53.
- Muacevic A, Kreth FW, Horstmann GA, Schmid-Elsaesser R, Wowra B, Steiger HJ, Reulen HJ. Surgery and radiotherapy compared to radiosurgery in single brain metastases. *J Neurosurg* 1999; 91: 35–43.
- Schögl A, Kitz K, Reddy M, Wolfesberger S, Schneider B, Dieckmann K, Ungersboeck K. Defining the role of Radiosurgery. *Acta Neurochir* 2000; 142: 621–6.
- Flickinger JC, Kondziolka D, Lunsford LD, Coffey RJ, Goodman ML, Shaw EG, Hudgins WR, Weiner R, Harsh GR 4<sup>th</sup>, Sneed PK. A multi-institutional experience with stereotactic radiosurgery for solitary brain metastases. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1994; 28: 797–802.
- Sneed PK, Lamborn KR, Forstner JM, Mc Dermott MW, Chang S, Park E, Gutin PH, Phillips TL, Wara WM, Larson DA. Radiosurgery for brain metastases is whole brain radiotherapy necessary? *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1999; 43: 549–58.
- Walker MD, Strike TA, Sheline GE. An analysis of dose-effect relationship in the radiotherapy of malignant gliomas. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1979; 5: 1725–31.
- Shrieve DC, Alexander E 3<sup>rd</sup>, Black PMcL, Wen PY, Fine HA, Kooy HM, Loeffler JS. Treatment of patients with primary glioblastoma multiforme with standard postoperative radiotherapy and radiosurgical boost: prognostic factors and long term outcome. *J Neurosurg* 1999; 90: 72–7.
- Kondziolka D, Flickinger JC, Bissonette DJ, Bozik M, Lunsford LD. Survival benefit of stereotactic radiosurgery for patients with malignant glial neoplasms. *Neurosurgery* 1997; 41: 776–85.
- Shrieve DC, Alexander E III, Wen PY, Fine HA, Kooy HM, Black PMcL, Loeffler JS. Comparison of stereotactic radiosurgery and brachytherapy in the treatment of recurrent glioblastoma multiforme. *Neurosurgery* 1995; 36: 275–84.
- Mathiesen T, Lindquist C, Kihlström L, Karlsson B. Recurrence of cranial base meningiomas. *Neurosurgery* 1996; 39: 2–9.
- Hakim R, Alexander E 3<sup>rd</sup>, Loeffler JS, Shrieve DC, Wen P, Fallon MP, Stieg PE, Black PMcL. Results of linear accelerator-based radiosurgery for intracranial meningiomas. *Neurosurgery* 1998; 42: 446–54.
- Chang S, Adler JR Jr. Treatment of cranial base meningiomas with linear accelerator radiosurgery. *Neurosurgery* 1997; 41: 1019–27.
- Leber KA, Berglöff J, Pendl G. Dose-response tolerance of the visual pathways and cranial nerves of the cavernous sinus to stereotactic radiosurgery. *J Neurosurg* 1998; 88: 43–50.
- Mendenhall WM, Friedman WA, Buatti FJ, Bova FJ. Preliminary results of linear accelerator radiosurgery for acoustic schwannomas. *J Neurosurg* 1996; 85: 1013–9.
- Kondziolka D, Lunsford LD, Mc Laughlin MR, Flickinger JC. Long-term outcomes after radiosurgery for acoustic neuromas. *N Engl J Med* 1998; 339: 1426–33.
- Prasad D, Steiner M, Steiner L. Gamma surgery for vestibular schwannoma. *J Neurosurg* 2000; 92: 745–59.
- Poen JC, Golby AJ, Forster KM, Martin DP, Chinn DM, Hancock SL, Adler RA Jr. Fractionated stereotactic radiosurgery and preservation of hearing in patients with vestibular schwannoma: A preliminary report. *Neurosurgery* 1999; 45: 1299–307.
- Williams JA. Fractionated stereotactic radiotherapy for acoustic neuroma. *Acta Neurochir* 2002; 144: 1249–54.
- Levy RP, Fabrikant JI, Frankel KA, Phillips MH, Lyman JT, Lawrence JH, Tobias CA. Heavy charged particle radiosurgery of the pituitary gland: clinical results of 840 patients. *Stereotact Funct Neurosurg* 1991; 57: 22–35.
- Rush S, Cooper PR. Symptom resolution, tumor control, and side effects following postoperative radiotherapy for pituitary macroadenomas. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1997; 1031–4.
- Tsang RW, Brieley JD, Panzarella T, Gospodarowicz MK, Sutcliffe SB, Simpson WJ. Radiation therapy for pituitary adenoma: treatment outcome and prognostic factors. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1994; 30: 557–65.
- Voges J, Sturm V, Deuss U, Traud C, Treuer H, Schlegel W, Winkelmann W, Mueller RP. LINAC radiosurgery (LINAC-RS) in pituitary adenomas: preliminary results. *Acta Neurochir Suppl* 1996; 65: 41–3.
- Mitsumori M, Shrieve DC, Alexander E III, Kaiser UB, Richardson GE, Black PMcL, Loeffler JS. Initial clinical results of LINAC based stereotactic radiosurgery and stereotactic radiotherapy for pituitary adenomas. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1998; 42: 573–80.
- Feigl GC, Bonelli CM, Berghold A, Mokry M. Effects of gamma knife radiosurgery of pituitary adenomas on pituitary function. *J Neurosurg Suppl* 2002; 97: 415–21.
- Kobayashi T, Kida Y, Mori Y. Gamma knife radiosurgery in the treatment of Cushing disease: long term results. *J Neurosurg* 2002; 97 (Suppl 5): 422–8.
- Wilkins RH. Natural history of intracranial vascular malformations: a review. *Neurosurgery* 1995; 16: 421–30.
- 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: 512–24.
- Colombo F, Pozza F, Chierogo G, Casentini L, De Luca G, Francescon P. Linear accelerator radiosurgery of cerebral arteriovenous malformations: an update. *Neurosurgery* 1994; 34: 14–21.
- Friedman WA. Arteriovenous malformations: Radiosurgery versus surgery for arteriovenous malformations – a case for radiosurgery. *Clin Neurosurg* 1999; 45: 18–20.
- Karlsson B, Kihlström L, Lindquist C. Gamma knife radiosurgery for previously irradiated arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 1998; 42: 1–6.
- Maesawa S, Kondziolka D, Lunsford LD. Stereotactic radiosurgery for management of deep brain cavernous malformations. *Neurosurg Clin North Am* 1999; 10: 503–11.
- Kondziolka D, Lunsford LD, Flickinger JC. Reduction of hemorrhage risk after stereotactic radiosurgery for cavernous malformations. *J Neurosurg* 1995; 83: 825–31.
- Chang SD, Levy RP, Adler JR Jr. Stereotactic radiosurgery for angiographically occult vascular malformations: 14 year experience. *Neurosurgery* 1998; 43: 213–21.
- De Salles AAF, Buxton W, Solberg T. Functional disorders: Linear accelerator radiosurgery for trigeminal neuralgia. In: Kondziolka D (ed). *Radiosurgery. Vol 2*. Karger, Basel, 1998; 173–82.

# 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](#)