

Die ablative Bestrahlung von Lebermetastasen

Einsatz bei Oligometastasen

Die stereotaktische ablative Bestrahlung von Lebermetastasen hat bei Patienten mit oligometastatischer Erkrankung in den letzten Jahren vor allem im Rahmen des höheren und länger andauernden Ansprechens auf heutige Systemtherapien an Bedeutung gewonnen. Dieser Artikel gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der SABRT (stereotactic ablative body radiotherapy), erforderliche technische und personelle Anforderungen und klinische Ergebnisse.

GABRIELA STUDER, CHRISTOPH GLANZMANN

SZO 2017; 4: 15–19.



Gabriela Studer



Christoph Glanzmann

Lokale Behandlungen mit kurativer Zieleinstellung werden zunehmend auch bei Tumoren mit Fernmetastasen zur Kontrolle einzelner oder weniger Herde eingesetzt (1–3). Heute wird das Therapiekonzept bei Oligometastasierung – welches ursprünglich von einer überschaubaren Metastasierung ausging – zunehmend ausgedehnt. In Situationen mit mehreren Metastasen sowie Metastasen in unterschiedlichen Organsystemen zeigt sich nach einer Systemtherapie oft eine Remission, und in nur wenigen Situationen besteht ein unzureichendes Ansprechen (4, 5). Für eine lokal radikale Therapie, wie sie die Strahlentherapie darstellt, spricht, dass heutige zielgerichtete Systemtherapien zu einer höheren Lebenserwartung führen können. Um die bestmögliche lokale Kontrolle erzielen zu können, sind dabei um ein Vielfaches erhöhte Einzeldosen notwendig als bei einer rein palliativ intendierten Bestrahlung (6).

Kurative Behandlung von Lebermetastasen

Die Leber ist häufiger Manifestationsort von Fernmetastasen verschiedener Primärtumoren. Kolorektale Karzinome sind dabei die häufigsten Primärtumoren; für diese Situation ist die lokale Therapie

am besten untersucht, das Konzept der Oligometastasierung am besten begründet und die Effektivität einer kurativen Behandlung bezüglich Tumorkontrolle und Gesamtüberleben mit guter Evidenz belegt.

Wenn immer möglich, wird eine primär chirurgische Metastasenresektion als lokale Standardbehandlung eingesetzt. Zusammen mit der Systemtherapie wird bei Lebermetastasen damit eine Überlebensrate von über 5 Jahren bei 50 bis 60% der Patienten beobachtet. 10-Jahres-Überlebensraten, die als Kriterium einer Heilung beurteilt werden, liegen vor. In einer Autopsiestatistik waren bis zu 40% der metastasierten Kolo- rektalkarzinome auf die Leber beschränkt (7–10).

Mit einer kurativen Resektion von Lebermetastasen können leider nur etwa 20 bis 30% dieser Patienten behandelt werden. Als alternative Methoden zur Kontrolle von Lebermetastasen stehen hauptsächlich thermale Ablationsmethoden wie Radiofrequenzablation (RFA), Mikrowellenevaporation (MWV) und die SABRT (stereotactic ablative body radiotherapy), ausserhalb von Fachkreisen oft auch als «stereotaktische» Bestrahlung bezeichnet, zur Verfügung.

Stereotactic Ablative Body Radiotherapy (SABRT)

Mit der Qualifikation «stereotaktisch» bezüglich einer Bestrahlung meint man (wenn auch hinsichtlich Herkunft nicht ganz korrekt) alltagssprachlich meist eine Bestrahlungsmethode mit tumorablativer Dosis in 1 bis maximal 6 (nach Tarmed) Sitzungen. Vor etwa 20 bis 30 Jahren wurde zur Fixation der Position des Patienten (damals in der Regel für Herde im ZNS) und zur Zieltechnik ein Rahmen in die Kalotte eingeschraubt. Auf diesem Rahmen war das Koordinatensystem zur Einstellung der Zieltechnik aufgebracht. Seinerzeit haben die Neurochirurgen für Punktionen eine vergleichbare Technik benutzt, von der wir un-

ABSTRACT

Stereotactic ablative body radiotherapy

Stereotactic ablative body radiotherapy (SABRT) for oligometastatic patients gained in importance over the past years as modern systemic therapies achieving more and longer lasting treatment response. We herewith like to give an overview about SABRT and its technical and personal requirements, and about clinical results.

