

T. Vogl · M. Mack · R. Straub · S. Zangos · D. Woitaschek · K. Eichler · K. Engelmann  
Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, J.W.-Goethe-Universität Frankfurt

# Thermische Ablation von Lebermetastasen

## Aktueller Stand und Perspektiven

### Zusammenfassung

**Zielsetzung.** Vorstellung der thermischen Ablation von Lebermetastasen mittels laserinduzierter Thermoablation (LITT).

**Material und Methodik.** Verschiedene technische Verfahren der Ablation sowie „Online-monitoring-Verfahren“ werden vorgestellt. Derzeit gängige Verfahren der Thermoablation stellen die MR-gesteuerte laserinduzierte Thermoablation (LITT) sowie die Radiofrequenzablation (RF) dar.

**Ergebnisse.** Im Rahmen einer prospektiven, nichtrandomisierten Studie wurden bislang 606 Patienten mit Lebermetastasen unterschiedlicher Primärtumoren mittels LITT perkutan therapiert. Die erzielte lokale Tumorkontrolle in der 3- bzw. 6-Monatskontrolle betrug dabei 98,3%, die Rate klinisch nicht relevanter Komplikationen 3,5%, die Rate klinisch relevanter Komplikationen 1,2%. Die mittlere Überlebensrate für das Gesamtkollektiv betrug 40,9 Monate. Es ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede der Überlebensraten für das kolorektale Karzinom, das Mammakarzinom sowie hinsichtlich weiterer Primärtumoren. Zur klinischen Relevanz der Radiofrequenzablation liegen derzeit nur Ergebnisse an kleinen Fallzahlen bei hoher Lokalrezidivrate vor.

**Schlussfolgerung.** Das derzeit am besten evaluierte Therapieverfahren von Lebermetastasen stellt die MR-gesteuerte LITT aufgrund des optimalen Therapiemonitorings und der optimierten Interventionsmöglichkeiten dar.

### Schlüsselwörter

Thermoablation · LITT · Lebermetastasen

Für eine Vielzahl onkologischer Krankheitsbilder stellt der Befall der Leber einen entscheidenden Faktor für das Überleben der Patienten dar. Bei Überschreiten der Tumorlast in der Leber oder dem Befall wichtiger hepatischer Versorgungsstrukturen folgt daraus in der Regel ein Organversagen mit letalem Ausgang. Aus diesem Grunde werden viele Anstrengungen unternommen, die Früherkennung von Lebermetastasen wie auch die Nachsorge zu verbessern, und eine patientenschonende Therapie mit maximaler Effektivität zu planen.

Die therapeutische Strategie bei Lebermetastasen ist im Wesentlichen von der zugrunde liegenden Primärerkrankung abhängig. So wird bei Lebermetastasen eines kolorektalen Karzinoms ohne extrahepatische Metastasierung bei einer geringen Metastasenzahl die chirurgische Resektion favorisiert. Bei fortgeschrittenem Lebermetastasenbefall kommt zusätzlich eine Chemotherapie zum Einsatz, die auf der systemischen Anwendung verschiedener Zytostatika, partiell kombiniert, beruht. Im Rahmen von klinischen Studien wird derzeit auch die Wirksamkeit regionaler Chemotherapien geprüft.

Während die Chemotherapie zwar in der Lage ist, temporär Lebermetastasen zu verkleinern und diese bei kleinen Herden auch vollständig zu vernichten, muss bei größeren Metastasen davon ausgegangen werden, dass hier in der Regel keine vollständige Entfernung gelingt, so dass sich hier zusätzlich auch lokale Abtragsverfahren wie die Lasertherapie als vorteilhaft erweisen.

Beim Mammakarzinom ist das Stadium der hepatischen Metastasierung

häufig bereits ein Hinweis für eine Generalisation der Tumorerkrankung. Dennoch aber stellt die Lebermetastasierung einen entscheidenden Überlebensfaktor dar, so dass auch hier versucht werden muss, ein Fortschreiten der Lebermetastasierung zu verhindern. Dabei kommt bei einer oder wenigen kleinen Metastasen die chirurgische Entfernung prinzipiell in Frage; es haben jedoch hierbei die systemische Chemotherapie oder Hormontherapie sowie lokale Abtragsverfahren wie die Lasertherapie Vorrang.

Im Folgenden soll die Wertigkeit moderner minimal-invasiver Behandlungsverfahren wie die thermische Ablation für die fokale Lebermetastasierung vorgestellt werden, mit Fokus auf die interventionelle MR-gesteuerte Lasertherapie im Vergleich zur Radiofrequenzablation.

### Laserinduzierte Thermoablation (LITT)

Definitionsgemäß bedeutet das Verfahren der laserinduzierten Thermoablation (LITT), dass durch eingebrachte Laserenergie eine thermische Zerstörung von Tumoren resultiert. Die dabei auftretenden Gewebeveränderungen müssen „online“ überwacht werden, definitionsgemäß als „Monitoring“ bezeichnet. Prinzipiell eignen sich hierfür sämtliche bildgebenden radiologischen Untersu-

---

Prof. Dr. Thomas J. Vogl  
Institut für Diagnostische und Interventionelle  
Radiologie, J.W.-Goethe-Universität Frankfurt,  
Theodor-Stern-Kai 7, 60590 Frankfurt  
E-mail: T.Vogl@em.uni-frankfurt.de

T. Vogl · M. Mack · R. Straub · S. Zangos  
D. Woitaschek · K. Eichler · K. Engelmann

## Thermal Ablation of Liver Metastases: Current Status and Perspectives

### Abstract

**Purpose.** To present thermal ablation of liver metastases via laser induced thermotherapy.

**Material and methods.** Different technical procedures of thermal ablation and online monitoring are used, as there are the MR-guided laser induced thermotherapy (LITT) and the radiofrequency ablation thermotherapy (RF).

