

V. Ghilescu

Institut für Radioonkologie und Strahlentherapie, Klinikum Heidenheim, Heidenheim, Deutschland

Strahlentherapie bei Hirntumoren

Einleitung

Hirntumoren brauchen eine Strahlentherapie, wenn sie mit einer Operation nicht ausreichend effektiv behandelt werden können.

Unter der Diagnose *Hirntumor* werden weit über 100 verschiedene Arten von benignen oder malignen primären oder sekundären Hirntumoren zusammengefasst. Letztere haben ihren Ursprung außerhalb des Gehirns und sind Metastasen eines Karzinoms oder Manifestationen eines malignen Lymphoms, das auch ausschließlich zerebral auftreten kann [1].

Maligne Hirntumoren können in jedem Lebensalter auftreten. Bei Erwachsenen sind 2/3 dieser Tumoren Astrozytome Grad 3–4 und Glioblastome, bei Kindern überwiegen embryonale Tumoren.

Jährlich erkranken in Deutschland ca. 7400 erwachsene Menschen an malignen Hirntumoren. Die 5-Jahres-Überlebenschance liegt bei knapp über 20%. Gutartige Hirntumoren, von denen 2/3 Meningeome sind, treten bei ca. 7000 Patienten pro Jahr auf.

Technische und biologische Grundlagen der Strahlentherapie

Die Strahlentherapie der Hirntumoren erfolgt üblicherweise mit Photonen, die mit Hilfe von Linearbeschleunigern (**Abb. 1**) erzeugt werden. Photonen sind hochenergetische elektromagnetische Wellen, die nahezu ungehindert Materie durchwandern können. Ihnen gegenüber stehen korpuskulare Strahlenarten, die aus Atomteilchen, z. B. Protonen, bestehen. Alle Strahlenarten haben die Fähigkeit durchstrahlte Materie zu ionisieren (**Abb. 2**) und dadurch biochemische und letztendlich biologische Reaktionen in Gang zu setzen.

Alle moderne Strahlentherapiegeräte, ob Linearbeschleuniger, Cyberknife, Gammaknife, Zap-X usw., ermöglichen eine punktgenaue Bestrahlung kleinster Zielvolumina. Die genaue Lokalisation des Patienten und die Positionierung des Strahls werden gewährleistet mit Hilfe von Röntgenaufnahmen und „cone beam“ CT, optischen Oberflächenüberwachungssystemen, die atem- oder bewegungsabhängig mit der Bestrahlungseinheit synchronisiert sind. Für die Bestrahlung raum-einnehmender Tumoren bieten für Radiochirurgie geeignete Geräte gegenüber dem Linearbeschleuniger keinen Vorteil [2].

Die biologische Wirkung der unterschiedlichen Strahlenarten beruht einerseits auf direkter Strahlenwirkung am Biomolekül und an der DNA, der letztendlich der strahleninduzierte Zelltod folgt.

Im Unterschied zu malignen Zellen besitzen gesunde Zellen die Fähigkeit, DNA-Schäden zu reparieren. Geschieht die Reparatur unvollständig, können Folgeschäden auftreten.

Die biologische Wirkung der Strahlung ist abhängig von der Strahlenqualität, dem bestrahlten Gewebetyp, der Dosis, mit der die Bestrahlung erfolgt und deren Fraktionierung, dem Zellzyklus, der Oxygenierung und Temperatur des bestrahlten Gewebes sowie der genetischen Ausstattung an DNA-Reparatursystemen.

Eine Bestrahlung mit einer sehr hohen Einzeldosis hat eine höhere zellabtötende Wirkung als dieselbe Dosis verteilt auf mehrere Fraktionen. Eine konventionelle Fraktionierung erfolgt 5-mal pro Woche mit einer Dosis von 1,8–2,0 Gy bis zu einer Gesamtdosis von 40–60 Gy. Wird die Bestrahlung mit hohen Einzeldosen durchgeführt, müssen Gesamtdosis und Anzahl der Fraktionen reduziert werden (Hypofraktionierung). Daraus ergibt sich eine verkürzte Behandlungszeit. Bestrahlungen mit hohen Einzeldosen überfordern die Reparationsfähigkeit gesunder Zellen und führen auch hier zu einer Gewebsnekrose.

Nebenwirkungen und Spätfolgen der Strahlentherapie

Strahlentherapiebedingte Reaktionen des Gewebes können während und wenige Wochen oder Monate und Jahre nach Ende der Behandlung auftreten. Grundlage für die späten Reaktionen sind eine Schädigung der Kapillargefäße und eine Demyelinisierung der Nervenzellen [4].