Keywords: SABRT for liver metastases; SBRT for liver metastases, stereotactic radiotherapy of liver metastases

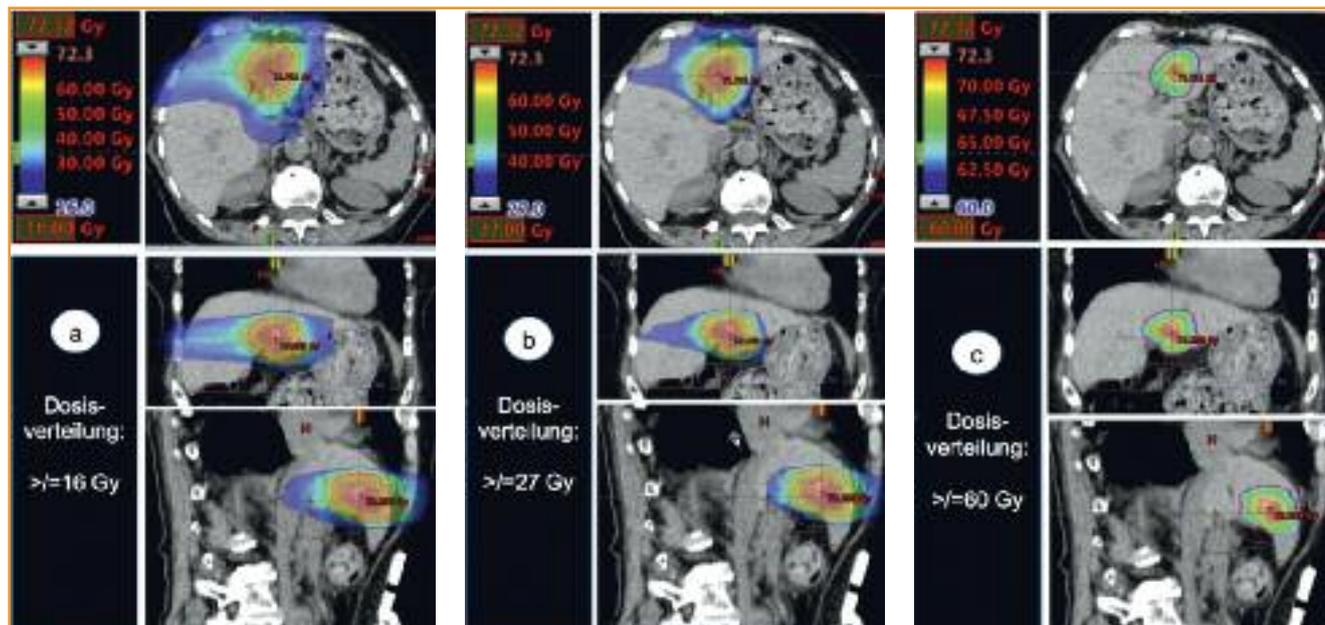


Abbildung 1: Dosisverteilung einer stereotaktischen Bestrahlung am Beispiel einer Patientin mit singularer Lebermetastase eines gastro-intestinalen Tumors: radiologisch lokale Tumorkontrolle; die Dosisexposition der umgebenden Normalgewebe (hier vor allem Dünndarm) liegt unter dem kritischen Bereich für die Normalstrukturen, bei sehr guter Dosisabdeckung des Zielvolumens (rot).