**Results.** In a prospective non randomized study 606 patients with liver metastases were treated via MR-guided laserinduced thermotherapy. Inclusion criteria were the exclusion of extrahepatic tumor spread and a number of metastases lower than 5 and a size lower than 50 mm in diameter. The local tumor control rate in the 3 month and 6 month control study was 98,3%, the complication rate 3,5% (clinically relevant: 1,2%). The mean survival rate was 40,9 months for all patients with liver metastases without statistically relevant differences for various primaries, like colorectal carcinoma, breast cancer and various other tumors. Results for radiofrequency are so far limited with incidence of a higher local tumor recurrence rate versus LITT.

**Conclusion.** MR-guided LITT results in a high local tumor control rate with improved survival.

### Keywords

Thermal ablation · LITT · Liver metastases

## Lebermetastasen

chungsverfahren, wie die Sonographie, die Computertomographie (CT), v. a. aber die Magnetresonanztomographie (MRT) mit MR-Thermometrie (MRTH).

Die LITT basiert prinzipiell auf der Methodik der klassischen Hyperthermie. Dabei wird der hypertherme Effekt um den koagulativen Effekt ergänzt. Laser des nahen Infrarot-Bereiches (NIR) werden zur LITT aufgrund der vergleichsweise hohen Eindringtiefe der Photonen und der Möglichkeit der problemlosen Strahlungsübertragung durch Lichtleiter verwendet. Hierzu zählen v. a. der Nd:YAG-Laser (1064 nm), der bereits klinisch weit verbreitet ist, bzw. der in neuerer Zeit auf den Markt gekommene Halbleiterlaser (800–950 nm) (z. B. Dornier MediLAS 5060).

Absorptions- und Wärmeleitungsprozesse führen, in Abhängigkeit von der Gewebestruktur, zum erwünschten Effekt der Denaturierung der Proteine, d. h. zur Koagulation. Normale Zellen sind gegenüber der hyperthermen Exposition geringer sensibel, maligne Zellen zeigen eine signifikant höhere Sensibilität aufgrund des veränderten Stoffwechselstatus maligner Zellen, mit ausgeprägter Hypoxie. Unter Einsatz spezieller MR-Thermo-Sequenzen ist es möglich, das Fortschreiten der Therapie zu kontrollieren, und durch eine engmaschige Überwachung der Lagebeziehung der sich entwickelnden Nekrosezone zu wichtigen Gefäß- und Nervenstrukturen die Komplikationsrate zu minimieren.

### Technische Voraussetzungen zur LITT

Das Punktionsset für die LITT besteht aus einer Dreikant-Schliff-Punktionsnadel, einem Führungsdraht, einem lichtundurchlässigen Schleusensystem mit seitlichem Zugang sowie einem speziellen lichtdurchlässigen Hüllkatheter mit Einführungsmandrin. Der Hüllkatheter ist bis 400°C thermostabil und am distalen Ende spitz verschlossen, und verhindert so einen direkten Kontakt zwischen Patienten und Laserapplikator, zur Reduktion von Komplikationen wie Blutungen und Infektion. Zum Erreichen einer höheren Stabilität ist er mit einem Mandrin ausgestattet, der zusätzlich als Positionierungshilfe für die Feinkorrektur des Systems im MRT dient. Für kleine Läsionen steht ein konventionelles dünnlumiges Applikatorsystem zur Verfügung, für größere Metastasen ein ge-

spültes System (Powersystem) mit 9-F-Durchmesser.

An Laserapplikatoren stehen für die LITT neben der klassischen „bare fiber“ weitere Applikatortypen zur Verfügung: Der Ringmode-Applikator sowie der Scattering-Dome-Applikator. Beide Applikatortypen verfolgen die Realisierung des gleichen Prinzips: Das der homogen gestreuten Einbringung von Licht des nahen Infrarot (NIR-)Bereiches in das zu therapeutierende Gewebevolumen.

Neben Mono-Applikator-Anwendungen kommen auch Multi-Applikator-Anwendungen zum Einsatz, um auch die Therapie größerer maligner Prozesse zu ermöglichen.

Beim konventionellen Applikatorsystem ist die effektive, radiäre Wärmeausbreitung um den Applikator auf maximal 2 cm im Querschnitt limitiert. Bei Läsionen mit einem Durchmesser größer 2 cm kann zudem alternativ zum multifokalen Zugang das gespülte Power-Lasersystem eingesetzt werden, auch in Multiapplikatortechnik.

### Therapeutisches Procedere bei der LITT

Präinterventionell unterziehen sich die Patienten einer standardisierten MRT-Untersuchung mit präkontrast-FLASH-2D-Sequenzen in transversaler und sagittaler Schichtorientierung sowie T1- und T2-gewichteten Sequenzen in transversaler Schichtorientierung. Postkontrast erfolgt die Anfertigung von FLASH-2D-Sequenzen in transversaler und sagittaler Schichtorientierung sowie T1-gewichteter Sequenzen in transversaler Schichtorientierung. Vor dem ambulanten Eingriff werden Blutgerinnungsparameter sowie das Blutbild kontrolliert, weiter erfolgt ein allgemeiner klinischer Aufnahmezustand. Mindestens 24 h vor der Intervention wird der Patient ausführlich über Risiken der zu erfolgenden Untersuchung, des Eingriffes, der Punktion sowie der Kontrastmittelapplikation aufgeklärt; danach erklärt der Patient schriftlich sein Einverständnis. Die Punktion und Intervention werden in der Regel CT-gestützt, alternativ auch sonographisch gesteuert, durchgeführt; jede zuvor festgelegte Metastase wird durch eine native Spirale des Oberbauches in 5 mm Schichtdicke dargestellt und markiert. Die MR-Thermome-

Tabelle 1

**Indikationen für die minimal-invasive laserinduzierte Therapie von Lebertumoren**

- ▶ Anzahl der Läsionen ≤5
- ▶ Durchmesser der Metastasen ≤5 cm
- ▶ Kein extrahepatischer Organbefall durch Metastasen
- ▶ Einverständnis zum Eingriff und zur Einhaltung der Nachkontrollen
- ▶ Keine Kontraindikationen zur kernspintomographischen Untersuchung, d. h. keine Metallteile innerhalb vulnerabler Strukturen des Körpers
- ▶ Intaktes Blutgerinnungssystem

trie (MRTH) wird mit T1-gewichteten temperaturempfindlichen MRT-Sequenzen durchgeführt. Am Ende der Intervention sowie 24 h nach dem Eingriff werden das Nekrosevolumen und die Morphologie mit kontrastverstärkten MR-Sequenzen dokumentiert.