Bestrahlungen des Hirns führen zur Störung der Blut-Hirn-Schranke und zu einer lokalen Entzündungsreaktion. Die Entstehung eines Hirnödems darf nicht als Zeichen für eine Progredienz der Erkrankung unter Therapie gewertet werden und zum Abbruch der Therapie führen, vielmehr sollte es entsprechend behandelt werden.

Paukenerguss und Konjunktivitis können auftreten, wenn das Mittelohr, die Eustachi-Röhre oder das Auge im Hochdosisbereich liegen. Symptomatische Behandlungen sind hier meistens ausreichend.

Wundheilungsstörungen, Abszesse und massive intrazerebrale Blutungen können auftreten, wenn die Strahlentherapie zu früh nach einer Operation begonnen wird. Deshalb sollte sie frühestens 2–3 Wochen nach der Operation begonnen werden [5].

Das Ausmaß der Spätfolgen nach Strahlentherapie ist abhängig von der Größe des bestrahlten Volumens, der Art der Strahlung, der Einzel- und Gesamtdosis, der simultanen Medikation (z. B. Chemo- und Immuntherapie), vorausgegangenen Behandlungen (OP, Chemotherapien), Alter (<5 und >60 J.), genetischer Prädisposition und der Lebensdauer des Patienten [6].

Redaktion

O. Kastrup, Essen

U. Schara-Schmidt, Essen

M. Schnieder, Göttingen

DGNeurologie

<https://doi.org/10.1007/s42451-025-00816-x>

Angenommen: 2. September 2025

© Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature 2025



Abb. 1 Linearbeschleuniger neuester Generation mit angeschlossenem „cone beam“ Computertomographie (CT)

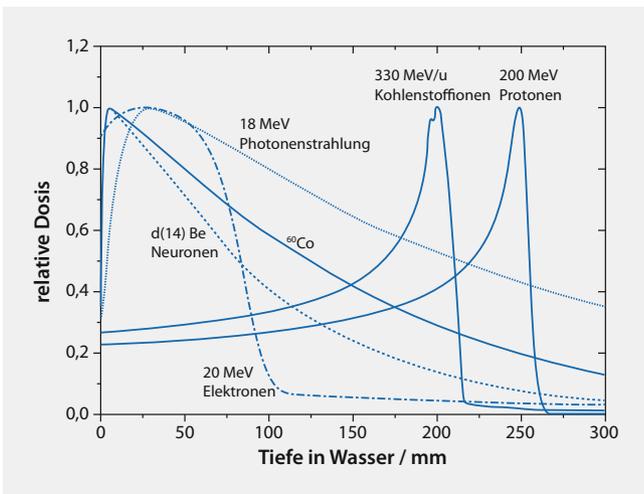


Abb. 2 Tiefendosiskurven unterschiedlicher ionisierender Strahlentypen. Adaptiert nach [3]

Spätfolgen sind irreversibel. Die Geschwindigkeit, mit der sie fortschreiten, ist nicht voraussehbar, sie können auf jeder Stufe ihrer Ausprägung stehenbleiben. Die Grundlage für Spätfolgen der Strahlentherapie im ZNS ist die Radionekrose, bedingt durch Verdickung der Kapillaren, Gliose des Hirns, Demyelinisierung und der daraus folgenden Verschlechterung der kognitiven Fähigkeiten ([7, 8]; Tab. 1).

Merke: Hirnnekrose: Eine Hirnnekrose entwickelt sich 1–3 Jahre nach der Strahlentherapie. Ein begleitendes Hirnödem kann Pseudoprogression vortäuschen. Die Therapie adressiert in erster Linie das Ödem. Eine Operation ist sinnvoll, wenn eine Tumorprogredienz gesichert werden soll.

Strahlentherapie einzelner Hirntumorarten

Bei der Bestrahlung von Hirntumoren wird die in der MRT sichtbare Raumforderung mit einer homogenen Dosis abgedeckt und das benachbarte Gewebe möglichst gut geschont. Gängige Techniken sind die intensitätsmodulierte Bestrahlung (IMRT) oder die volumetrische Rotationsbestrahlung (VMAT).