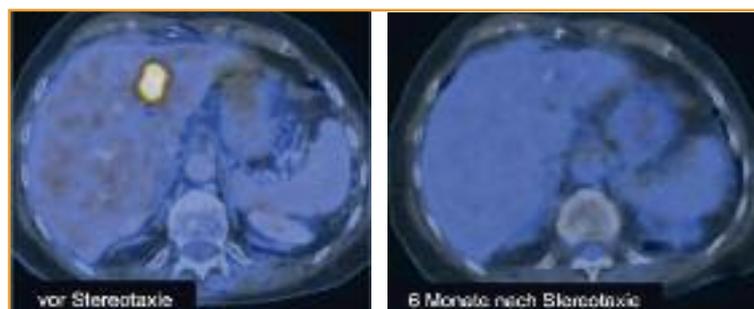


Abbildung 2: Befund vor und 6 Monate nach Stereotaxie

seren Begriff «stereotaktisch» aufgrund des aussen angebrachten Koordinatensystems übernommen haben. Der invasiv angebrachte Fixationsrahmen wurde längst verlassen; zur Zieltechnik dienen interne Orientierungspunkte (manchmal werden auch von aussen eingebrachte Metallmarker [fiducials] zur bildgesteuerten Zieltechnik eingesetzt, dies auch während einer Bestrahlung). Bei stärker fraktionierter Präzisionsbestrahlung sprechen wir auch oft von fraktionierter stereotaktischer Bestrahlung und meinen mit «stereotaktisch» hier die hohe Präzision der Zieltechnik.

Als Organ mit einem parallelen Aufbau können Anteile des Organs mit einer hohen Dosis belastet werden, solange ein funktionell genügender Anteil unterhalb der Toleranzdosis verbleibt. Im Falle einer Bestrahlung von Herden in der Leber beispielsweise sind bei Vorliegen einer normalen Leberfunktion etwa 700 g deutlich unter der Toleranzschwelle zu halten. Das Volumen respektive der Durchmesser eines oder auch mehrerer kurativ bestrahlbarer Herde hängt davon ab, wie steil die Dosis zum gesunden Nachbargewebe abfällt, sodass dort die Toleranzdo-

sen eingehalten werden können. Bei Lebermetastasen ist die Leberfunktion oft normal.

Bei kleinen Herden respektive je nach Nähe und je nachdem, wie steil die Dosis zum empfindlichen Nachbargewebe (z.B. Duodenum, Magen, evtl. auch Thoraxwand) abfällt, kann eine Dosis der ablativen Bestrahlung in einer kleinen Anzahl von Bestrahlungssitzungen (z.B. 3 Fraktionen) appliziert werden, während in anderen Situationen eine stärker fraktionierte Applikation kurativer Dosen besser vertragen wird, da mit dem Abfall der Dosis zur Nachbarschaft dort deutlich kleinere Einzeldosen ankommen als bei weniger Sitzungen mit höheren Einzeldosen. Im Allgemeinen nimmt die Toleranz des gesunden Gewebes mit kleineren Einzeldosen zu, sodass dort kumulativ eine höhere Dosis noch toleriert wird und im Herdvolumen immer noch eine ausreichend hohe Dosis mit genügend hohen Einzeldosen ankommt, die eine hohe lokale Progressionsfreiheit erzielt (Abbildungen 1 und 2).

Technische und personelle Anforderungen an eine SABRT der Leber

Mit den generell verfügbaren Photonenbestrahlungsmaschinen kann eine SABRT in der Leber mit einem Linearakzelerator oder mit einem Cyberknife® durchgeführt werden. Die Qualität der Dosisverteilung, das heisst eine ablativ, hohe Dosis innerhalb des Zielgebietes und ein steiler Dosisabfall mit Einhaltung der Toleranzwerte zum Nachbargewebe, ist bei beiden Maschinen vergleichbar.

Für eine ablativ Herdbestrahlung mit wenigen Fraktionen in der Leber sind, wie auch an anderen Lokalisationen, eine anspruchsvolle Technik und Erfahrung

erforderlich: Ein spezielles Problem ist die Beweglichkeit der Leber auch während einer Bestrahlungssitzung, hauptsächlich durch die Respiration, vor allem in kraniokaudaler Richtung. Durch eine gewisse Kompression des Abdomens mittels eines speziellen Gurtes kann die Atembewegung reduziert werden. Die *Abbildung 3* zeigt die abdominale Kompression zur Reduktion der atemabhängigen Verschieblichkeit der Leber (*Bild a*) sowie die axiale (*b*) und die koronare Darstellung der singulären Metastase (*c*) aus den *Abbildungen 1 und 2*.