**Radiofrequenzablation**

Radiofrequenzwellen (RF-Wellen) werden schon seit den 60er Jahren zur Behandlung intrazerebraler Tumoren unter stereotaktischer Steuerung eingesetzt. Seit einigen Jahren kommt die RF-Therapie auch mit Schwerpunkt der Therapie maligner Lebertumoren zum Einsatz. Wie bei der LITT wird auch hier über eine lokale Temperaturerhöhung eine Koagulationsnekrose bewirkt. Über mono- oder bipolare Antennensysteme werden Wellenlängen zwischen 300–500 kHz ins Gewebe eingebracht, mit dem Resultat einer Temperaturerwärmung im Zielgebiet von bis zu 90°C, bedingt durch einen hohen Gewebewiderstand. Interstitielle Therapieverfahren erzeugen eine umschriebene Koagulationsnekrose. Das Ausmaß sowie die Morphologie werden durch verschiedene Gewebeeigenschaften beeinflusst, die eine genauere interventionelle Therapieplanung erschweren.

**Ergebnisse**

Insgesamt wurden bislang von unserer Arbeitsgruppe 606 Patienten in einem Alter von 28–84 Jahren mit 1651 malignen Lebertumoren prospektiv innerhalb von 6 Jahren mit MR-gesteuerter

LITT behandelt. 6030 Laserapplikationen wurden durchgeführt, Primärtumoren waren kolorektale Karzinome (368 Patienten), Mammakarzinome (116 Patienten), hepatozelluläre Karzinome (HCC) (26 Patienten) sowie andere Tumoren (Tabelle 1). Klinisch nicht relevante Komplikationen traten bei 3,5% der Sitzungen auf, klinisch relevante bei 1,2%. Die Komplikationsrate basiert auf der Anzahl der Therapiesitzungen, nicht auf der Anzahl der Laserapplikationen. Alle Patienten tolerierten die LITT unter Lokalanästhesie. In 6 Fällen wurde ein Leberabszess beobachtet. In 2 Fällen wurde ein klinisch relevantes subkapsuläres Hämatom, und in 5,7% ein rechtsseitiger, nicht therapierrelevanter Pleuraerguss dokumentiert. Ein Patient entwickelte eine Leckage im Jejunum nach der LITT einer Lebermetastase im Segment 4a. Der Patient wurde operiert und verstarb an ARDS. Ein Patient entwickelte eine Sepsis 4 Wochen post LITT, die möglicherweise in Zusammenhang mit der LITT gebracht werden muss.

**Lokale Tumorkontrollrate und Überlebensdaten**

Durch Optimierung der Laserapplikatoren wie auch der Interventionskatheter konnte die lokale laserinduzierte Gewebenekrose im Verlauf der klinischen Projekte stetig vergrößert und präzisiert werden (Abb. 1, 2). Durch die 3-monatliche MRT-Evaluierung konnten exakte Daten zur 3- bzw. 6-Monatskontrolle post LITT erhoben werden. Als lokales Rezidiv post

LITT wurden Formationen gewertet, die folgende Charakteristika aufweisen:

- ▶ zunehmende Größe im Quer- und Sagittaldurchmesser,
- ▶ zunehmende Kontrastmittelaufnahme im MRT,
- ▶ Zunahme der Signalintensität in den T2-gewichteten Spinechosequenzen.

Die aktuellen lokalen Tumorkontrollraten für das derzeitige Standardprotokoll liegen für die 3-Monatskontrolle bei 98,7%, für die 6-Monatskontrolle bei 98,3%, und entsprechen damit den chirurgischen Standardwerten für die lokale Exzision bzw. Resektion von Lebermetastasen. Im Falle von Metastasen mit einem Durchmesser größer 5 cm kann durch die Kombination der LITT mit einer vaskulären Okklusion in Form einer Embolisation das Ausmaß der laserinduzierten Nekrose vergrößert werden (Abb. 3, 4, 5). Dabei eignen sich prinzipiell Verfahren wie die Ballon- oder auch die Partikelokklusion. Die kumulative Überlebenszeit für dieses Patientenkollektiv wurde kalkuliert mit dem Kaplan-Meier-Test. Die kumulative Überlebensrate der Patienten mit Lebermetastasen lag bei 47,7 Monaten (Median: 40,97 Monate, 95%, Konfidenzintervall 36,37–45,24). Kein signifikanter Unterschied wurde dokumentiert zwischen den Überlebensdaten bei Patienten mit Lebermetastasen eines kolorektalen Karzinoms und anderen Primärtumoren.

Bezogen auf die Leber resultieren folgende Indikationen für die MR-gesteuerte LITT:

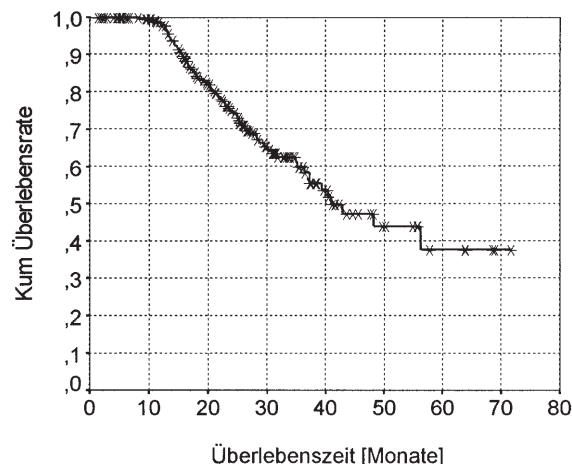


Abb. 1 ▲ Die mittlere Überlebenszeit im Gesamtkollektiv von Patienten mit Lebermetastasen (n=606) betrug 47,7 Monate