Tab. 1 Spätfolgen der Bestrahlung des Hirns/Radionekrose. (Nach [9–11])

Kavernome, Aneurysmata, Ischämien, Blutungen
Hirnatrophie
Neurokognitive Verschlechterung (<i>Gedächtnisverlust, Demenz, Verhaltensstörungen</i>)
Schlaganfälle
Psychomotorische Verlangsamung
Gangataxie
Inkontinenz
SMART-Syndrom („ <i>stroke-like migraine attacks after radiation therapy</i> “)
Katarakt
N.-opticus-Läsion
Trockenes Auge
Retinopathie
Tinnitus, Hörverlust
Endokrinopathie
Sekundärneoplasien (<i>Meningeome, mal. Gliome, Sarkome</i>)

Die Dosierung der Bestrahlung wird den Toleranzdosen des umgebenden gesunden Gewebes und der unterschiedlichen Strahlenempfindlichkeit der Tumorzellen angepasst.

Die Bestrahlung am Hirn sollte immer unter Stereotaxiekriterien erfolgen. Dabei liegt die Einstellgenauigkeit des applizierten Strahls im Millimeterbereich. Ob eine Hypofraktionierung eingesetzt wird, hängt von der Größe des Tumors und der Strahlenempfindlichkeit benachbarten Organen ab. Tumoren, die größer als 4 cm sind oder an große Blutgefäße angrenzen, sollen nicht stark hypofraktioniert bestrahlt werden. Bei Bestrahlungen mit hohen Einzeldosen und bei Einzeitbestrahlungen wird bewusst hingenommen, dass das gesamte bestrahlte Gewebe nekrotisch wird.

Astrozytäre und oligodendrogliale Gliome WHO-Grad 1–2

Die Rolle der Strahlentherapie und der richtige Zeitpunkt, wann Strahlentherapie in der Behandlung niedriggradiger Gliome eingesetzt werden soll, sind nicht klar definiert. Die Strahlentherapie kann neurologische Symptome und die Häufigkeit von epileptischen Anfällen reduzieren sowie die progressionsfreie Zeit verlängern, sie hat keinen Einfluss auf die Gesamtüberlebenszeit.

Gliome WHO-Grad 2 werden mit Dosen von 45–54 Gy in Fraktionen à 2 Gy bestrahlt, während Gliome WHO-Grad 3 mit 60 Gy bestrahlt werden [12].

Astrozytome Grad 3 und 4 und Glioblastom

Undifferenzierte Astrozytome WHO-Grad 3 und 4 und Glioblastome machen mehr als 75 % aller ZNS-Tumoren aus. Deren Prognose hat sich in den letzten 30 Jahren trotz intensiver therapeutischer Bemühungen kaum geändert. Die Ergebnisse der Stupp-Studie zeigten eine geringe Verbesserung der Überlebensrate für die Patienten, die eine kombinierte Chemo-/Radiotherapie mit Temozolomid erhielten, wobei in dieser Studie die Methylierung des *MGMT*-Promoters als stärkster Prä-

diktator für die Chance auf eine längere Überlebenszeit herausgearbeitet wurde [13].

Patienten in gutem Allgemeinzustand erhalten eine Bestrahlung mit 5-mal 2 Gy pro Woche bis 60 Gy. Das bestrahlte Gebiet umfasst die in der T2-gewichteten MRT sichtbaren Veränderungen mit einem Sicherheitssaum von 1–2 cm. Parallel wird begleitend mit Temozolomid 75 mg/m² 7/7 Tage behandelt. Betagte Patienten und solche in schlechtem Allgemeinzustand werden hypofraktioniert bestrahlt. Dabei werden die Einzeldosis erhöht, die Gesamtdosis gesenkt und die Behandlungszeit reduziert [14].

Rebestrahlungen von Rezidiven bzw. progredienten Tumoren an bereits bestrahlten Hirnarealen sind mit einem hohen Risiko für radiogene Hirnnekrosen behaftet. Sie bleiben Patienten in gutem Allgemeinzustand, deren letzte Bestrahlung länger als 6 Monate zurückliegt und deren zu bestrahlende Tumorregion jenseits strahlenempfindlicher Hirnareale liegt, vorbehalten [15].

Ependymome

Für die Therapieplanung sind die Prognosefaktoren der Ependymome (Tab. 2) von größter Wichtigkeit.

Ependymome WHO-Grad 1 werden bei Inoperabilität primär bestrahlt. Nicht metastasierte intrakranielle Ependymome WHO-Grade 2 und 3 werden nach der Operation lokal bestrahlt. Die Überlebensrate dieser Patienten ist abhängig von der applizierten Dosis. Die lokale Bestrahlung erfolgt konventionell fraktioniert mit 54–60 Gy [16].