Durch die 4D-Computertomografie wird die Anatomie mit den jeweiligen Grenzen des zu bestrahlenden Herdvolumens in den verschiedenen Atemphasen getrennt aufgezeichnet und damit der Tumorherd in allen Atemphasen erfasst. Zusätzlich kann sie durch die atemphasengetriggerte Bestrahlung auf bestimmte Atemphasen beschränkt werden. Bei den neuen Linearakzeleratoren kann auch durch die bildgesteuerte Nachführung der Zieleinstellung (tracking and gating) während einer Bestrahlung der Herd auch während einer Bewegung immer erfasst werden. Diese Technik macht für die Bildsteuerung in der Leber die Markierung des Zielvolumens mittels Metallmarkern (fiducials) erforderlich, die in der Regel mit Ultraschall- oder CT-gesteuerter Technik appliziert werden.

Die physikalischen Details der Bestrahlung (Bestrahlungsplan, Dosisverteilung) werden von einem erfahrenen Team von Physikern und Fachassistenten für Radiotherapie (im englischen Sprachraum treffender als «dosimetrists» bezeichnet) festgelegt und anschliessend von einem mit der SABRT erfahrenen Radioonkologen beurteilt. Die Durchführung der Bestrahlung obliegt ebenfalls erfahrenen Fachassistenten (im englischen Sprachraum: «radiotherapists»). Zusätzlich wird auch die Zielerfassung von einem Radioonkologen bei jeder Bestrahlung geprüft. Dabei wird unmittelbar vor jeder Bestrahlung die Zielerfassung am Bestrahlungsgerät mittels OBI (on-board imaging = Computertomografien, wie sie durch die heutigen Linearbeschleuniger durchführbar sind) überprüft. Die eigentliche Bestrahlung am Linearbeschleuniger dauert wenige Minuten (am Cyberknife etwa 30 bis > 60 Minuten).

Klinische Ergebnisse der SABRT von Lebermetastasen

Herdkontrollrate

Eine der ersten Publikationen zur SABRT bei Lebermetastasen (28) fand eine lokale Kontrollrate von 50%. In den ersten Jahren dieser Technik bis etwa 2006 wurden die Dosierung und Bestrahlungstechnik ausgebaut, ebenso die Bildgebung, bildgesteuerte atemgetriggerte Bestrahlung und das Nachführen der Zieleinstellung während einer Bestrahlungssitzung. Die Herdkontrollraten während dieser Phase lagen zwischen etwa 50 und 90% (siehe Tabelle 1 bei

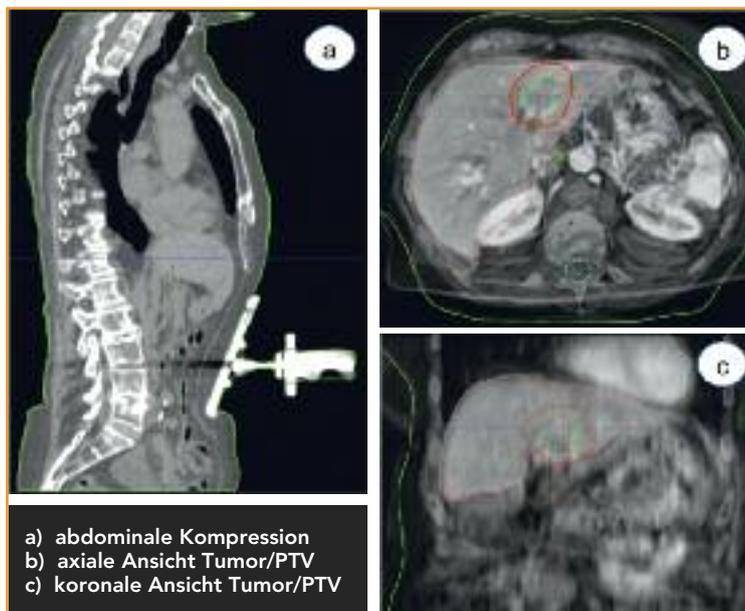


Abbildung 3: Darstellung der Kompression der Oberbauchorgane zur Reduktion der atemabhängigen Leberschieblichkeit:

a) abdominale Kompression zur Reduktion der atemabhängigen Verschieblichkeit der Leber; b) die axiale und c) die koronale Darstellung der singulären Metastase aus *Abbildung 1 und 2*.