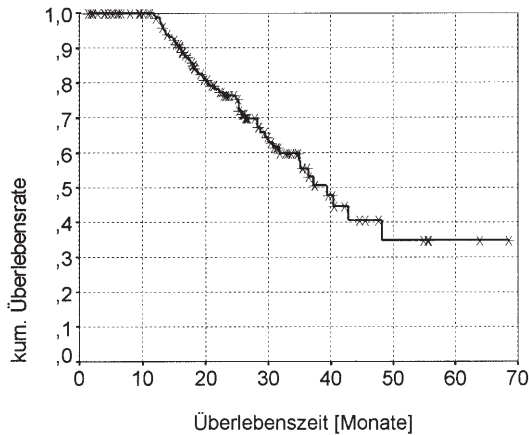


Abb. 2 ◀ Bei Patienten mit Lebermetastasen eines kolorektalen Karzinoms (n=364) betrug die mittlere Überlebenszeit 42,7 Monate

- ▶ maximal 5 Lebermetastasen, Durchmesser  $\leq 5$  cm,
- ▶ keine extrahepatischen Tumormanifestationen,
- ▶ Karnofsky-Index  $>70\%$ .

### Diskussion

Bei der Entwicklung interventionell-onkologischer Therapieformen wurde ein besonderes Augenmerk auf lokale Therapien wie die perkutan MR-gestützte thermische oder chemische Tumorablation gelegt. Diese Techniken sind charakterisiert durch eine hohe Zuverlässigkeit, bei vollständiger Destruktion lokaler Tumoren. Mit zunehmender Erfahrung und Weiterentwicklung in der interventionellen MRT haben sich viele Gruppen dieser Untersuchungsform als einem effektiven Mittel der Steuerung perkutaner Destruktion neoplastischen Gewebes zugewandt. Die größte Aufmerksamkeit wurde dabei auf das Einbringen thermaler Energie, die thermoablative Läsionen entstehen lässt, gerichtet. Durch Kombination MR-visuализierten Monitorings der Tumorerstörung mit minimal-invasiven Methoden der Tumordestruktion verbessern diese neuen Techniken das Potenzial der Steuerung und der unmittelbaren Visualisierung eines ablativen Verfahrens, um eine vollständige Tumordestruktion zu erreichen. Das Monitoring mittels MR-Thermometrie zur Verifizierung der Nekrose für eine interstitielle thermische Ablation wurde ursprünglich bei Hirntumoren angewendet, unter Anwendung von sowohl Laser- als auch RF-Generatoren. Temperatursensitive MR-Sequenzen ermöglichen ein sorgfältiges „Online-Monitoring“ der Hitzeeinbringung, wengleich das Verhältnis der MR-Si-

gnaländerungen zur Gewebetemperatur ein komplexes Phänomen darstellt.

### Radiofrequenztherapie (RF)

Die Radiofrequenztherapie ist eine bereits seit 3 Jahrzehnten mit großem Erfolg im neurochirurgischen Bereich angewendete Therapieform aus der Gruppe der thermoablativen Verfahren. Durch die Anwendung RF-thermischer Ablation resultiert der Transfer elektrischer Energie in das Gewebe in der Deposition von Hitze, abhängig von der erhöhten Resistenz der therapierten Gewebestrukturen.

Die Aufgabenstellung der Visualisierung der interstitiellen RF-Thermotherapie umfasst die Dokumentation der Zone der thermalen Gewebszerstörung während der Therapieanwendung. Als Monitoringverfahren wird derzeit im Wesentlichen die Sonographie bei begrenztem Nutzen eingesetzt. MR-Verfahren eignen sich nur bedingt, da unmittelbar während der RF-Applikation aus physikalischen

Gründen keine Temperaturmessung möglich ist. Neue Software- und Hardwaremodifikationen werden derzeit entwickelt, um die Nachteile der inadäquaten bildgebenden Darstellung der Temperaturentstreuung zu kompensieren. Jüngste Neuerungen beinhalten die Entwicklung wassergekühlter RF-Elektroden. Gegenwärtige Erfahrungen in der MR-gesteuerten RF-Thermotherapie inkludieren die RF-Ablation von Hirnmetastasen, die RF-Ablation von Lebermetastasen sowie erste klinische Versuche bei extrahepatischen abdominalen Läsionen.

### Kryotherapie

Die Kryotherapie beruht auf der Einbringung von Kryosonden und repetitiven Gefriervorgängen im definierten Zielgewebe. Der größte Vorteil dieser Ablationstechnik besteht in der Einbringung eines therapeutischen Effektes durch Eisformation innerhalb oder nahe des Zielgewebes. Zur Zeit befindet sich die perkutane MR-gestützte interstitielle Kryotherapie noch in einem experimentell-/klinischen Stadium, gegenwärtige Probleme temperaturresistenter Materialien und des Sondierungsdesigns werden gelöst.

### Laserinduzierte interstitielle Thermotherapie (LITT)

Die klinisch angewendete laserinduzierte Thermotherapie (LITT) wurde erstmals von Bown et al. vorgestellt. Durch die LITT wird mit nahem Infrarot durch eine oder mehrere interstitiell eingebrachte optische Fasern gleichmäßig La-

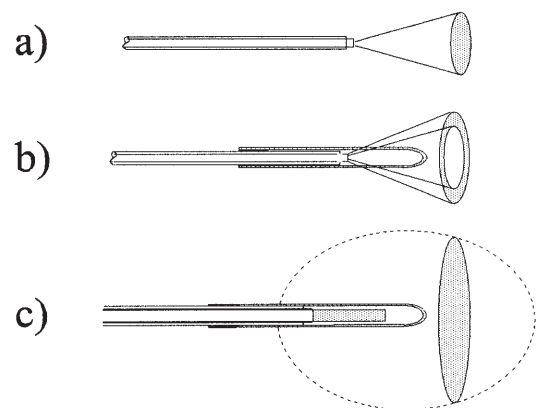


Abb. 3a-c ▶ Darstellung der Applikatorgeometrie für die laserinduzierte Thermotherapie. Darstellung der Einstrahlungsgeometrie: Bare fiber (a) und die 2 Applikator-Grundvarianten, (b) Ringmode Applikator, (c) Scattering-Dome Applikator