Ependymome WHO-Grade 2 und 3 oder RELA-Fusionen-positiv WHO-Grade 2 und 3 bedürfen wegen des hohen Rezidiv- und Metastasierungsrisikos nach vollständiger Resektion einer Nachbehandlung zunächst mit Chemotherapie, nicht zuletzt, um den Beginn der Strahlentherapie des noch unreifen Hirns hinauszuzögern. Die Bestrahlung des gesamten Liquorraums erfolgt nur in besonderen Fällen [17].

Keimzelltumoren

Zwanzig Prozent der Keimzelltumoren im ZNS manifestieren sich vor dem 15. Lebensjahr. Ihre Prognose ist mit 90 % ereignisfreiem Überleben sehr gut.

Zu den Keimzelltumoren gehören: Chorionkarzinome, embryonale Karzinome, Dottersacktumoren, Germinome und nichtgerminomatöse Tumoren, zu denen reife und unreife Teratome sowie gemischte Keimzelltumoren gehören. Germinome sind strahlensensibel, nichtgerminomatöse Tumoren werden kombiniert mit Chemo-/Strahlentherapie behandelt.

Teratome sind eher chemo- und strahlentherapieresistent und werden operiert. Bei Teratomen wird in Einzelfällen über eine positive Wirkung der Strahlentherapie berichtet, etabliert ist sie bei dieser Entität jedoch nicht. Die Strahlentherapie soll erst bei Kindern über 3 Jahren eingesetzt werden, wenn eine OP nicht möglich ist. Eine Chemotherapie wird eingesetzt, um die Strahlendosis zu reduzieren.

Mit 50–60 % sind die Germinome die häufigsten Keimzelltumoren des ZNS. Pathognomonisch sind synchron auftretende Tumoren suprasellär und in der Pinealisregion. Mit einer Bestrahlung der neurospinalen Achse mit 24 Gy und der primären Tumorregion mit 16 Gy werden mehr als 90 % der Patienten geheilt [18].

Eine alleinige Chemotherapie ist für die Behandlung der Germinome nicht ausreichend, sie sollte deshalb mit einer Bestrahlung des Ventrikelsystems kombiniert werden.

Disseminierte Germinome werden mit einer Bestrahlung kraniospinal, gefolgt von einem Dosisboost auf makroskopische Manifestationen behandelt.

Nichtgerminomatöse Keimzelltumoren werden mit einer cis-Platin-basierten Chemotherapie behandelt, gefolgt von einer verzögerten Tumorresektion und einer hochdosierten Bestrahlung des Tumorbetts mit 54 Gy bzw. einer kraniospinalen Bestrahlung mit 30 Gy und einer Boostdosis von 24 Gy auf Manifestationen einer Metastasierung. Damit erreichen 70 % der Patienten eine anhaltende Remission.

Grundsätzlich sollte die Behandlung von Kindern mit ZNS-Malignomen in spezialisierten Kliniken erfolgen, um eine differenzierte und gut fundierte Entscheidung für die opportune Form der Therapie, seien es Operation, Chemotherapie oder unterschiedliche Strahlentherapien, zu treffen [19].

Intrazerebrale Lymphome

Primäre zerebrale Lymphome sind am häufigsten B-Zell-Lymphome, die insbesondere bei älteren Patienten mit einer schlechten Prognose, einhergehen [20].

Die Strahlentherapie erfolgt als Ganzhirnbestrahlung mit 45 Gy bei Einzeldosen von 1,8 Gy und einer Boostbestrahlung der primären Lymphomregion, falls nach der Hochdosis-MTX-Therapie Resttumoren im MRT sichtbar sind. Bestrahlte haben im Vergleich zu nichtbestrahlten Patienten eine längere mediane progressionsfreie Überlebenszeit (18 vs. 12 Monate), deren mediane Gesamtüberlebenszeit ist allerdings wegen der Neurotoxizität der kombinierten Behandlung kürzer als die der nur chemotherapierten Patienten [21].

Eine besonders schlechte Prognose haben HIV-positive Patienten mit zerebralen Lymphomen (OS 2–4 Monate), wobei hier die Chemotherapie eine länger dauernde Remission als die antiretrovirale Therapie kombiniert mit Ganzhirnbestrahlung erzielt [22].

Hirnmetastasen

Die Entscheidung für die Behandlung von Hirnmetastasen wird getroffen abhängig von Anzahl der Metastasen, deren Größe, dem Allgemeinzustand des Patienten, Vorbehandlungen und vom Gesamtverlauf der Tumorerkrankung.