Goodman/Kavanagh 2017 [7, 11–23]). Die Toxizität (ohne die nur temporär während der bis kurze Zeit nach der Bestrahlung auftretende Müdigkeit und Transaminasenerhöhung meist im Grad 1 oder 2) wird mit zwischen «no significant toxicity reported» und 3 von 45 bis 1 von 25 Patienten angegeben.

Mit heute üblicher Dosierung und Technik liegen die Kontrollraten nach Goodman/Kavanagh (7) bei 90% oder höher mit verringerter Toxizität. Die empfohlenen Dosen liegen zwischen 46 und 52 Gy in 3 Fraktionen oder in einer äquieffektiven Dosis in etwas stärkerer Fraktionierung (5–8 Fraktionen). Bei Lebermetastasen kolorektaler Karzinome soll man eher die höheren Dosen applizieren: Scorsetti und Kollegen (15) empfehlen 3 × 25 Gy und erreichen Kontrollraten nach 1, 2 und 3 Jahren von 95% (95%-KI: 89–100%), 91% (82–99%) und 85% (73–97%), sowie keine Spättoxizität von Grad 3. Zur Akuttoxizität gehören gehäuft Müdigkeit (G2), vorübergehender Transaminasenanstieg, gelegentlich Nausea (G2).

Die Gesamtüberlebensraten nach 2 Jahren liegen zwischen 32 und 81%, abhängig von strahlentherapie- respektive lokalbehandlungsunabhängigen Faktoren. Die meisten Patienten mit SABRT waren längere Zeit vorbehandelt.

Komplikationsrisiko

Zu vermeiden sind durch Einhaltung der Toleranzdosen respektive durch Erhaltung eines funktionstüchtigen Anteils der Leber von etwa 700 cc signifikante Störungen der Leberfunktion (Strahlenhepatitis bzw. radiation induced liver disease [RILD]). Diese können sich bis zum Lebersversagen ausdehnen, und zwar mit

Autor [ref]	N Pat.	N Metast.	GTV	Primär-Tumor	Gy / Fraktion	Prescription isodose line	LR (Mo.)	OS (Mo.)	Tox.
Horlath [12]	32	80	-	18 CRC	14.25/1 26/1	-	0% (24) 81% (24)	32% (24) 83% (24)	gering
Wulf [18]	38	51	-	-	28-30/3-4 36-37.5/3 oder 28/1	-	58% (24) 82% (24)	81% (24)	gering
Katz [17]	68	174	-	20 CRC	60/5*	-	57% (20)	37% (20)	gering
Rusthoven [18]	60	63	-	20 CRC	36-60/3	-	92% (24)	30% (24)	-
Lee [19]	68	-	-	-	27.7-50/5	-	71% (12)	47% (18)	gering
Van der Pool [19]	20	31	23 mm (7-62)	20 CRC	37.5/3 45/3	-	74% (24)	83% (24)	gering
Rule [20]	27	36	-	12 CRC	30/3 50/5 60/5	-	56% (24) 86% (24) 100% (24)	56% (24) 67% (24) 50% (24)	gering
Vautravers-Davas [21]	45	62	-	30CRC	40/3	-	86% (12)	48% (24)	gering
Scarselli [16] phase II	42	52	33 mm (11-54)	42 CRC	75/3	-	91% (24) 85% (36)	70% (24)	gering 0% G3
Mendez-Romero [14] phase I-II	25	-	1.1-322 ml	14 CRC	30-37.5/3	85%	86% (24)	62% (24)	2x G3 Leber
Ambrosino [22] phase I-II	27	-	20-165 ml	11 CRC	25-60/3	80%	74% crude rate	92% (24)	gering
Goodman [7] phase I	26	-	0.8-146 ml	6 CRC	18-30/1	Isodose covering PTV	77% (24)	49% (24)	gering
Chang [23] phase II	65	102	50.1 ml (0.6-3058)	65 CRC	22-60/1-8	-	55% (24)	58% (24)	20% >= G3
Hoyer [13] phase II	44	-	35 mm (10-88)	44 CRC	45/3	97%	78% (24)	38% (24)	48% >= G3