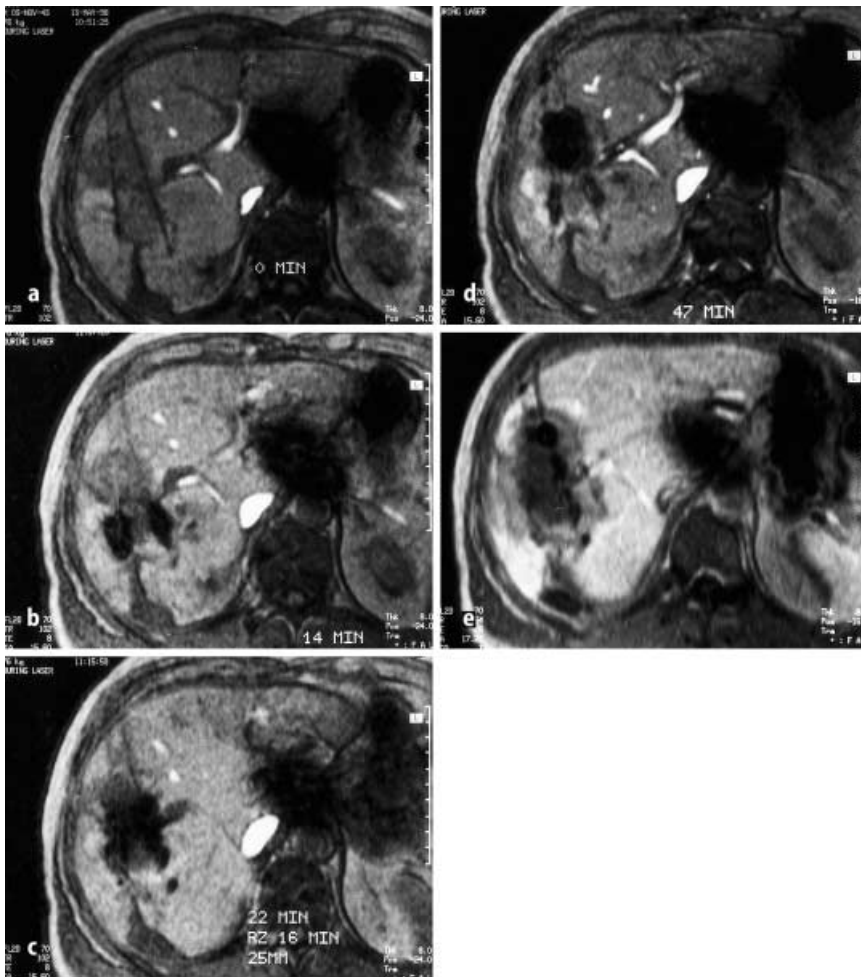


Abb. 4a–e ▲ 55-jähriger Patient mit Lebermetastasen eines kolorektalen Karzinoms. Laserinduzierte Thermotherapie in Rückzugstechnik einer Lebermetastase im Lebersegment 5. FLASH 2D-Sequenz, Flipwinkel 70, TR 102/TE 8. a Die MR-Thermometrie präinterventionell dokumentiert die 2 benachbart gelegenen Metastasen als hypointense Zonen. Nachweis der Magnetit-Markierungen innerhalb der Thermokatheter, zur Verifizierung der Lagebeziehung der Katheter vs. der Tumoren. b MR-Thermometrie, 14 min, während Therapie der Läsion im Lebersegment 6. Dokumentation von 2 die Thermofasern zylindrisch umgebenden Zonen mit reduzierter Signalintensität. c Rückzugstechnik: 22 min LITT, danach Rückzug, anschließend LITT für weitere 16 min. Dokumentation der Ausbreitung des laserinduzierten Areals mit erhöhter Temperatur und Signalverlust in der FLASH 2D-Sequenz, Flipwinkel 70, TR 102/TE 8. d Im weiteren Rückzug Verifikation des homogenen Signalverlustes innerhalb der auch ventral gelegenen Metastase im Lebersegment 5. e FLASH 2D-Sequenz, Flipwinkel 70, TR 102/TE 8, Gadolinium-verstärkt. Im Rahmen der Gadolinium-verstärkten Sequenz Dokumentation des Ausmaßes der laserinduzierten Nekrose, mit kompletter Nekrotisierung der beiden Lebermetastasen in den Lebersegmenten 6 und 5

serstrahlenenergie direkt in das Zielgewebe geführt. Die Größe und Geometrie der thermalen Läsion können durch die ihnen eigenen Gewebeunterschiede oder die Variabilität des Blutflusses und der Gewebestruktur nicht vorherbestimmt werden. Hier hat sich der Einsatz interventionell magnetresonanztomographischer Visualisierungsverfahren als sensitiv gegenüber Veränderungen der Gewebetemperatur erwiesen. Für die Behandlung von Patienten mit nichtresektierbaren Tumoren der Leber oder

des Kopf-/Halsbereiches wurde die MR-gestützte laserinduzierte interstitielle Thermotherapie (LITT) als lokal-ablativ Therapieform klinisch etabliert.

Besonders bei der Behandlung von Lebertumoren stellen die Radiofrequenz-Kryotherapie sowie die endotumorale Chemotherapie oder regionale Chemoembolisation mögliche alternative Therapieformen dar.