Aktuell wird wegen der geringeren Neurotoxizität empfohlen, bei begrenzter Anzahl von Hirnmetastasen eine stereotaktisch geführte, hypofraktionierte Bestrahlung einzelner Me-

Tab. 2 Prognosefaktoren der Ependymome

Ependymomprognosefaktoren	
Art des Ependymoms	– Subependymom WHO-Grad 1
	– Myxopapillar WHO-Grad 1
	– WHO-Grad 1
	– RELA-Fusion-positiv WHO-Grade 2 oder 3
	– Anaplastisches Ependymom WHO-Grad 3
Metastasennachweis	
Molekulargenetische Charakteristika	
Operabilität	

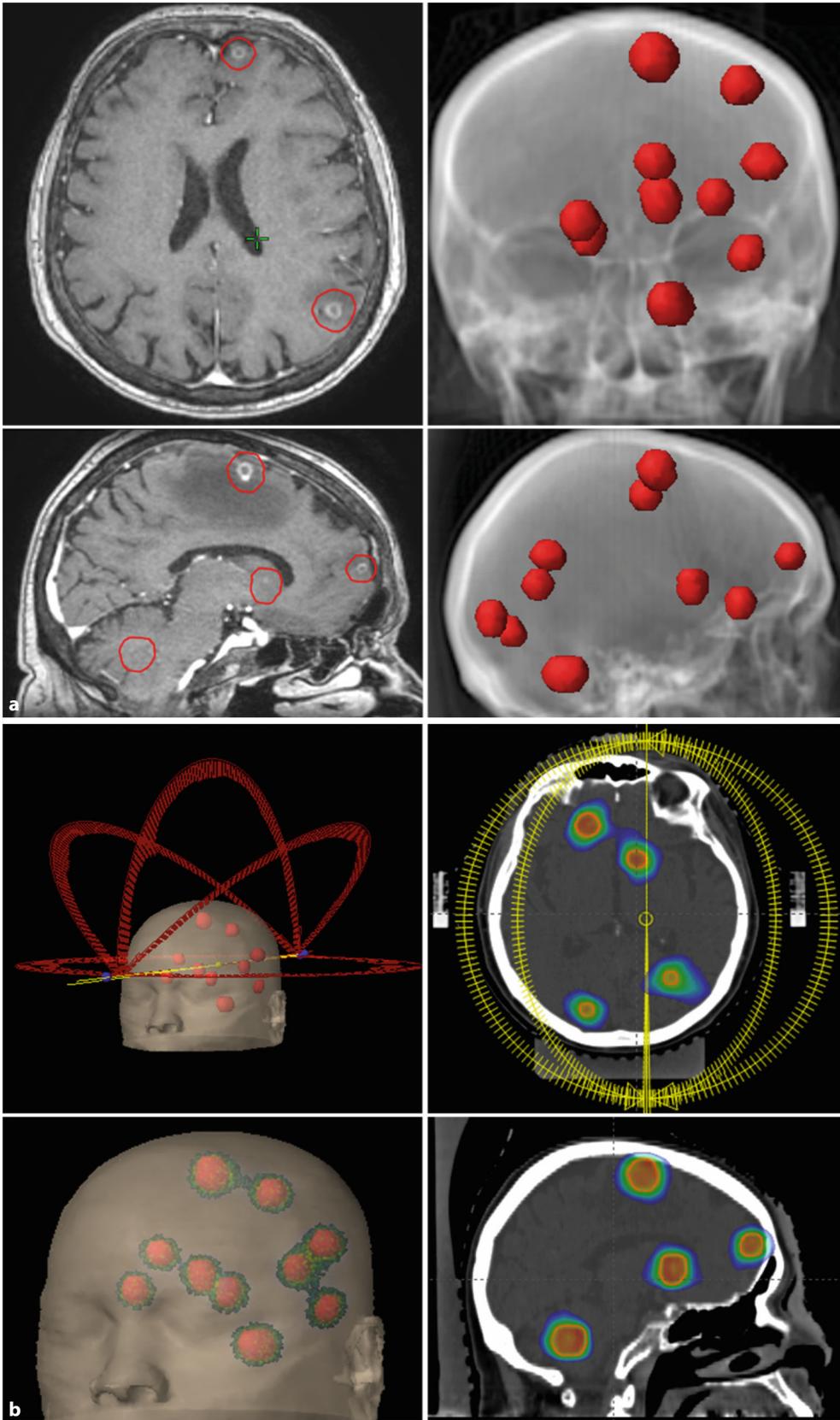


Abb. 3 a Im MRT und CT-Topogramm rot markierte Zielvolumina für die Bestrahlung (li. Bild) und 3D-Rekonstruktion der einzelnen Zielvolumina im CT (re. Bild), b Darstellung der bogenförmigen Bahnen, entlang derer der Linearbeschleuniger um den Kopf fährt und mit unterschiedlicher Intensität bestrahlt (IMRT o. HyperArc), 3D-CT-Rekonstruktion mit Darstellung der Metastasen und der Dosiswolken um die Metastasen (li.), Farbkodierung der Dosisverteilung: blau 10%, orange 95 % der verschriebenen Dosis. (Bildquelle Dr. med. Voica Ghilescu, Heidenheim)

tastasen durchzuführen. Die Ganzhirnbestrahlung sollte erst bei einer hohen Zahl intrakranialer Metastasen, oder wenn die stereotaktische Bestrahlung nicht mehr sinnvoll ist, eingesetzt werden. Die stereotaktische, hypofraktionierte Bestrahlung verursacht im Vergleich zur Einzeitradiochirurgie seltener Hirnnekrosen.

Wenn die Anzahl ($n < 10$) und Größe (> 4 cm) eine Ganzhirnbestrahlung erforderlich machen, sollten bei fehlenden Kontraindikationen, z. B. Meningeosis carcinomatosa, die Hippocampusregion geschont werden und zur Reduktion des Risikos für die Entwicklung neurokognitiver Einschränkungen eine Begleitbehandlung mit Memantin erfolgen ([23, 24]; Abb. 3a, b).