Tabelle: Prospektive Kohortenstudien zur stereotaktischen Bestrahlung von Lebermetastasen

den Symptomen Müdigkeit, anikterische Hepatomegalie, auch mit Schmerzhaftigkeit, Aszites, ausgeprägten Enzymveränderungen und Zeichen des Leberversagens, und treten gewöhnlich innert etwa 3 Monaten nach Bestrahlung auf. Die Zeichen eines Leberversagens sind aus früheren Bestrahlungsperioden bekannt. Sie traten vor allem nach einer Ganzleberbestrahlung mit einer Überschreitung der Toleranzdosis auf. In Einzelfällen wurde dies bereits bei einer Herdbestrahlung eines hepatozellulären Karzinoms, welches oft mit einer Leberzirrhose assoziiert ist, beobachtet. So ist bereits bei einer Leberzirrhose CHILD Pugh B sehr vorsichtig mit der Indikationsstellung einer Bestrahlung umzugehen.

Komplikationen können ferner nach höheren Dosen in eng benachbarten gastrointestinalen Hohlorganen auftreten und zeigen sich als Ulkus, Blutung, Perforation oder Stenose. Deshalb wird eine Mindestdistanz dieser Organe zum Zielvolumen von 5 mm empfohlen. In den neueren Statistiken lag das Risiko von Spätveränderungen \geq Grad 3 in diesen Organen bei null bis wenigen Prozent. Ein geringes Risiko für schmerzhaft Veränderungen in der benachbarten Thoraxwand kann nach SABRT eng benachbarter Herde auftreten. Deshalb wird auch die Einhaltung bestimmter Maximaldosen in der Thoraxwand empfohlen. Die Einhaltung bestimmter Maximaldosen im Rückenmark sowie der Belastungsgrenzen in den Nieren ist in aller Regel problemlos möglich. Bei normaler Funktion der kontralateralen Niere kann ein kleiner Teil der ipsilateralen Niere, sofern erforderlich, auch hoch belastet werden. Bei Organen mit paralleler Bauart werden die Toleranzdosen gewöhnlich als mittlere Organdosis, meist zusätzlich auch als

Volumenanteile, die unter einer bestimmten Dosis zu halten sind, angegeben. Bei serieller Bauart (z.B. Rückenmark) werden als Toleranzdosen Maximaldosen angegeben.

Thermale Ablationsmethoden oder SABRT?

Leider gibt es keine randomisierten Vergleiche zwischen der Radiofrequenzablation (RFA) und der SABRT. Die einzige derartige Studie musste wegen mangelnden Einschlusses von Patienten aufgegeben werden, eine neue randomisierte Phase-III-Studie läuft derzeit (Hoyer, Studie NCT101233544).

Die retrospektive Analyse von Fallserien zeigt eine mindestens gleich hohe lokale Kontrollrate von Lebermetastasen durch die SABRT wie durch thermische Ablationsmethoden. Die RFA zeigte eine gute Effektivität bis zu einer Herdgrösse von 3 cm, die SABRT erweist sich auch bei grösseren Herden (z.B. von 6 cm) als sehr effektiv.

In den ESMO-Consensus-Guidelines 2016 (24) zum kolorektalen Karzinom wird die SABRT als gleich effektiv wie die RFA beurteilt. Für die Wirksamkeit und auch die Verträglichkeit der SABRT bei diversen Primärtumoren werden 5 retrospektive und 8 prospektive Studien angeführt und auch betont, dass in einigen Serien keine Toxizität \geq Grad 3 beobachtet wurde (Tabelle).