Solbiati publizierte 1997 eine Studie über 29 Patienten mit 44 Lebermetastasen (Größe 1,3–5 cm) von kolorektalen-,

Magen-, Mamma- und Pankreaskarzinomen, darunter 20 Patienten mit solitären Läsionen. Die Intervention erfolgte mit gekühlten RF-Systemen. Eine komplette Tumorablation konnte in 91% der Fälle erreicht werden. In der 3- und 6-Monatskontrolle waren noch 66% der therapierten Läsionen inaktiv. Eine Überlebensrate von 100, 94 und 86% nach 6, 12 und 18 Monaten wurde dokumentiert [5]. Eine weitere Arbeit von Solbiati berichtet über 31 Metastasen bei 16 Patienten, mit einer Tumorkontrollrate von 66% nach der RF-Therapie. Alle inaktiven Tumoren waren kleiner als 3 cm. Es wurden dabei 1- und 2-Jahresüberlebenszeiten von 100 bzw. 61,5% beobachtet [6].

Einen Ansatz mit konventionellen Systemen und simultaner Spülung mit NaCl-Lösung versuchte Livraghi 1997 bei 14 Patienten mit 24 Lebermetastasen (1,2–4,5 cm groß), konnte aber bei nur 52% der Läsionen nach 6 Monaten eine Inaktivität dokumentieren [17].

Die MR-gestützte laserinduzierte interstitielle Thermotherapie (LITT) hat einige entscheidende Vorteile gegenüber diesen Methoden: Sie basiert auf einer dreidimensionalen MR-Thermometrie, bei der Informationen über das behandelte Areal nichtinvasiv gewonnen werden, mit dem Resultat einer präzisen induzierten Nekrose. Weiterhin werden optische Fasern und Licht nicht durch die magnetischen Felder, die für die MR-Bildgebung notwendig sind, beeinflusst, ferner haben die optischen Fasern keinen störenden Einfluss auf das MR-Signal. Neben den Vorteilen der LITT müssen jedoch mögliche Nebenwirkungen kritisch betrachtet werden. Es muss dabei ein besonderer Augenmerk auf die Abhängigkeit der Beziehung von Tumor und Gefäßen oder Gallengängen gerichtet werden, um die Zerstörung dieser vitalen Strukturen zu verhindern. Unsere Ergebnisse belegen, dass durch die Anwendung der „Online-MR-Thermometrie“ und der Überprüfung des Gefäßflusses die Komplikationsrate extrem gering gehalten werden kann.

Zusammenfassend lässt sich dokumentieren, dass die MR-gesteuerte laserinduzierte Thermotherapie ein sicheres therapeutisches Instrument zur Behandlung von Tumoren der Leber darstellt. Perkutaner Zugang, Lokalanästhesie und das ambulante Therapiemanagement sind die wesentlichen Vorteile dieses minimal-invasiven Verfahrens,