Die stereotaktisch geführte Bestrahlung einzelner Metastasen hat im Vergleich zur Ganzhirnbestrahlung keinen Einfluss auf die Überlebenszeit und führt seltener zu neurokognitiven Ausfällen. Aufgrund der langen Überlebenszeiten der Patienten mit metastasierten Erkrankungen nimmt die Zahl der Patienten zu, die eine stereotaktisch geführte, hypofraktionierte oder gar radiochirurgische Metastasenbehandlung um viele Monate, gar Jahre überleben und die Zahl derer, bei denen MRT-Befunde eine sichere Unterscheidung zwischen progredienten Metastasen oder progredienter radiogener Hirnnekrose nicht möglich machen. Spezielle MRT-Verfahren oder nuklearmedizinische Untersuchungen, mit deren Hilfe dies möglich wäre, können aufgrund ihrer geringen Verfügbarkeit nicht als Standarddiagnostikverfahren bezeichnet werden. Invasive Maßnahmen sollten grundsätzlich die Gesamtsituation und die Prognose der malignen Erkrankung berücksichtigen [25].

Gutartige Tumoren

Hypophysenadenome

Verbesserte OP-Techniken und neue Medikamente verdrängen die Strahlentherapie aus der Behandlung von Hypophysenadenomen. Sie ist bei inoperablen, nicht ausreichend resezierten und medikamentös nicht beeinflussbaren Adenomen weiterhin indiziert. Radiochirurgische Verfahren führen schnell zur Reduktion der pathologischen Sekretion [26].

Meningeome

Mehr als 1/3 aller ZNS-Tumoren sind Meningeome.

Obwohl randomisierte Studien, in denen die Ergebnisse der Operation mit denen anderer Behandlungsformen verglichen werden, fehlen, ist die Resektabilität eines Meningeoms ein allseits anerkanntes prognostisches Kriterium für Meningeome.

Inoperable, marginal resezierte Meningeome mit hoher Wachstumstendenz, Rezidive nach inkompletter Resektion und WHO-Grad 3-Meningeome profitieren von lokaler Bestrahlung, wobei die Technik, mit der die Bestrahlung erfolgt, keine Wirkung auf die Ergebnisse und auf die Nebenwirkungen der Therapie hat [27, 28].

Neurinome und Akustikusneurinome

Neurinome sind an der Schädelbasis lokalisierte gutartige Tumoren. Sie werden behandelt, wenn sie wachsen oder symptomatisch sind. Die Wahl der jeweiligen Behandlung richtet sich nach der individuellen Präferenz des Patienten. Die Behandlungsergebnisse sind bei allen eingesetzten Thera-

pieformen (Operation, konventionelle oder radiochirurgische Bestrahlung) gleich [29].