Anwendung in der klinischen Praxis

Aus Kostengründen werden in Situationen, in denen eine ausreichende Effektivität erwartet werden kann und thermische Ablationsmethoden anwendbar sind, diese vorgezogen. Die SABRT wird erst bei unzureichendem Ansprechen der RFA respektive bei

lokalem Rezidiv eingesetzt. Bei grösseren Herden (> 4–5 cm) ist eine SABRT anzuwenden beziehungsweise vorteilhaft (25–27). Exaktere Kosten-Effektivitäts-Berechnungen sind wegen mangelnder prospektiver Vergleichsstudien zurzeit unsicher, denn die Frage, ob mit besserer lokaler Herdkontrolle auch das Gesamtüberleben mit der einen oder anderen Methode höher ist, bleibt derzeit offen. ▲

Prof. Dr. med. Gabriela Studer

(Korrespondenzadresse)

E-Mail: gabriela.studer@luks.ch

und

Prof. Dr. med. Christoph Glanzmann

Institut für Radio-Onkologie
Luzerner Kantonsspital (LUKS)
6000 Luzern 16

Interessenkonflikte: keine.

Quellen:

1. BD Kavanagh: From the Guest editor: New lenses, New Visions for Radiotherapy in the Molecular-Genetic-Immunomodulator Era of Oncology. *Cancer J*, 2016; 22: 245–224.
2. Hellman S, Weichselbaum RR.: Oligometastases. *J Clin Oncol* 1995; 13(1): 8–10.
3. Weichselbaum RR, Hellman S.: Oligometastases revisited. *Nat Rev Clin Oncol* 2011; 8(6): 378–382. (doi: 10.1038/nrclinonc.2011.44. Epub 2011 Mar 22. Review).
4. Palma DA, Salama JK, Lo SS, et al.: The oligometastatic state – separating truth from wishful thinking. *Nat Rev Clin Oncol* 2014; 11(9): 549–557. (doi: 10.1038/nrclinonc.2014.96. Epub 2014 Jun 24. Review).
5. Chan OSH et al.: The Role of Radiotherapy in Epidermal Growth Factor Receptor Mutation-positive Patients with Oligoprogression: A Matched-cohort Analysis. *Clin Oncol (R Coll Radiol)* 2017; 29(9): 568–575.
6. Gomez DR et al.: Local consolidative therapy versus maintenance therapy or observation for patients with oligometastatic non-small-cell lung cancer without progression after first-line systemic therapy: a multicentre, randomised, controlled, phase 2 study. *Lancet Oncology* 2016; 17, 1672–1682.
7. Goodman KA, Kavanagh BD.: Stereotactic Body Radiotherapy for Liver Metastases. *Semin Radiat Oncol* 2017; 27(3): 240–246. (doi: 10.1016/j.semradonc.2017.02.004. Epub 2017 Feb 20. Review).