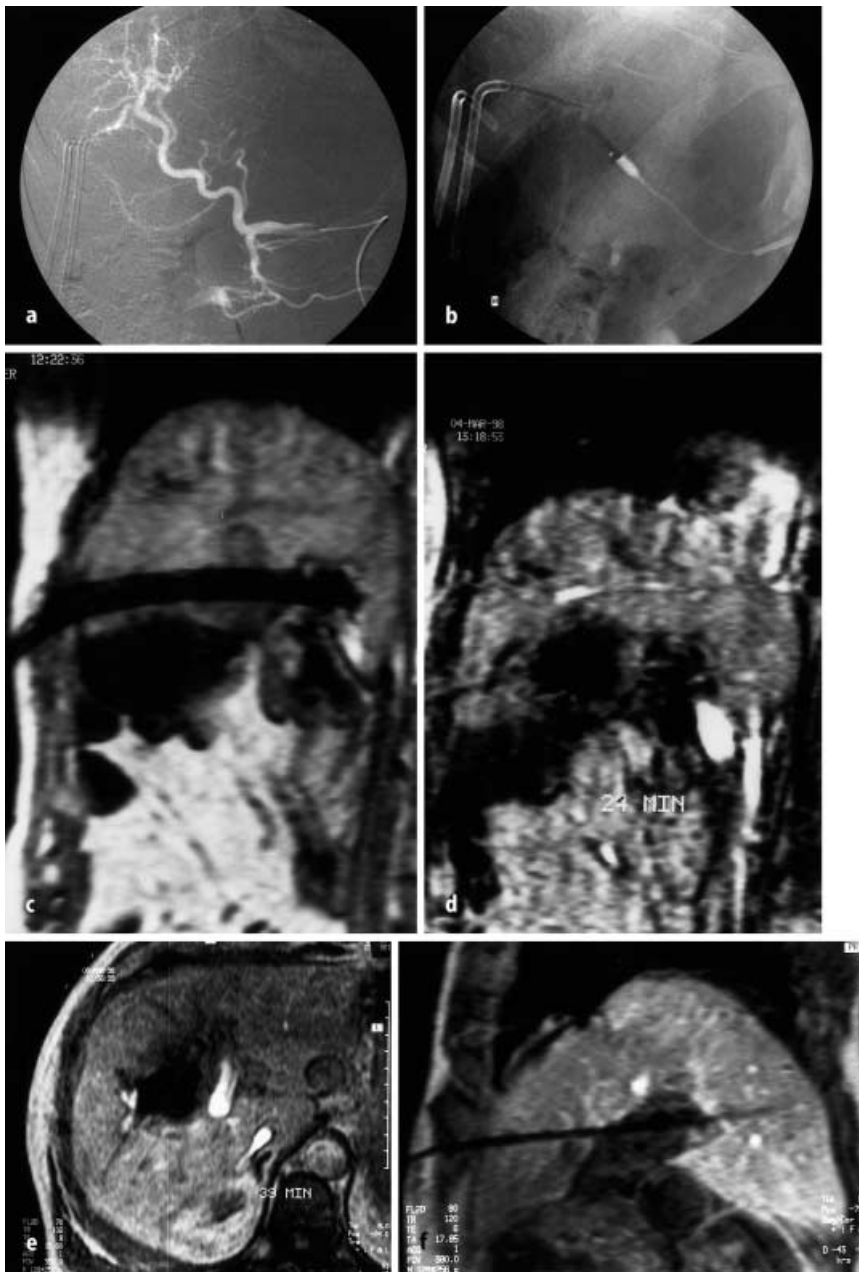


Abb. 5a–f ▲ Laserinduzierte Thermotherapie unter Hypoperfusion nach Applikation von Mikrokathetern. a Angiographische Abklärung der Lebergefäßversorgung vor Implantation eines Ballonkatheters, mit Perfusionsausschaltung während der Intervention. b Verifikation der Ballonkatheter-Positionierung und Blockade intrahepatisch. c FLASH 2D-Sequenz, Flipwinkel 70, TR 102/TE 8, in sagittaler Schichtorientierung: Verifikation der Laserkatheter innerhalb der Metastase. d MR-Thermometrie unter Hypoperfusionsbedingungen, mit Dokumentation des homogenen Signalverlustes im Bereich der gesamten Tumorregion sowie des Sicherheitsaums. e MR-Thermometrie, FLASH 2D-Sequenz, Flipwinkel 70, TR 102/TE 8. 33 min nach Start der LITT: Dokumentation der Ausbreitung des laserinduzierten Areals. Nachweis der noch erhaltenen Perfusion in der V. portae (P), in der V. cava (C) sowie der peripheren Äste. f Gadolinium-verstärkte Gradientenechosequenz. Post Gadolinium Verifikation des Ausmaßes der laserinduzierten Nekrose. Scharfe Abgrenzung. Erhaltene Perfusion der Umgebungsstrukturen

um den ohnehin sehr belasteten Patienten eine kurative oder palliative Therapieoption zu bieten.

Zukünftige Vorhaben sind auf multidisziplinäre randomisierte Studien ge-

richtet, deren Ergebnisse die unterschiedlichen Therapiestrategien einzeln und/oder kombiniert hinsichtlich der Überlebensdaten der betroffenen Patienten analysieren. Unter Einbeziehung

der enormen Entwicklung interventiveller MR-Systeme werden minimal-invasive Tumortherapien das Überleben und die Sicherung der Lebensqualität betroffener Patienten entscheidend verbessern.

## Literatur

1. Amin Z, Donald J, Masters A, Kant R, Steger A, Bown C, Lees R (1993) Hepatic metastases – interstitial laser photocoagulation with real time US monitoring and dynamic CT evaluation of treatment. *Radiology* 187:339–347
2. Amin Z, Bown SG, Lees WR (1993) Local treatment of colorectal metastases: a comparison of interstitial laser photocoagulation and percutaneous alcohol injection (PAI). *Clin Radiol* 48:166–171
3. Anzai Y, Lufkin RB, DeSalles A et al. (1995) Preliminary experience with MR-guided thermal ablation of brain tumors. *AJNR* 16:39–48
4. Beuthan J, Gewiese B, Fobbe F, Germer CT, Albrecht D, Boese-Landgraf J, Roggan A, Müller G (1993) Investigations of MRI-controlled laser-induced interstitial thermotherapy (LITT). *Med Tech* 4:27–30
5. Beuthan J, Müller G, Schaldach B, Zur C (1991) Fiber design for interstitial laser treatment. *SPIE* 1420:234–241
6. Bown SG (1983) Phototherapy of tumors. *World J Surg* 7:700–709
7. Delannoy J, Le Bihan D, Hoult DI, Levin RL (1990) Hyperthermia system combined with a magnetic resonance imaging unit. *Med Phys* 17:855–860
8. Desinger K, Stein T, Tschepe J, Müller G (1996) Investigation on radio-frequency current application in bipolar technique for interstitial thermotherapy (RF-ITT). *Minim Invas Med* 7, 3:92–97
9. Dickinson RJ, Hall AS, Hind AJ, Young IR (1986) Measurement of changes in tissue temperature using MR Imaging. *J Comp Assist Tomogr* 10, 3:468–472
10. Jolesz FA, Bleier AR, Jakob P, Ruenzel PW, Huttel K, Jako GJ (1988) MR Imaging of laser-tissue interactions. *Radiology* 168:249–253
11. Kahn T, Schwabe B, Harth T, Bettag M, Ulrich F, Rassek M, Schwarzaier H-J, Mödder U (1996) Mapping of the cortical motor hand area with functional MR imaging and MR imaging-guided laser-induced interstitial thermotherapy of brain tumors. *Radiology* 200:149–157
12. Le Bihan D, Delannoy J, Levin R (1989) Non invasive mapping with MR imaging of molecular diffusion: application to hyperthermia. *Radiology* 117:853–857
13. Lee F, Bahn DK, McHugh TA, Onik GM, Lee FT Jr (1994) US-guided percutaneous cryoablation of prostate cancer. *Radiology* 192:132–142
14. Lee FL, Mahvi DM, Chosy SG, Onik GM, Wong WS, Littrup PJ, Scanlan KA (1997) Hepatic cryosurgery with intraoperative US guidance. *Radiology* 202:624–632