Kraniopharyngeome

Die Behandlung der Kraniopharyngeome erfolgt meist interdisziplinär. Die Strahlentherapie wird postoperativ oder bei inoperablen Patienten eingesetzt.

Alle Arten der Strahlentherapie, konventionell fraktioniert, stereotaktisch geführte, radiochirurgische Therapie mit Photonen oder mit Protonen, führen zu gleich guten Ergebnissen bei gleichem Nebenwirkungsprofil [30].

Zusammenfassung

Strahlentherapie ist Teil interdisziplinärer Therapiekonzepte in der Behandlung zahlreicher Hirntumoren von Patienten aller Altersklassen. Sie wird sicher angewandt. Ihr Nutzen ist wissenschaftlich fundiert und durch den zunehmenden Einsatz systemischer, immunwirksamer Therapien nicht vermindert.

Literatur

- Louis DN, Perry A, Wesseling P, Brat DJ et al (2021) The 2021 WHO classification of tumors of the central nervous system: a summary. *Neuro-Oncol* 23(8):1231–1251. <https://doi.org/10.1093/neuonc/noab106>
- Suzuki T, Saito M, Nomura R et al (2025) Stereotactic radiotherapy for metastatic brain tumors: A comparative analysis of dose distributions among VMAT, helical tomotherapy, CyberKnife, Gamma Knife, and Zap-X. *J Appl Clin Med Phys* 26:e70046. <https://doi.org/10.1002/acm2.70046>
- Gerlach R (2005) Mikrosimetrisches Modell der relativen biologischen Wirksamkeit in der Schwerionentherapie. Ludwig-Maximilians-Universität, München (Dissertation)
- Belka C, Budach W, Kortmann RD, Bamberg M (2001) Radiation induced CNS toxicity—molecular and cellular mechanism. *Br J Cancer* 85:1233
- Kirkpatrick JP, Milno MT, Grimm J et al (2019) Chapter 14: Late Effects and QUANTEC. In: *Principles and Practice of Radiation Oncology Perez and Brady's*, 7. Aufl., S 329–370
- Kim PH, Suh CH, Kim HS et al (2021) Immune checkpoint inhibitor therapy may increase the incidence of treatment-related necrosis after stereotactic radiosurgery for brain metastases: a systematic review and meta-analysis. *Eur Radiol* 31:4114
- Ruben JD, Dally M, Bailey M et al (2006) Cerebral radiation necrosis: incidence, outcomes, and risk factors with emphasis on radiation parameters and chemotherapy. *IJROBP* 65:499
- Suh JH (2010) Stereotactic radiosurgery for the management of brain metastases. *N Engl J Med* 362:1119
- Roongpiboonsopit D, Kujif HJ, Charidimou A et al (2017) Evaluation of cerebral microbleeds after cranial irradiation in medulloblastoma patients. *Neurology* 88:789
- Acharya S, DeWees T, Shinohara ET et al (2015) Long-term outcomes and late effects for childhood and young adulthood intracranial germinomas. *Neuro Oncol* 17(5):741–746. <https://doi.org/10.1093/neuonc/nou311>
- Winter SF, Klein JP, Vaiao EJ et al (2021) Clinical presentation and management of SMART syndrome. *Neurology* 97:118
- van den Bent MJ, Afra D, de Witte O et al (2005) Long-term efficacy of early versus delayed radiotherapy for low-grade astrocytoma and oligodendroglioma in adults: the EORTC 22845 randomised trial. *Lancet* 366(9490):985–990. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)67070-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)67070-5)
- Stupp R, Heghi ME, Mason WP et al (2009) Effects of radiotherapy with concomitant and adjuvant temozolomide versus radiotherapy alone on survival in glioblastoma