8. Nordlinger B et al.: Perioperative FOLFOX4 chemotherapy and surgery versus surgery alone for resectable liver metastases from colorectal cancer (EORTC 40983): long-term results of a randomised, controlled, phase 3 trial. *Lancet Oncol* 2013; 14(12): 1208–1215.
9. Smith JJ, D'Angelica MI.: Surgical management of hepatic metastases of colorectal cancer. *Hematol Oncol Clin North Am* 2015; 29(1): 61–84. (doi: 10.1016/j.hoc.2014.09.003. Review).
10. Tomlinson JS et al.: Actual 10-year survival after resection of colorectal liver metastases de fines cure. *J Clin Oncol* 2007; 25(29): 4575–4580.
11. Petersen C, Gauer T.: Möglichkeiten der lokal-ablativen Bestrahlung (SBRT) bei metastasiertem kolorektalem Karzinom. *Radiologe* 2017; 57(2): 105–110.
12. Herfarth KK, Debus J, Wannemacher M.: Stereotactic radiation therapy of liver metastases: update of the initial phase-I/II trial. *Front Radiat Ther Oncol* 2004; 38: 100–105.
13. Hoyer M, Roed H, Traberg Hansen A et al.: Phase II study on stereotactic body radiotherapy of colorectal metastases. *Acta Oncol* 2006; 45(7): 823–830.
14. Mendez-Romero A et al.: Stereotactic body radiation therapy for primary and metastatic liver tumors: A single institution phase I–II study. *Acta Oncol* 2006; 45(7): 831–837.
15. Scorsetti M, Comito T, Tozzi A et al.: Final results of a phase II trial for stereotactic body radiation therapy for patients with inoperable liver metastases from colorectal cancer. *J Cancer Res Clin Oncol* 2015; 141(3): 543–553.
16. Wulf J, Haedinger U, Oppitz U et al.: Stereotactic radiotherapy for primary lung cancer and pulmonary metastases: a non-invasive treatment approach in medically inoperable patients. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2004; 60: 186–196.
17. Katz AW, Carey-Sampson M, Muhs AG et al.: Hypofractionated stereotactic body radiation therapy (SBRT) for limited hepatic metastases. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2007; 67: 793–798.
18. Rusthoven KE, Kavanagh BD, Burri SH et al.: A institutional phase I/II trial of stereotactic body radiation therapy for lung metastases. *J Clin Oncol* 2009; 27: 1579–1584.
19. Van der Pool AE, Méndez Romero A, Wunderink W et al.: Stereotactic body radiation therapy for colorectal liver metastases. *Br J Surg* 2010; 97: 377–382.
20. Rule W, Timmerman R, Tong L et al.: Phase I dose-escalation study of stereotactic body radiotherapy in patients with hepatic metastases. *Ann Surg Oncol* 2011; 18: 1081–1087.
21. Vautravers-Dewas C, Dewas S, Bonodeau F et al.: Image-guided robotic stereotactic body radiation therapy for liver metastases: is there a dose response relationship? *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2011; 81: e39–e47.
22. Ambrosino G et al.: Image-guided robotic stereotactic radiosurgery for unresectable liver metastases: preliminary results. *Anticancer Res* 2009; 29(8): 3381–3384.
23. Chang DT et al.: Stereotactic body radiotherapy for colorectal liver metastases: a pooled analysis. *Cancer*. 2011; 117(17): 4060–4069.
24. Van Cutsem E et al.: ESMO consensus guidelines for the management of patients with metastatic colorectal cancer. *Ann Oncol* 2016; 27(8): 1386–1422.
25. Stättner S, Primavesi F, Yip VS, Jones RP, Öfner D, et al.: Evolution of surgical microwave ablation for the treatment of colorectal cancer liver metastasis: review of the literature and a single centre experience. *Surg Today* 2015; 45(4): 407–415.
26. Loveman E et al.: The clinical effectiveness and cost-effectiveness of treatments for idiopathic pulmonary fibrosis: a systematic review and economic evaluation. *Health Technol Assess* 2015; 19(20): i–xxiv, 1–336.
27. Pollom EL et al.: Cost-effectiveness of Stereotactic Body Radiation Therapy versus Radiofrequency Ablation for Hepatocellular Carcinoma: A Markov Modeling Study. *Radiology* 2017; 283(2): 460–468.
28. Blomgren A et al.: Stereotactic high dose fraction radiation therapy of extracranial tumors using an acclerator. Clinical experience of the first thirty-one patients. *Acta Oncol* 1995; 34(6): 861–870.

Merkpunkte

- ▲ **Mit der stereotaktischen ablativen Radiotherapie (SABRT)** sind heute bei Lebermetastasen hohe Lokal-kontrollraten bei guter Verträglichkeit erzielbar.
- ▲ **Die SABRT ist**, verglichen mit thermalen Ablationsmethoden, basierend auf retrospektiven Analysen/Fallserien, mindestens isoeffektiv.
- ▲ **Die thermalen Ablationsmethoden** werden der SABRT derzeit aus Kostengründen vorgezogen.
- ▲ **Bei Metastasen ≥ 3 cm** oder Rezidiven nach thermalen Ablationsmethoden ist die SABRT vorteilhaft.