15. Lencioni R, Goletti O, Armilotta N et al. (1998) Radio-frequenz thermal ablation of liver metastases with cooled tip electrode needle: results of a pilot clinical trial. *Eur Radiol* 8:1205–1211
16. Lewa CJ, Majewska Z (1980) Temperature relationships of proton spin-lattice relaxation time T1 in biological tissues. *Bull Cancer* 67:525–530
17. Livraghi T (1993) Ultrasound guided percutaneous ethanol injection therapy of hepatic tumors and metastases. *Z Gastroenterol* 31:260–264
18. Matsumoto R, Oshio K, Jolesz FA (1992) Monitoring of laser and freezing-induced ablation in the liver with T1-weighted MR imaging. *J Magn Reson Imaging* 2:555–562
19. Nagel HS, Bernardino ME (1993) Contrast-enhanced MR imaging of hepatic lesions treated with percutaneous ethanol ablation therapy. *Radiology* 189:265–270
20. Nolsoe CP, Torp-Pedersen S, Burcharth F et al. (1993) Interstitial hyperthermia of colorectal liver metastases with a US-guided Nd-YAG-laser with a diffuser tip: a pilot clinical study. *Radiology* 187:333–337
21. Parker DL, Smith S, Sheldon H, Crooks, Fussel (1983) Temperature distribution measurements in two dimensional NMR imaging. *Med Phys* 10:321–325
22. Rossi S, Stasi M, Carini E, Quaretti P, Garbagnati F, Squassante L, Paties CT, Silverman DE, Buscarini L (1996) Percutaneous RF interstitial thermal ablation in the treatment of hepatic cancer. *AJR* 167:759–768
23. Rubinsky B, Lee CY, Bastacky J, Onik GM (1990) The process of freezing and the mechanism of damage during hepatic cryosurgery. *Cryobiology* 27:85–97
24. Steele G jr (1994) Cryoablation in hepatic surgery. *Semin-Liver-Dis* 14:120–125
25. Vogl TJ, Mack MG, Hirsch HH, Müller P, Weinhold N, Wust P, Philipp C, Roggan A, Felix R (1997) In-vitro-Evaluierung der MR-Thermometrie zum Einsatz der laserinduzierten Thermo-therapie. *Fortschr Röntgenstr* 167,6:638–644
26. Vogl TJ, Mack MG, Straub R, Roggan A, Felix R (1997) Percutaneous MRI-guided laser-induced thermotherapy for hepatic metastases for colorectal cancer. *Lancet* 350:29
27. Vogl TJ, Müller PK, Hammerstingl R, Weinhold N, Felix R (1995) Malignant liver tumors treated with imaging guided laser induced thermotherapy, technique and prospective results. *Radiology* 196:257–265
28. Vogl TJ, Mack MG, Weinhold N, Fischer P, Jahnke V, Felix R (1995) Interventional MR-controlled laser induced thermotherapy of recurrent nasopharyngeal tumors: first clinical results. *Radiology* 196:725–733

### **W. A. Kalender Computertomographie**

*Siemens AG/Publicis MCD, 2000. 216 S., mit Abb. u. Tab., (ISBN 3-89578-082-0), Pb., DM 98,-*

Schon wieder ein Buch über Computertomographie?

Von dem Professor Willi Kalender ist im Publicis MCD Verlag ein Buch mit dem Titel „Computertomographie“ erschienen. Die 216 Seiten gliedern sich in mehrere Kapitel. Nach einem kurzen historischen Rückblick werden zunächst die Grundlagen der Computertomographie (CT) besprochen. Anschaulich findet hier der Leser eine Einführung und Erläuterung von so wichtigen Begriffen wie Schwächung, Faltungskern, Fensterung und CT-Zahlen. Es folgen dann die technischen Konzepte der CT, wobei der konstruktive Aufbau, die Röntgenkomponenten, das Datenerfassungssystem sowie Aufnahmemodi und Untersuchungsparameter besprochen werden. Das folgende Kapitel handelt von der Spiral-CT. Hier werden das Aufnahmeprinzip, die Bildrekonstruktion und Besonderheiten der Mehrschicht-Spiral-CT erläutert. Die folgenden mehr als 30 Seiten stehen unter dem Oberbegriff der Bildqualität. Besondere Bedeutung erlangt hier die Darstellung der Messgrößen, z.B. Bildmatrix, Ortsauflösung oder Schichtsensitivitätsprofil für die sequentielle CT und die Spiral-CT. Nahezu weitere 30 Seiten werden dem Thema „Dosis“ gewidmet, mit ausführlicher Beschreibung der technischen Messgrößen und der Patientendosis. Möglichkeiten zur Dosisreduktion werden ebenfalls genannt. Das Buch schließt mit den Kapiteln über Bilddarstellung und -verarbeitung, kurzen Beschreibungen von Spezialanwendungen und einem ausführlichen und sehr aktuellen Literaturverzeichnis sowie einem Glossar, das die wichtigsten Begriffe in lexikalischer Form erläutert. Die beigelegte CD enthält alle Bilder des Buches, die Bildbetrachtungs-Software „ImpactView“ Demo sowie eine Demo-Version von „WinDose“.

Der Autor ist Physiker und Direktor des Institutes für Medizinische Physik der Universität Erlangen-Nürnberg. Er war zudem 16 Jahre in der CT-Entwicklung eines großen deutschen Unternehmens tätig. Diese kurze Übersicht der Vita macht deutlich, dass dieses Ein-Autoren-Buch höchsten Ansprüchen gerecht wird im Hinblick auf die Kompetenz des Autors. Es ist sehr gut lesbar und sowohl für den RTA und Studenten, der sich mit der CT-Technik beschäftigen will geeignet, aber auch ebenso für den angehenden und erfahrenen Radiologen, der sein Wissen ergänzen oder auffrischen will. Erfreulicherweise ist das Buch nicht kommerziell beeinflusst, trotz der langen Tätigkeit des Autors in der o.g. Firmen-Entwicklung.

MRT und CT haben neben einigen Gemeinsamkeiten viele Unterschiede. Ein Blick in die Lehrbücher zeigt noch einen weiteren. Während in MRT-Büchern sehr viel Wert auf die Darstellung der Technik gelegt wird, oft 1/5 des Seitenumfanges, werden in CT-Büchern die technischen Aspekte nahezu immer unzureichend abgehandelt. Mit diesem Buch hat der Autor nicht nur die oft zitierte Lücke geschlossen, es ist sogar das einzige Buch, das diese Thematik umfassend und verständlich darlegt.

Die CD bietet einige Übungen zur Bildbetrachtung und -manipulation. Dies dürfte eher für den Leser interessant sein, der nicht tagtäglich von Berufswegen sowieso damit zu tun hat. Einziger Wermutstropfen ist das Programm „WinDose“, ein Programm zur Dosisabschätzung in der CT. Da weder der CT-Scanner-Typ noch die Scan-Strecke als Variablen in der vorliegenden Demo-Version eingetragen werden können, kann der Käufer des Buches damit auch keine sinnvollen Berechnungen anstellen.

Zusammenfassend kann das Buch nicht nur allen, die regelmäßig mit der CT zu tun haben empfohlen werden, es sollte sogar für diese Zielgruppe eine Pflichtlektüre sein, die zudem auch noch gut lesbar und verständlich ist.

R. Eibel (München)