- in a randomised phase III study; 5-year analysis of the EORTC-NCIC trial. *Lancet Oncol* 10(5):459–466. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(09\)70025-7](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(09)70025-7)
14. Perry JR, Laperriere N, O'Callaghan CJ et al (2017) Short-Course radiation plus Temozolomide in elderly patients with glioblastoma. *N Engl J Med* 376(11):1027–1037. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1611977>
 15. De Pietro R, Zaccaro L, Marampon F, Tini P, De Felice F, Minniti G (2023) The evolving role of reirradiation in the management of recurrent brain tumors. *J Neurooncol* 164:271–286. <https://doi.org/10.1007/s11060-023-04407-2>
 16. Merchant ET, Mulhern RK, Krasin MJ et al (2004) Preliminary results from a phase II trial of conformal radiation therapy and evaluation of radiation-related CNS effects for pediatric patients with localized ependymoma. *JCO* 22(15):3156–3162. <https://doi.org/10.1200/JCO.2004.11.142>
 17. AWMF. Gesellschaft für Pädiatrische Onkologie und Hämatologie (GPOH) Ependymome im Kindes- und Jugendalter, S1-Leitlinie 025/025 04/2018. <https://register.awmf.org.de/leitlinien/detail/025-025>
 18. Calaminus G, Kortmann R, Worch J et al (2013) SIOP CNS GCT 96: Final report of outcome of a prospective, multinational nonrandomized trial for children and adults with intracranial germinoma, comparing craniospinal irradiation alone with chemotherapy followed by focal primary site irradiation for patients with localized disease. *Neuro Oncol* 15(6):788–796. <https://doi.org/10.1093/neuonc/not019>
 19. Calaminus G, Heimbrod M, Bison B, Czech T Keimzelltumoren des Zentralnervensystems (ZNS) AWMF-online-Register-Nr. 025/028, Klasse: S1; (GPOH) Stand 12/2021
 20. Grommes C (2017) DeAngelis: Primary CNS Lymphoma. *JCO* 35(21):2410–2418. <https://doi.org/10.1200/JCO.2017.72.7602>
 21. Thiel E, Korfel A, Martus P et al (2010) High-dose methotrexate with or without whole brain radiotherapy for primary CNS lymphoma (G-PCNSL-SG-1): a phase 3, randomised, non-inferiority trial. *Lancet Oncol* 11(11):1036–1047. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(10\)70229-1](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(10)70229-1)
 22. Brandsma D, Bromberg JEC (2018) Chapter 14—Primary CNS Lymphoma in HIV infection. *Handb Clin Neurol* 152:177–186. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63849-6.00014-1>
 23. Brown PD, Gondi V, Pugh S, Tome WA, Wefel JS et al (2020) Hippocampal avoidance during whole-brain radiotherapy plus memantine for patients with brain metastases: Phase III trial NRG Oncology CC001. *J Clin Oncol* 38(10):1019–1029
 24. Schiff D, Messersmith H, Brastianos PK et al (2022) Radiation Therapy for Brain Metastases: ASCO Guideline Endorsement of ASTRO Guideline. *J Clin Oncol* 40(20):2271–2276. <https://doi.org/10.1200/JCO.22.00333>
 25. Deutsche Gesellschaft für Radioonkologie e. V. (DEGRO) Stellungnahme zu N20-04: Stereotaktische Radiochirurgie zur Behandlung von Patientinnen und Patienten mit Hirnmetastasen (Oktober 2021). https://www.degro.org/wp-content/uploads/2021/10/20211019_N20-04-Stereotaktische-Radiochirurgie-zur-Behandlung-von-Patientinnen-und-Patienten-mit-Hirnmetastasen.pdf. Zugriffen: 30. Aug. 2023
 26. Minniti G, Osti MF, Niyazi M (2016) Target delineation and optimal radiosurgical dose for pituitary tumors. *Radiat Oncol* 11(135):1–14. <https://doi.org/10.1186/s13014-016-0710-y>
 27. Ostrom QT, Gittleman H, Fulop J et al (2015) CBTRUS Statistical Report: Primary brain and central nervous system tumors diagnosed in the United States in 2008–2012. *Neuro Oncol* 17:iv1–iv62. <https://doi.org/10.1093/neuonc/nov189>
 28. Goldbrunner R, Stavrinou P, Jenkinson MD et al (2021) EANO guideline on the diagnosis and management of meningiomas. *Neuro Oncol* 23(11):1821–1834. <https://doi.org/10.1093/neuonc/noab150>
 29. Deberge S, Meyer A, LePabic E et al (2018) Quality of life in the management of small vestibular schwannomas: Observation, radiotherapy and microsurgery. *Clin Otolaryngol* 43(6):1478–1486. <https://doi.org/10.1111/coa.13202>
 30. Piloni M, Gagliardi F, Bailo M et al (2023) Craniopharyngioma in Pediatrics and Adults. *Adv Exp Med Biol* 1405:299–329. https://doi.org/10.1007/978-3-031-23705-8_11

Korrespondenzadresse



Dr. med. V. Ghilescu
Institut für Radioonkologie und Strahlentherapie
Klinikum Heidenheim
Schloßhaustraße 100, 89522 Heidenheim, Deutschland
Voica.ghilescu@kliniken-heidenheim.de

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. V. Ghilescu gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von der Autorin keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.